Przegląd Geograficzny
2018, 90, 1, s. 137–155
https://doi.org/10.7163/PrzG.2018.1.7

Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania
Polska Akademia Nauk

https://www.igipz.pan.pl/przeglad-geograficzny.html

Morfodynamika uregulowanego koryta rzeki górskiej

Morphodynamics of a regulated mountain river channel

Karol Witkowski

Uniwersytet Pedagogiczny
Instytut Geografii, Zakład Geoinformacji i Badań Geośrodowiskowych
ul. Podchorążych 2, 30-084 Kraków
witkowski@up.krakow.pl

Zarys treści. W artykule przedstawiono wyniki badań morfodynamiki odcinka koryta Skawy, poniżej zapory w Świnnej Porębie. Badania zrealizowano z wykorzystaniem metody kartowania geomorfologicznego, opartego o powtarzalne raptularze. Metoda ta umożliwia m.in. określenie wzajemnych relacji między lokalizacją form korytowych i budowli hydrotechnicznych. Podczas analizy koryta Skawy wyodrębniono cztery jego typy, w których dominują transport, transport i redepozycja, erozja boczna i redepozycja, intensywna erozja boczna i redepozycja. Z przeprowadzonej analizy wynika, iż współczesne odcinki koryta, w których przeważa transport, są najbardziej podatne na nagłe i intensywne przekształcenia rzeźby. Do takich transformacji dochodzi na skutek zniszczenia umocnień brzegów lub dna. W korycie Skawy po zniszczeniu opasek brzegowych dochodzi do powstania koryt wielonurtowych – odcinków erozyjno-redepozycyjnych o największym zróżnicowaniu morfologicznym.

Słowa kluczowe: morfodynamika, typologia koryta, dziczenie koryta, Skawa.

Wstęp

Rozwój współczesnych koryt rzecznych uzależniony jest nie tylko od procesów i zjawisk naturalnych, ale również od antropopresji. Skala i charakter procesów korytowych wpływa na użyteczność przybrzeżnych gruntów. Poznanie całego systemu korytowego umożliwia zrozumienie podstaw jego funkcjonowania, ochronę środowiska przyrodniczego oraz zarządzanie ryzykiem powodziowym. Znajomość struktury całego koryta ogranicza konieczność chronienia infrastruktury zabezpieczeniami brzegowymi do minimum (Krzemień, 2012).

Do lat 70. XX wieku charakterystyki geomorfologicznej koryt dokonywano głównie na podstawie zdjęć lotniczych, map topograficznych i geologicznych oraz opracowań hydrologicznych (Kaszowski i Krzemień, 1999 za: Popov, 1969). Badania kameralne nie umożliwiały jednak szczegółowego poznania form korytowych (Kellerhals i inni, 1976). Prace studialne zaczęto zatem wzbogacać badaniami terenowymi, które zaczęły przyjmować kształt sformalizowanych opisów (Kaszowski,

http://rcin.org.pl

1965; Tille, 1970; Witt, 1976). Część naukowców przyjęła metodę badania koryt opartą o klucze i schematy odpowiedzi, spisane w formie raptularzy (Kamykowska i inni, 1975). Kartowano wówczas m.in. cieki beskidzkie (Kaszowski, 1980; Krzemień, 1984) i tatrzańskie (Krzemień, 1981; Rączkowska, 1983). Na potrzeby przeprowadzenia sformalizowanego kartowania dokonywano podziału koryta na odcinki kilkudziesięcio- lub kilkusetmetrowe (Gałka, 1973; Niemirowski, 1974; Kaszowski, 1975). Stosowanie przez autorów różnych zasad zbierania informacji w terenie przyczyniało się do powstania katalogów nieporównywalnych między sobą. Potrzeba stworzenia metody pozwalającej na badanie różnych rzek według tych samych zasad, skłoniła pracowników Zakładu Geomorfologii IGiGP UJ do opracowania metody kartowania geomorfologicznego cieków (Kamykowska i inni, 1975, 1999).

Metodę kartowania opartą o powtarzalne raptularze wykorzystywano później w badaniach koryt m.in. na obszarach glacjalnych – Łeba (Angiel, 1999) i Szeszupa (Smolska, 1999), w Beskidach (Kościelniak, 2004; Gorczyca, 2007; Korpak, 2007), na Podtatrzu (Zawiejska i Krzemień, 2004; Gorczyca i inni, 2011), w Tatrach (Szymczuk, 2013), w Alpach Włoskich (Krzemień, 1991), we francuskiej Owernii (Krzemień, 2001), w południowym Tyrolu (Krzemień, 1999), w afrykańskim Antyatlasie (Izmaiłow i inni, 2003), w Szkocji (Chełmicki i Krzemień, 1999) czy w Grecji (Dłużewski i inni, 2007). Kartowaniu koryt za pomocą raptularzy poświęcono szereg opracowań metodycznych, od prezentacji przykładowej karty pracy (Kamykowska i inni, 1999; Gorczyca i inni, 2008) przez omówienie poszczególnych elementów metody (Kaszowski i Krzemień, 1999), po publikację prezentującą w zestawieniach efekty wykorzystania metody (Krzemień, 2006). Dyskusji nad badaniami typologii cieków poświęcono jeden z zeszytów Prac Geograficznych Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego (nr 104, 1999). Również pod redakcją K. Krzemienia (2012) wydano obszerne studium metodyczne.

Wykorzystanie raptularzy w kartowaniu koryta uregulowanego pozwala w prosty sposób uchwycić relacje między formami i procesami korytowymi a budowlami kontrolującymi przepływ i ograniczającymi erozję koryta. Skawa jest ostatnim dużym dopływem Wisły, którego funkcjonowanie nie jest regulowane pracą zbiornika wodnego (w 2017 r. rozpoczęto próbne napełnianie zbiornika). Mimo wciąż trwających prac nad ukończeniem zbiornika „Jezioro Mucharskie" w Świnnej Porębie, począwszy od 2010 r., w czasie większych wezbrań zapora zbiornika zatrzymywała część objętości fal wezbraniowych, powodując obniżenie kulminacji i wydłużenie czasu trwania wysokich stanów poniżej zbiornika. Sztuczne wydłużenie czasu trwania wezbrania, przy ograniczeniu transportu rumowiska przez zaporę, sprzyja erozji dennej i dewastacji budowli zabezpieczających brzegi koryta.

http://rcin.org.pl

Obszar i cel badań

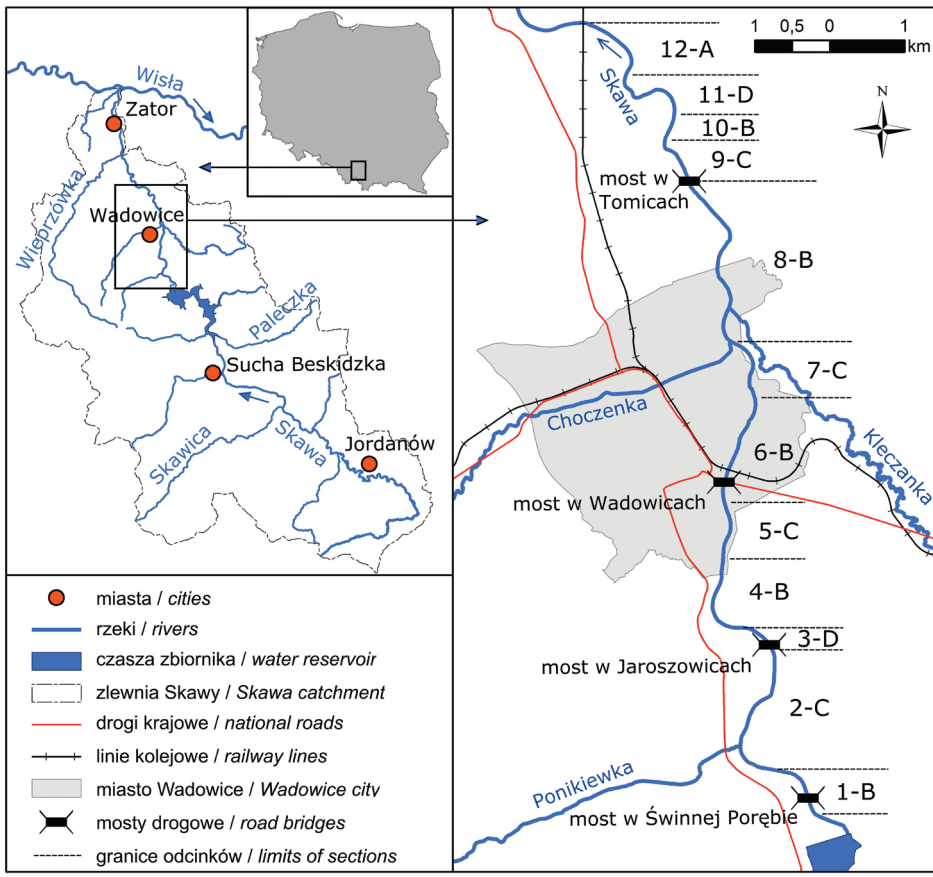
Skawa jest karpackim dopływem Wisły o długości 96,4 km. Obszar źródliskowy znajduje się pod Przełęczą Spytkowicką (701 m n.p.m.), w Paśmie Podhalańskim Beskidu Żywieckiego. Skawa uchodzi do Wisły w Smolicach (217 m n.p.m.). W górskim (górnym) biegu Skawa odwadnia Beskid Żywiecki (z północnymi stokami Babiej Góry), Wyspowy, Makowski i Mały, a w biegu dolnym (pogórskim) – Pogórze Śląskie i Wielickie. Odcinek ujściowy, poniżej ujścia Wieprzówki do Skawy, znajduje się na obszarze Kotliny Oświęcimskiej.

Odcinek badawczy zlokalizowany jest w dolnym biegu Skawy, poniżej zapory zbiornika w Świnnej Porębie. Badania prowadzono pomiędzy niecką wypadową zbiornika a mostem kolejowym w Woźnikach, znajdującym się na nieeksploatowanej linii kolejowej Wadowice – Spytkowice (ryc. 1). Badany odcinek, o długości 13,5 km, rozpoczyna się w końcowym fragmencie przełomu Skawy przez Beskid Mały, a od Wadowic stanowi pogranicze Pogórza Śląskiego i Wielickiego. Odcinek przełomowy rozwinął się w utworach serii śląskiej, a pogórzański w obrębie nasunięcia jednostki śląskiej na podśląską (Mądry, 1970). Omawiany odcinek Skawy ma średni spadek 2,5‰, który nie wykazuje zależności od lokalnych uskoków tektonicznych (Grzybowski, 1999).

W XX wieku Skawę w dolnym biegu poddano regulacji. Koryto przemodelowano za pomocą budowli podłużnych, głównie opasek brzegowych z narzutu z kamienia łamanego oraz faszynowych brzegoskłonów. W latach 80. XX wieku rozpoczęto budowę zapory wodnej (Witkowski, 2015b). Część zabezpieczeń brzegowych ulegała zniszczeniu podczas wezbrań, co prowadziło do samoczynnej renaturyzacji, a w konsekwencji do powstania koryta na przemian seminaturalnego i zabezpieczonego (Witkowski, 2015a).

Celem badań było określenie morfodynamiki uregulowanego koryta rzeki górskiej, w jej dolnym, pogórskim, biegu. Osiągnięcie celu było możliwe poprzez wyznaczenie odcinków morfogenetycznie jednorodnych, a następnie wskazanie czynników intensyfikujących odcinkowe dziczenie koryta, prowadzące do powstawania wysp i odsypów (łach) środkowych (Kamykowska i inni, 2012). Zastosowanie typologii w badaniach koryta odcinkowo dziczejącego, pozwoliło ponadto ustanowić punkt odniesienia dla przyszłych badań koryta dolnej Skawy, której przepływy będą regulowane przez zaporę zbiornika w Świnnej Porębie.

http://rcin.org.pl



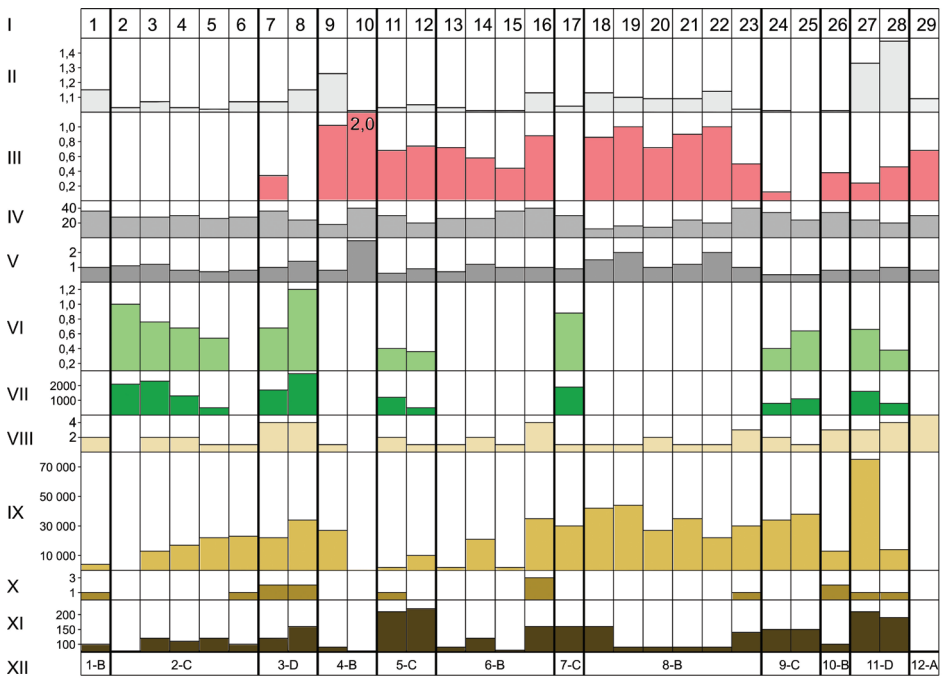
Ryc. 1. Teren badań z podziałem koryta na odcinki wyznaczone w analizie typologicznej
The research area with types of morphodynamic reach
Opracowanie własne, podobnie pozostałe ryciny / *Author's own elaboration, like remaining figures.*

Metodyka

Typologię oparto na metodzie kartowania koryt według założeń M. Kamykowskiej i innych (1999). Badania terenowe przeprowadzono w latach 2014–2015. Właściwe kartowanie poprzedzono obserwacjami terenowymi, na podstawie których podzielono fragment koryta Skawy na 29 odcinków do kartowania (ryc. 2). Wydzielenia odcinków dokonano na podstawie kartowania form akumulacyjnych i erozyjnych oraz systemów ploso-przemiał (Buffington i Montgomery, 1997). Kartowanie wydzielonych odcinków przeprowadzono przy użyciu raptularza zaproponowanego w opracowaniu *Struktura koryt rzek i potoków (studium metodyczne)* (Krzemień, 2012). W terenie rejestrowano parametry takie jak: szerokość

http://rcin.org.pl

brzegowa koryta, szerokość łożyska, szerokość koryta wielkiej wody, głębokość brzegowa (przy brzegu wklęsłym), wysokość brzegów, charakter brzegów, liczba i wielkość form akumulacyjnych, liczba i długość podcięć, wskaźnik zdziczenia (liczba odsypów centralnych w odcinku), długość zabezpieczeń brzegowych, profil podłużny i poprzeczny, odległość zabudowy od brzegów. Analizując budowę odsypów żwirowych, określano ich położenie, frakcję maksymalną, ułożenie osadów (uwzględniające ewentualną imbrykację, lineację, zgrupowania form lub opancerzenie). Średnią frakcję maksymalną określono na podstawie pomiaru 20 największych okruchów z odsypu. W ramach badań kameralnych raptularze uzupełniono o współczynnik krętości, który pozyskano z analizy zobrazowania satelitarnego Google Earth z 2013 r.



I - numery podstawowych odcinków badawczych
elementary reach number
II - współczynnik krętości / *sinuousity ratio*
III - długość opasek brzegowych (wartość bezwymiarowa)
rip-rap lenght (dimensionless value)
IV - szerokość brzegowa / *bed width*
V - głębokość brzegowa / *depth*
VI - długość podcięć (wartość bezwymiarowa)
cut bank lenght (dimensionless value)
VII - powierzchnia podcięć (m^2/km) / *area of cut bank*
VIII - liczba łach żwirowych / *number of bars*
IX - powierzchnia łach żwirowych (m^2/km)
area of bars
X - wskaźnik zdziczenia / *braiding ratio*
XI - uśredniona oś B frakcji maksymalnej żwirowiska
largest grains
XII - numery odcinków morfogenetycznych koryta
morphodynamic reach number

Ryc. 2. Typologia koryta dolnej Skawy
The typological analysis of the River Skawa

http://rcin.org.pl

Wstępne opracowanie raptularzy pozwoliło na wybranie parametrów będących cechami najistotniejszymi dla wyznaczenia typów odcinków koryta Skawy, różniących się długością (od 238 m do 924 m). Dla celów porównawczych niektóre wartości metryczne (długości i powierzchnie) przeliczono na parametry bezwymiarowe. Następnie przeprowadzono analizę typologiczną na podstawie ważności granic (Krzemień, 2003). W analizie tej zweryfikowano wstępnie wyznaczone granice odcinków, uwzględniając zmienność poszczególnych parametrów. Ważność granic uzależniona była od liczby zmieniających się parametrów. Wstępnie wydzielone odcinki połączono w dłuższe, charakteryzujące się dominacją wybranych procesów geomorfologicznych.

W wyniku tego postępowania uzyskano 12 odcinków morfogenetycznych koryta (ryc. 2, wiersz XII), które zaklasyfikowano do 4 typów koryt różniących się między sobą dominującym procesem (tab. 1.). Procesy te były identyfikowane na podstawie obecności określonych form korytowych.

Tabela 1. Charakterystyka typów koryta Skawy
Characterisation of reaches along the River Skawa

Typ koryta *Channel types*	Dominujący proces *Dominant process*	Charakterystyka wykształcenia koryta *Morphological characteristics*
A	Transport	Formy korytowe nieliczne, małe lub nie występują
B	Transport i redepozycja	Odsypy ustabilizowane, porośnięte; postępująca erozja denna
C	Erozja boczna i redepozycja	Liczne podcięcia erozyjne; odmładzane odsypy dużych rozmiarów
D	Intensywna erozja boczna i redepozycja	Wielkopowierzchniowe podcięcia erozyjne; odsypy z bogatymi formami powierzchniowymi; intensywne przeobrażenia rzeźby

Opracowanie własne na podstawie: Korpak (2012) / *Author's own study based on Korpak (2012).*

Wyniki

Z 12 morfogenetycznych odcinków koryta w 6 dominują procesy transportu (typ koryta A i B, tab. 1). W jednym przypadku stwierdzono przede wszystkim transport (typ A), a w 5 transport i redepozycję (typ B). W pozostałych 6 odcinkach dominuje erozja boczna i redepozycja (typy C i D), przy czym w 2 procesy te są intensywne (typ D).

http://rcin.org.pl

Odcinki transportowe (typ A i B)

W badanym fragmencie koryta Skawy wydzielono jeden odcinek, w którym dominuje tylko transport (12-A, ryc. 1). Odcinek ten obejmuje końcowy fragment badanego koryta i ograniczony jest nieczynnym mostem kolejowym w Woźnikach.

Odcinki transportowo-redepozycyjne są w znacznej części zabezpieczone przed erozją boczną narzutami z kamienia łamanego. Końcowy fragment odcinka 4-B posiada opaski na obydwu brzegach (ryc. 2), ponadto jest przegrodzony progiem, wybudowanym na potrzeby stacji uzdatniania wody. Głębokość w pobliżu progu, w osi koryta, osiąga prawie 3 m, przez co odcinek sprawia wrażenie zastoiska. Regulacja, w wyniku której powstał ten odcinek, miała na celu zlikwidowanie erozyjnego zakola niebezpiecznie zbliżającego się do drogi krajowej nr 28 i zabierającego grunty tzw. Bykowca (część miejscowości Gorzeń Górny).

Spośród 5 odcinków koryta typu B, tylko odcinek otwierający badane koryto nie jest uregulowany. Prawy brzeg odcinka 1-B opiera się bezpośrednio o zbocze, przechodzące w stok jednego z grzbietów Jaroszowskiej Góry. Materiał stokowy zmywany do koryta nie jest akumulowany na miejscu, co potwierdza dominację transportu. Na transportowy charakter tego odcinka koryta wpływ ma bliskość zapory. Koryto to jest przedłużeniem niecki wypadowej zapory.

We wszystkich odcinkach koryta typu B występują odsypy. Najwięcej form akumulacyjnych (9) stwierdzono w odcinku 8-B, znajdującym się poniżej ujścia Choczenki do Skawy (ryc. 2). Wszystkie odsypy znajdują się przy wypukłych brzegach uregulowanych zakoli. Zalądowany teren za opaskami z narzutu z kamienia łamanego jest zalewany tylko podczas największych wezbrań (ostatni raz w 2010 r.), czego śladem są chochoły powodziowe zawieszone na zaroślach (ok. 0,5 m nad gruntem).

Odsypy centralne znajdują się w odcinku 6-B, w którym ogółem odnotowano 8 form akumulacyjnych. Pierwszy odsyp zlokalizowany jest w Wadowicach (ryc. 2). Koryto Skawy do czasu regulacji było w tym miejscu znacznie szersze od współczesnego. Jeszcze w latach 60. XX wieku odcinek ten miał charakter erozyjno-depozycyjny (*Projekt techniczny…*, 1968). Między mostem drogowym a kolejowym, wzdłuż lewego brzegu, rozwinął się cień sedymentacyjny. Znaczny przyrost deponowanego materiału w czasie kolejnych wezbrań pozwolił na uformowanie odsypu centralnego. Na powierzchni żwirowiska odnaleźć można ślady wezbrań w postaci kanału ulgi odwadniającego boczne koryto, funkcjonujące podczas wyższych stanów wody.

W niższej części odcinka 6-B znajduje się fragment zniszczonej ostrogi regulacyjnej. W korycie tym obecne są formy utrwalone, a cały system korytowy jest stabilny. W tym fragmencie koryta znajduje się, jedyny w całym terenie badań, odsyp piaszczysty zdeponowany za odseparowanym od brzegu narzutem kamiennym.

http://rcin.org.pl

Szósty odcinek zamyka koryto uregulowane w 2012 r. Wskaźnik zdziczenia (o wartości = 3) świadczy o wielonurtowym charakterze koryta, co zostało odziedziczone po korycie naturalnym, które zostało zabezpieczone. Przekształcone odsypy są pozostałością prac budowlanych prowadzonych w korycie. O dostosowaniu morfologii tego odcinka koryta do zabudowy będzie można mówić dopiero po wezbraniu, w czasie którego wystąpią przepływy pełnokorytowe.

W odcinkach koryta 4-B, 6-B i 8-B zachodzą również procesy erozji dennej przejawiające się podmyciem opasek brzegowych i osunięciem narzutu z kamienia łamanego. Wskazywany w literaturze, na podstawie pomiarów hydrologicznych, proces erozji dennej w korycie Skawy w Wadowicach (Wyżga, 2001) jest zauważalny w postaci odsłaniających się podstaw drewnianych filarów wcześniejszego mostu drogowego. Również w Tomicach (odcinek 8-B) odsłonięte zostały filary poprzedniego, nieistniejącego już mostu drogowego. O dominacji transportu i erozji dennej w pobliżu mostów w odcinku 6-B, świadczą również badania autora z 2012 r. Z próby 80 znaczonych otoczaków pozostawionych w korycie poniżej mostu kolejowego odnaleziono na długości całego odcinka badawczego tylko jeden. Wielkość i położenie odnalezionego okruchu, w odległości 250 m od miejsca depozycji, świadczą o transporcie żwirów o osi B ponad 120 mm. Wysoka skuteczność transportu nawet w środowisku o niskiej energii dowodzi ewidentnej przewagi transportu nad innymi procesami w tym odcinku koryta.

O zmianach zachodzących w intensywności procesów kształtujących odcinki transportowo-redepozycyjne, świadczy obecność form odnotowanych w odcinku 10-B. W czasie badań terenowych w 2011 r. w odcinku tym zarejestrowano ripplemarki. Podczas kartowania w 2014 r. form piaszczystych nie odnaleziono. W 2015 r. w korycie tym znajdowały się odsypy żwirowe. Zmiana materiału dowodzi wzrostu energii przepływu w odcinku 10-B, która może w przyszłości wpłynąć na destabilizację brzegów.

Odcinki z dominującym procesem erozji bocznej i redepozycji (typ C)

We wszystkich odcinkach typu C zidentyfikowano aktywne podcięcia brzegowe oraz odsypy (ryc. 2). W odcinku koryta 2-C podcinany był tylko brzeg lewy. Pod koniec 2015 r. zabezpieczono lewy brzeg Skawy narzutem z kamienia łamanego luzem, który umocnił zarejestrowane podczas kartowania podcięcia. Prawy brzeg, podobnie jak w odcinku 1-B, opiera się nadal bezpośrednio o zbocze. Erozja doprowadziła do odsłonięcia skał budujących skłony Jaroszowskiej Góry, które stabilizują prawy brzeg. Jest to jedyny fragment koryta dolnej Skawy, w którym na powierzchni widoczne są skały.

Kolejnym odcinkiem, w którym zachodzą procesy erozji i redepozycji, jest odcinek 5-C, rozpoczynający się progiem piętrzącym na potrzeby wadowickiej stacji uzdatniania wody. Stacja pobiera średnio 11 000 m^3 wody na dobę (Gazeta Krakowska, 2014), co nie ma znaczącego wpływu na przepływ poniżej piętrzenia.

http://rcin.org.pl

Próg piętrzący zabezpiecza również przekroczenie wodociągowe przez Skawę. Uszkodzenie betonowych umocnień w wyniku erozji dennej zabezpieczono poprzecznym narzutem z kamienia łamanego, który skierował nurt pod lewy brzeg. Zabieg ten uruchomił procesy erozji bocznej w całym odcinku koryta. Największe podcięcie erozyjne powstało w odległości 100 m od progu, gdzie rzeka odcięła opaskę od brzegu i rozmyła jej stropową część, poszerzając zakole nawet o 10 m. Na pozostałościach narzutu wznoszących się kilka centymetrów ponad zwierciadło wody, w późniejszym okresie zaczęły deponować się drobne żwiry. W osi koryta, w wyniku częściowego rozmycia narzutu poprzecznego przy progu oraz wyniesienia materiału z erozji brzegu, zostały zdeponowane duże ilości materiału, podnoszące znacznie dno rzeki. Materiał ten przyjął postać wstęgi sedymentacyjnej rozwiniętej poniżej przeszkody. W wyniku depozycji procesy erozji dennej występujące za progiem zostały przesunięte w dół rzeki o około 150 m. Wstęga sedymentacyjna obrywa się stromym progiem, za którym rozwinęła się strefa przegłębionego dna.

W odcinku 7-C znajduje się 150-metrowa aktywna część odsłonięcia. Bardzo zróżnicowany obraz środowisk sedymentacyjnych wynika z położenia odsłonięcia w miejscu częstych zmian koryta Skawy, w pobliżu ujścia Choczenki. Odcinek ten przed 2012 r. był częścią koryta erozyjno-redepozycyjnego, zaczynającego się odcinkiem wielonurtowym, który został uregulowany (obecnie część odcinka 6-B).

Współczesny most w Tomicach rozpoczyna odcinek 9-C (ryc. 1). W odcinku tym na szczególną uwagę zasługują poprzeczne narzuty kamienne, które uruchomiły procesy erozji bocznej. Zabezpieczają one ujęcie wody dla gminy Tomice. W prawobrzeżnym ujściu Witanówki widoczne jest podcięcie erozyjne odsłaniające budowę terasy nadzalewowej.

Odcinki z dominującym procesem intensywnej erozji bocznej i redepozycji (typ D)

Odcinek koryta 3-D, w którym zachodzą intensywne procesy erozji bocznej i redepozycji, powstał w korycie uprzednio uregulowanym. Ślady regulacji odnaleźć można w pobliżu mostu drogowego w Jaroszowicach, na prawym brzegu Skawy (ryc. 1). Rzeka po zniszczeniu narzutu kamiennego najsilniej erodowała w zakolu, znacznie je przegłębiając. Redepozycja doprowadziła w tym odcinku do zupełnego zasypania starego koryta osadami. W rozszerzonym łożysku rozwinęło się koryto wielonurtowe. W podcięciu prawego brzegu, wysokim na około 3 m, odsłania się struktura geologiczna terasy. W zakolu odsłaniającym budowę terasy znajduje się główna linia nurtu odcinka wielonurtowego. Za sprawą intensywnej erozji do koryta trafiają duże drzewa, które po ustabilizowaniu w dnie wpływają na lokalne procesy geomorfologiczne. W obrębie zalegania grubego rumoszu drzewnego wzmaga się turbulentny ruch wody przegłębiający dno dookoła pni. Największe głęboczki sięgają w tym odcinku 3 m.

http://rcin.org.pl

Akumulacja odsypu centralnego w odcinku 3-D rozpoczęła się podczas powodzi w 2001 r. Forma ta była nadbudowywana w czasie kolejnych wezbrań. Jest to forma wyraźnie wznosząca się nad zwierciadło wody. Od strony doprądowej odsyp został rozcięty w czasie wezbrania w 2010 r., a w jego miejscu powstał odsyp boczny i centralny. Erozyjne rozcięcie odsłania wewnętrzną budowę formy. Warstwy słabo wysortowanych żwirów przełożone są materiałem organicznym oraz drobnoziarnistym. Na powierzchni żwirowiska znajdują się głazy, o osi B przekraczającej 300 mm, które najpewniej pochodzą z narzutu kamiennego zabezpieczającego prawy brzeg. Odsyp centralny, od strony doprądowej, porośnięty jest niskimi wierzbami purpurowymi (*Salix purpurea*). Sukcesję roślinności ułatwiają warstwy organiczne budujące formę. Na powierzchni środkowej części odsypu widoczne są kanały, które zbiegają się w części zaprądowej, tworząc niszę, której dno znajduje się 2 m poniżej powierzchni odsypu (fot. 1). Obniżenia powstały w czasie opadania wezbrania sierpniowego w 2010 r. po uprzednim zdeponowaniu najwyższej warstwy odsypu. Stopniowe słabnięcie siły nurtu wynikało z regulacji odpływu wód wezbraniowych ze zbiornika w Świnnej Porębie.

Fot. 1. Kanały na powierzchni odsypu centralnego (fot. K. Witkowski)
Channels on the surface of a mid-channel bar

W odcinku 3-D, powyżej koryta wielonurtowego, znajdują się formy depozycyjne powstałe wskutek oddziaływania na przepływ filarów mostu. W obrębie mostu drogowego w Jaroszowicach znajduje się szereg form żwirowych tworzących głównie cienie sedymentacyjne. Powyżej mostu rozwinęła się forma, której osady są zimbrykowane. Forma ta powstała w wyniku stopniowego zmniejszania energii przepływu wezbraniowego przez zaporę. Między mostem a odsypem centralnym, przy lewym brzegu, znajduje się duży odsyp boczny, którego powierzchnia została znacznie przekształcona w wyniku kradzieży żwirów. Pod lewym brzegiem łoży-

http://rcin.org.pl

ska, po odwodnej stronie odsypu przybrzeżnego, znajduje się kanał, który w czasie wyższych stanów wody zajęty jest przez boczny nurt Skawy.

Poniżej odsypu centralnego znajduje się niewielki odsyp o nienaruszonych formach powierzchniowych. Na jego powierzchni odnaleźć można szereg form *mega cluster* – skupisk otoczaków zakumulowanych wokół głazu lub za przeszkodą, np. krzewiastą kępą. Odsyp ten rozwinął się pod niskim nieaktywnym podcięciem, które powstało w czasie wezbrań modelujących koryto przed 2010 r.

Brak dostosowania zabezpieczeń brzegowych do lokalnych warunków spowodował ich zniszczenie i znaczną migrację koryta, która poskutkowała powstaniem zdziczałego odcinka wielonurtowego (wskaźnik zdziczenia = 2).

Drugi odcinek modelowany przez intensywną erozję i redepozycę, 11-D, jest w swej morfologii podobny do odcinka 3-D w Jaroszowicach, ale odsypy centralne są niższe i mniejsze powierzchniowo. Znaczna część powierzchni odsypów jest obrukowana. W podcięciach prawego brzegu w pierwszym zakolu odsłania się dwudzielna struktura terasy. Dolna część zbudowana jest z drobnych żwirów (oś B = 30 mm), a górna z materiału pylastego, dobrze skonsolidowanego. Odsłonięcie jest intensywnie erodowane nawet w czasie małych wezbrań.

Drugie zakole rozwija się pod wpływem dopływu Skawy. W wyższej części nurt Skawy erodujący brzeg lewy spychany jest przez lewobrzeżną Radoczankę w stronę prawego brzegu. Ta zmiana kierunku nurtu w zakolu, widoczna w planie koryta (ryc. 1), spowodowała powstanie aktywnego podcięcia na prawym brzegu i odsypu pod brzegiem lewym, który zalewany jest tylko podczas wezbrań.

Dyskusja

Przeprowadzona na potrzeby opracowania analiza typów koryta dolnej Skawy pozwala na przedstawienie ogólnych tendencji rozwojowych uregulowanego koryta średniej rzeki górskiej. Badane koryto było w przeszłości w większości odcinków uregulowane (Witkowski, 2015b). Zabezpieczenia te nie przetrwały do dnia dzisiejszego, a współczesne budowle nie są stabilne. Zabezpieczenia z kamienia łamanego funkcjonują obecnie zarówno w odcinkach transportowych, jak i erozyjno-redepozycyjnych. Fakt ten potwierdza niedostosowanie trasy regulacyjnej, która w swym założeniu powinna być odcinkiem, w którym ruch rumowiska rzecznego ograniczony jest do minimum (Bartnik i Książek, 2007). Zachwianie równowagi hydrodynamicznej w obrębie koryta zabudowanego prowadzi do przegłębiania dna i podcinania opasek brzegowych lub do depozycji materiału, który zwęża koryto, prowadząc do wzrostu możliwości erozyjnych przepływu i podcięcia opasek. Zdaniem E. Gorczycy (2016) procesy te nasiliły się w korycie Skawy po wezbraniu z 2001 r. Dewastację regulacji hydrotechnicznych stwierdzono już wcześniej na wielu karpackich ciekach, m.in. w potoku Jamne (Bucała i Radecki-Pawlik, 2011), Smolnik (Tekielak i inni, 2007) czy Mszanka (Korpak, 2010).

http://rcin.org.pl

W 27 z 29 kartowanych odcinków odnotowano występowanie żwirowisk różnych rozmiarów. W odcinkach, w których dominuje erozja boczna i redepozycja, odsypy są obrukowane, co chroni rumowisko przed redepozycją przy mniejszych wezbraniach (Korpak, 2008). Na ich powierzchni odnaleźć można szereg form zbudowanych ze zimbrykowanych osadów, jak i nagromadzeń otoczaków (*cluster bedforms*). Formy piaszczyste zlokalizowano tylko w obrębie niewielkiej zatoczki mającej połączenie z korytem transportującym. Brak form drobnoziarnistych wynika z warunków opadania fali wezbraniowej Skawy. Zespoły takich form rejestrowane są głównie dopiero w pobliżu ujścia do Wisły. Piaskowcowe rumowisko Skawy to głównie ziarna dyskoidalne, sprzyjające powstawaniu struktur zimbrykowanych, co wcześniej wykazał R. Malarz (2002). Uznano, że mikroformy korytowe, opisane przez D. Giriat i innych (2008), nie mogą być indykatorami konkretnych typów koryta, gdyż występują zarówno w odcinkach erozyjno-redepozycyjnych, jak i transportujących.

Analizując rozkład przestrzenny frakcji maksymalnej rumowiska w badanych odcinkach, stwierdzono ogólnie znane prawidłowości. Średnica okruchów frakcji maksymalnej w odcinkach transportujących jest mniejsza niż w odcinkach erozyjno-redepozycyjnych, na co wskazywał R. Malarz (2002). W odcinkach transportujących w obrębie odsypów pojawiają się okruchy frakcji głazowej, które pochodzą z niszczonych narzutów z kamienia łamanego, co potwierdza zdolności transportowe Skawy w czasie wezbrań, wykazane przez R. Malarza (2005).

Odsypy obecne w odcinkach transportujących są przemywane i nie zachodzi w ich obrębie intensywna depozycja. Brak odmładzania odsypu może świadczyć o postępującej erozji dennej i przekształcaniu koryta o zaprojektowanym przekroju trapezowym w koryto o przekroju trójkątnym. W odcinkach transportujących nawet w prostych fragmentach koryta zauważono tendencję do pogłębiania i zawężania przekroju. Zróżnicowanie przekrojów poprzecznych występuje tylko w zdziczałych odcinkach wielonurtowych. Małe zróżnicowanie przekrojów wzdłuż cieku potwierdza ogólną tendencję dolnej Skawy do wcinania się (m.in. Wyżga i inni, 2016). Odmiennego zdania jest E. Gorczyca (2016), określająca odcinek koryta Skawy w Wadowicach jako agradacyjny.

Głębokość koryta Skawy jest zróżnicowana. Największe głębokości w badanym odcinku Skawa osiąga powyżej progu piętrzącego w Wadowicach. W pobliżu najaktywniejszych podcięć w zakolach mogą występować głębokości brzegowe przekraczające 2 m. Średnia głębokość brzegowa odcinków erozyjno-redepozycyjnych jest mniejsza niż odcinków transportujących. W odcinkach transportowych, gdzie aktywne są procesy erozji dennej, dno zwykle nie jest obrukowane, co sprzyja jego obniżaniu, a w konsekwencji wzrostowi głębokości koryta.

Typową formą erozyjną w badanych odcinkach są podcięcia. Aktywne podcięcia brzegowe różnej wysokości mogą być w środowisku Skawy uznane za formy reprezentacyjne dla odcinków, w których dominuje erozja i redepozycja. W korytach transportowych zarejestrowano szereg nieaktywnych podcięć brzegowych,

http://rcin.org.pl

najczęściej odseparowanych od przepływu. Obecność form erozyjnych w tych fragmentach może być skutkiem przechodzenia fal wezbraniowych. Analiza materiałów historycznych pozwala na określenie niektórych nieaktywnych podcięć jako odziedziczonych po poprzednim erozyjnym typie koryta. W korycie transportowym z zabezpieczonymi brzegami rejestrowane były nisze erozyjne inicjujące niszczenie narzutów zarówno od strony doprądowej, jak i zaprądowej. Formy te stwierdzono tylko w odcinkach poprzedzonych korytem niestabilnym.

W korycie Skawy w Wadowicach od lat 60. XX wieku funkcjonuje ponadkilometrowy odcinek bocznie stabilnej trasy regulacyjnej. W obrębie wspomnianego odcinka zachodzi erozja denna, która w XX wieku przegłębiła koryto o 2,8 m (Wyżga i inni, 2016). Wyhamowanie migracji koryta poprzez zabezpieczenie brzegów powoduje koncentrację przepływu i wzrost jego energii również poniżej odcinka uregulowanego. W czasie wezbrań w 2010 r. skoncentrowany przepływ doprowadził do dewastacji koryta tuż poniżej trasy regulacyjnej. Zniszczone koryto objęto zabudową w 2012 r., zachowując trasę ustaloną przez wezbranie. Działanie to może sprzyjać w przyszłości stabilizacji tej części łożyska Skawy i intensyfikacji procesów erozyjnych w niżej leżącym odcinku erozyjno-redepozycyjnym, który pozostawiono bez zabezpieczeń.

W odcinkach zdziczałych, obok bogatych form depozycyjnych, powszechnie występują nagromadzenia grubego rumoszu drzewnego dostarczanego do koryta z podcinanych brzegów. Materiał ten sprzyja powstawaniu lokalnych mikroform rzeźby (Wyżga i inni, 2003).

Odcinki wydzielone aktualnie jako transportujące i erozyjno-redepozycyjne nie są formami stabilnymi. Obecność niestabilnych zabezpieczeń brzegowych, budowa nowych (regulacja koryta w Jaroszowicach) i zbliżające się uruchomienie zapory w Świnnej Porębie powodują, że koryto stale dostosowuje się do nowych warunków przepływu. Należy się spodziewać, że funkcjonowanie zbiornika „Jezioro Mucharskie" przyczyni się do zwiększenia erozji dennej. Wpływ zapory wodnej na intensyfikację erozji w ciekach karpackich wykazano m.in. w przypadku koryta Ropy poniżej zbiornika Klimkówka (Wiejaczka i Bochenek, 2013) i Dunajca poniżej zapory w Czchowie (Bartnik i inni, 2007). Transport rumowiska przez zaporę w Świnnej Porębie został zatrzymany już w 2003 r., kiedy zaczęto budowę grodzy. W przypadku kaskady Soły na ograniczenie transportu już podczas budowy wskazują M. Łapuszek i J. Ratomski (2008).

W odcinkach obecnie modelowanych przez intensywną erozję boczną i redepozycję (dwa odcinki wielonurtowe), procesy morfologiczne będą przekształcać koryto do momentu powstania szerokiego, naturalnego dla tych części doliny, łożyska. O dużym potencjale morfotwórczym w korytach wielonurtowych decydują odsypy centralne, które rozbijają nurt tworząc lokalne strefy erozji i akumulacji. W sytuacji, gdy odcinki te pozostawione będą bez ingerencji człowieka, rzeka samodzielnie odtworzy terasę zalewową. Na skutek erozji bocznej koryto zostanie poszerzone i spłycone poprzez procesy redepozycji, a powierzchnie zalewane po-

http://rcin.org.pl

wstaną tylko podczas dużych wezbrań. Taka zmiana morfologii dna doliny wpłynie na ograniczenie zagrożenia powodziowego. Zdaniem E. Gorczycy (2016) samoczynna renaturyzacja koryt beskidzkich cieków może prowadzić do powstania układu koryta, który nie występował w danym miejscu przed regulacją, ale jest dostosowany do aktualnych warunków. Potwierdza to rozwój odcinków wielonurtowych w korycie dolnej Skawy, w których boczne nurty funkcjonują zwykle przy wyższych stanach wody, co może prowadzić do ich zasypania, a w konsekwencji powstania koryta krętego z odsypami.

W odcinkach transportujących, których zabezpieczenia brzegowe są w dobrym stanie, naturalna zmiana tendencji procesów fluwialnych będzie możliwa dopiero po zniszczeniu regulacji. W rejonie Wadowic w korycie transportującym zachodzi erozja denna, która w perspektywie otwarcia zbiornika będzie intensyfikowana. Przegłębianie może znów, tak jak w 1972 r., zagrozić mostowi drogowemu i tak jak w 1958 r. – kolejowemu (Witkowski i Wysmołek, 2014). Znaczne zużycie opasek brzegowych może doprowadzić do ich całkowitego rozmycia i zmian położenia brzegu o nieprzewidywalnym zasięgu. Według K. Krzemienia i innych (2015) zasięg migracji koryta po zniszczeniu regulacji jest mniejszy niż przed jej wybudowaniem. Przypadki z koryta dolnej Skawy potwierdzają tę regułę, jednak jako punkt odniesienia należy tu przyjąć stan koryta z II połowy XIX w. Brak dostawy rumowiska z górnych partii doliny może być lokalnie zrównoważony przez dostawę z niszczonego brzegu.

Podsumowanie

Analiza typów koryta dolnej Skawy skłania do wskazania zabezpieczonych odcinków, w których dominuje transport, jako najbardziej podatnych na nagłe i intensywne przekształcenia, które mogą wystąpić na skutek zniszczenia narzutów z kamienia łamanego. Proces ten doprowadził współcześnie do powstania krótkich odcinków dziczejących.

Podłużne regulacje Skawy, w postaci narzutów z kamienia łamanego, były i są jednym z bezpośrednich czynników erozji dennej koryta, a pośrednio także bocznej. Opaski brzegowe poprzez zawężenie trasy regulacyjnej przyczyniały się do wzmożenia erozji dna, a po ich zniszczeniu i odsłonięciu łatwo erodowanych brzegów, do ich erozji.

Zabudowa hydrotechniczna brzegów rzek, w badaniach nad rzeźbą antropogeniczną, uznawana jest za przejaw konstruktywnego oddziaływania człowieka na powierzchnię terenu (Podgórski, 2001). Według założeń projektowych opaski brzegowe i inne formy podłużnej regulacji cieku służyć mają utworzeniu stabilnej trasy regulacyjnej, która bezpiecznie przeprowadzi przepływy wezbraniowe. W praktyce zarówno współczesne regulacje, jak i historyczne rektyfikacje Skawy nie dają oczekiwanego rezultatu.

http://rcin.org.pl

Piśmiennictwo

Angiel M., 1999, *Morphodynamic structure of a river channel in a late-glacial relief area (Case of the Łeba River, Pomorze Region in the North-Western Poland),* [w:] K. Krzemień (red.), *River Channels-pattern, Structure and Dynamics,* Prace Geograficzne, 104, s. 69–107.

Bartnik W., Książek L., 2007, *Regulacja rzek i potoków górskich w warunkach równowagi hydrodynamicznej*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 4, 2, s. 15–26.

Bartnik W., Majewski W., Łapuszek M., Ratomski J., 2007, *Ocena równowagi hydrodynamicznej dolnego Dunajca w warunkach pracy elektrowni wodnych*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 4, 1, s. 21–37.

Bucała A., Radecki-Pawlik A., 2011, *Wpływ regulacji technicznej na zmiany morfologii górskiego potoku: potok Jamne, Gorce*, Acta Scientiarum Polonorum Formatio Circumiectus, 10, 1, s. 3–16.

Buffington J.M., Montgomery D.R., 1997, *Channel-reach morphology in mountain drainage basin,* Geological Society of America Bulletin, 109, 5, s. 596–611.

Chełmicki W., Krzemień K., 1999, *Channel typology for the river Feshie in the Cairngorm Mts, Scotland,* [w:] K. Krzemień (red.), *River Channels-pattern, Structure and Dynamics,* Prace Geograficzne, 104, s. 57–68.

Dłużewski M., Dubis L., Krzemień K., Tsermegas I., 2007, *Intensywność współczesnych procesów rzeźbotwórczych w zlewni Megala Pefka (Attyka-Grecja),* [w:] I. Tsermegas (red.), *Naturalne i antropogeniczne procesy rzeźbotwórcze w warunkach śródziemnomorskich,* Warsztaty Geomorfologiczne „Grecja" 26.04–06.05.2007, s. 64–72.

Gałka M., 1973, *The course and size of fluvial processes in the Stryszawka channel during the catastrophic flood in July 1970*, Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica, 7, s. 143–152.

Gazeta Krakowska, 2014, *Takiej wody potrzebują odbiorcy: bezpiecznej, czystej oraz smacznej*, data wydania 24.03.2014.

Giriat D., Kosieradzka K., Roszczęda U., 2008, *Mikroformy korytowe typu „cluster bedforms" – występowanie i znaczenie,* Landform Analysis, 9, s. 83–87.

Gorczyca E., 2007, *Morphodynamics of the River Łososina channel after an extreme flood (Western Carpathian Mountains)*, Geografija, 43, 2, s. 70–77.

Gorczyca E., 2016, *Rozwój górskich* żwirodennych *koryt rzecznych w warunkach antropopresji*, Wydawnictwo IGiGP UJ, Kraków.

Gorczyca E., Kamykowska M., Krzemień K., 2008, *River channel structure research in the Carpathian Mountains*, Geografija, 44, 2, s. 9–14.

Gorczyca E., Krzemień K., Łyp M., 2011, *Contemporary trends in the Białka River channel development in the Western Carpathians*, Geographia Polonica, 84, 2, s. 39–53.

Grzybowski K., 1999, *Wpływ litologii i tektoniki serii fliszowych oraz młodoczwartorzędowych ruchów tektonicznych na ukształtowanie doliny Skawy (zachodnie Karpaty Zewnętrzne),* Przegląd Geologiczny, 47, 9, s. 846–850.

http://rcin.org.pl

Izmaiłow B., Krzemień K., Sobiecki K., 2003, *Struktura i dynamika koryt rzek epizodycznych południowego Antyatlasu (Jebel Bani) na przykładzie Ouedu el Mut*, [w:] M. Dłużewski (red.), *Współczesna ewolucja środowiska przyrodniczego regionu Coude du Dra (Maroko),* Wydawnictwo Akademickie Dialog, Warszawa, s. 57–76.

Kamykowska M., Kaszowski L., Krzemień K., 1999, *River channel mapping instruction. Key to the river channel description*, [w:] K. Krzemień (red.), *River Channels-pattern, Structure and Dynamics,* Prace Geograficzne, 104, s. 9–25.

Kamykowska M., Kaszowski L., Krzemień K., 2012, *Kartowanie koryt rzecznych*, [w:] K. Krzemień (red.), *Struktura koryt rzek i potoków (studium metodyczne)*, Wydawnictwo IGiGP UJ, Kraków, s. 15–42.

Kamykowska M., Kaszowski L., Krzemień K., Niemirowski M., 1975, *Instrukcja do kartowania koryt rzecznych*, Kraków, maszynopis powielony.

Kaszowski L., 1965, *Współczesne procesy erozji, transportu i sedymentacji w zlewni Potoku Terczyńskiego*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne, 13, s. 43–71.

Kaszowski L., 1975, *Morfodynamika koryta potoku Białego w Tatrach,* Folia Geographica. Series Geographica-Physica, 9, s. 5–41.

Kaszowski L., 1980, *Struktura i typy koryt rzecznych w dorzeczu Raby*, Sprawozdania z Posiedzeń Komisji Naukowych PAN, Kraków, 20, 1, s. 162–163.

Kaszowski L., Krzemień K., 1999, *Classification systems of mountain river channels,* [w:] K. Krzemień (red.), *River Channels-pattern, Structure and Dynamics,* Prace Geograficzne UJ, 104, s. 27–40.

Kellerhals R., Church M., Bray D., 1976, *Classification and analysis of river processes,* Journal of the Hydraulics Division, 102, 7, s. 813–829.

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

Korpak J., 2008, *Rola maksymalnych wezbrań w funkcjonowaniu systemów uregulowanych koryt górskich*, Landform Analysis, 8, s. 41–44.

Korpak J., 2010, *Geomorphologic effects of river engineering structures in Carpathian fluvial systems*, Landform Analysis, 14, s. 34–44.

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)*, Wydawnictwo IGiGP UJ, Kraków, s. 89–102.

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

Krzemień K., 1981, *Zmienność subsystemu korytowego Czarnego Dunajca,* Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne, 53, s. 123–137.

Krzemień K., 1984, *Współczesne zmiany modelowania koryt potoków w Gorcach,* Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne, 59, s. 83–96.

Krzemień K., 1991, *Struktura i dynamika koryt potoków Plima i Madriccio w Masywie Ortler-Cevedale (Alpy Włoskie),* Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne, 83, s. 7–30.

http://rcin.org.pl

Krzemień K., 1999, *Structure and dynamics of the high-mountain channel of river Plima in the Ortler-Cevedale Massif (South Tirol),* [w:] K. Krzemień (red.), *River Channels-pattern, Structure and Dynamics,* Prace Geograficzne, 104, s. 41–55.

Krzemień K., 2001, *Struktura i dynamika koryta rzeki Coupe de Pavin w obszarze wulkanicznym Owernii (Francja)*, [w:] A. Karczewski, Z. Zwoliński (red.), *Funkcjonowanie geoekosystemów* w zróżnicowanych warunkach *morfoklimatycznych*, Wydawnictwo Naukowe Bogucki, Poznań, s. 269–280.

Krzemień K., 2003, *The Czarny Dunajec River, Poland, as an example of human induced development tendencies in a mountain river channel*, Landform Analysis, 4, s. 57–64.

Krzemień K., 2006, *Badania struktury i dynamiki koryt rzek karpackich*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 4, 1, s. 131–142.

Krzemień K., 2012, *Metody badań struktury koryt rzecznych,* [w:] K. Krzemień (red.), *Struktura koryt rzek i potoków (studium metodyczne),* Wydawnictwo IGiGP UJ, Kraków, s. 9–13.

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, s. 249–260.

Łapuszek M., Ratomski J., 2008, *Zmiany erozyjne dna koryta Soły,* Gospodarka Wodna, 2, s. 54–57.

Malarz R., 2002, *Powodziowa transformacja gruboklastycznych aluwiów w* żwirodennych *rzekach zachodnich Karpat fliszowych (na przykładzie Soły i Skawy)*, Wydawnictwo Naukowe AP, Kraków.

Malarz R., 2005, *Effects of flood abrasion of the Carpathian alluvial gravels*, Catena, 26, s. 1–26.

Mądry J., 1970, *Próba odtworzenia genezy przełomów Skawy przez Beskid Mały*, Prace Geograficzne UJ, 5, 40, s. 35–41.

Niemirowski M., 1974, *Dynamika współczesnych koryt potoków górskich (na przykładzie potoków Jaszcze i Jamne w Gorcach)*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne, 34, Kraków.

Podgórski Z., 2001, *Antropogeniczne zmiany rzeźby terenu na obszarze Polski*, Przegląd Geograficzny, 73, 1–2, s. 37–56.

Popov J.V., 1969, *Deformatsyi rechnykh rusel i gidrotekhnicheskoye stroitelstvo*, Gidrometeoizdat, Leningrad.

Projekt techniczny regulacji rzeki Skawy w 17+724 – 20+336 w Wadowicach, 1968, zleceniodawca: Okręgowa Dyrekcja Gospodarki Wodnej w Krakowie.

Rączkowska Z., 1983, *Types of stream channels in the Chochołowska Drainage Basin (The Polish Western Tatra Mts.),* Studia Geomorphologica, Carpato-Balcanica, 16, s. 143–159.

Smolska E., 1999, *River channel structure in a late glaciation area. An example of the upper Szeszupa river (Suwałki Lakeland, Northeastern Poland),* [w:] K. Krzemień (red.), *River Channels-pattern, Structure and Dynamics,* Prace Geograficzne, 104, s. 109–123.

http://rcin.org.pl

Szymczuk P., 2013, *Struktura koryta potoku huncowskiego w Słowackich Tatrach Wysokich*, Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 13, 2, s. 133–145.

Tekielak T., Michalik A., Bąk Ł., Książek L., 2007, *Wpływ wezbrań na intensywność procesów fluwialnych na przykładzie koryta potoku Smolnik*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 4, 1, s. 167–178.

Tille W., 1970, *Kartowanie brzegów rzek,* Przegląd Zagranicznej Literatury Geograficznej, 4, s. 71–149.

Wiejaczka Ł., Bochenek W., 2013, *Przekształcanie dna koryta rzeki górskiej w czasie dużych wezbrań na przykładzie Ropy*, Prace Geograficzne UJ, 132, s. 27–38.

Witkowski K., Wysmołek G., 2014, *Prasa regionalna o zdarzeniach powodziowych na ziemi wadowickiej w latach 1945–1972*, Wadoviana. Przegląd Historyczno-Kulturalny, 17, s. 130–148.

Witkowski K., 2015a, *Ewolucja koryta dolnej Skawy w świetle zabudowy hydrotechnicznej*, Acta Scientiarum Polonorum, Formatio Circumiectus, 14, 1, s. 213–221.

Witkowski K., 2015b, *Funkcjonowanie zabezpieczonego koryta Skawy w Wadowicach*, Gospodarka Wodna, 8, s. 230–233.

Witt A., 1976, *Modyfikacja metody Tillego dotyczącej kartowania brzegów rzek,* Sprawozdania Poznańskiego Towarzystwa Przyjaciół Nauk, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, 91, s. 9–13.

Wyżga B., 2001, *Impact of the channelization – induced incision of the Skawa and Wisłoka rivers, southern Poland, on the conditions of overbank deposition*, Regulated Rivers: Research & Management, 17, s. 85–100.

Wyżga B., Kaczka R. J., Zawiejska J., 2003, *Gruby rumosz drzewny w ciekach górskich – formy występowania, warunki depozycji i znaczenie środowiskowe*, Folia Geographica. Series Geographica-Physica, 33/34, s. 117–138.

Wyżga B., Zawiejska J., Radecki-Pawlik A., 2016, *Impact of channel incision on the hydraulics of flood flows: Examples from Polish Carpathian rivers*, Geomorphology, 272, s. 10–20.

Zawiejska J., Krzemień K., 2004, *Man – induced changes in the structure and dynamic of the upper Dunajec River channel*, Geograficky časopis, 56, 2, s. 111–124.

Summary

Today, the development of river beds is shaped, not only by natural processes and phenomena, but also by anthropogenic impact. An acquaintanceship with the specifics of a bed system facilitates understanding of underlying mechanisms, allowing for both the protection of the natural environment and the management of flood risk.

Work described here sought to determine the morphodynamics of the river bed along the regulated part of the Skawa (Fig. 1), i.e. in its lower, lowland reaches. Achievement of this aim was made possible by the identification of: morphoge-

http://rcin.org.pl

netically uniform sections of the river, and factors intensifying sectional "rewilding" of its bed, with islands and central outwashes raking shape in consequence (Kamykowska et al., 2012). The typology referred to was based on the method for plotting a river bed after Kamykowska et al. (1999). Plotting proper was preceded by field observation, in line with which the Skawa bed was divided into 29 sections. The specified sections were then plotted by reference to a records book (Krzemień, 2012). Parameters obtained then provided for the typological analysis in fact identifying 12 morphogenetic sections of river bed (Fig. 2, line XII), as classified into 4 types differing in terms of the dominant process (Table 1).

From among the 12 morphogenetic sections of river bed identified, the transport process dominates in 6 (river bed types A and B, Table 1). While it was mainly transport that characterised section 1 (assigned to type A); in section 5 transport and redeposition were observed (giving type B). The remaining 6 sections are in turn dominated by lateral erosion and redeposition (types C and D respectively), with these processes assuming high intensities in 2 (type D). The sections currently identified as transporting and eroding-redepositing do not present stable forms. Rather, the presence of unstable shore protections and construction of new ones (through bed regulation at Jaroszowice) combine with the upcoming start of operations of the dam at Świnna Poręba to force the bed to adjust constantly to new flow conditions. The operation of "Lake Mucharskie" (actually a reservoir) is in turn expected to increase vertical erosion. In the sections currently modelled by intense lateral erosion and redeposition (two multi-stream sections), morphological processes are expected to transform the river bed until it becomes a wide waterway area of the kind natural for that section of the valley, albeit currently narrowed to the river bed banks.

The analysis of types of river bed along the lower Skawa points to the protected sections, dominated by transport, being the most susceptible to the rapid, significant transformations that may occur as a result of the destruction of rubble riprap.

[Wpłynęło: listopad 2016; poprawiono: marzec 2017]

http://rcin.org.pl

http://rcin.org.pl