

2

TRANSFORMACJA KORYTA DUNAJCA W XX WIEKU JAKO WYNIK INGERENCJI CZŁOWIEKA I ZMIAN ŚRODOWISKOWYCH W ZLEWNI

Joanna Zawiejska, Bartłomiej Wyźga

Abstrakt: W XX wieku koryto Dunajca uległo znacznemu zwężeniu połączonemu ze skróceniem rzeki w jej dolnym biegu i zastępowaniem wieloramiennego koryta korytem jednonurtowym w środkowym i górnym biegu. Towarzyszyło temu szybkie wcinanie się rzeki sięgające 3,5 m. Zasadniczym czynnikiem transformacji koryta Dunajca była jego regulacja. Wskazuje na to coraz późniejsze wystąpienie głównej fazy erozji wgłębnej w wyżej położonych odcinkach rzeki, wraz z prowadzeniem w nich prac regulacyjnych. Doprowadziły one do zwiększenia zdolności transportowej rzeki, co przy równoczesnym zmniejszeniu się dostawy rumowiska ze zlewni i eksploatacji żwirów z koryta spowodowało utratę pionowej stabilności koryta. Wsteczne przemieszczanie się impulsu do erozji wgłębnej z niżej położonych odcinków rzeki zostało zahamowane wskutek przegrodzenia rzeki zbiornikiem zaporowym w Rożnowie oraz odsłonięcia skalnego podłoża w dnie koryta.

Słowa kluczowe: transformacja koryta, wcinanie się rzeki, regulacja koryta, dostawa rumowiska

1. Wprowadzenie

W XX wieku rzeki polskich Karpat uległy istotnym przeobrażeniom polegającym na przekształceniu szerokich i płytkich koryt wielonurtowych, typowych dla poprzedniego stulecia [Klimek, Trafas, 1972; Adamczyk, 1981; Wyźga, 1993], w wąskie koryta jednonurtowe. Towarzyszyła temu tendencja rzek karpaccich do erozji wgłębnej [Szumański, 1977; Krzemień, 1981; Klimek, 1983; Wyźga, 1993, 2001, 2008 – w tym

tomie; Zawiejska, Krzemiń, 2004; Korpak, 2007]. Odzwierciedlała ona brak równowagi pomiędzy zdolnością transportową rzek i dostawą materiału do ich koryt, jednakże zarówno przyczyny, jak i przebieg oraz uwarunkowania wecinania się rzek w ich poszczególnych odcinkach są słabo rozpoznane. Przedstawiona w niniejszym artykule analiza przestrzennego zróżnicowania i przebiegu zmian koryta Dunajca w XX wieku umożliwi lepsze rozpoznanie prawidłowości dotyczących wecinania się tej i innych rzek polskich Karpat.

2. Obszar i metody badań

Dunajec jest górską rzeką żwirową o długości około 250 km. Jego dorzecze obejmuje zróżnicowany pod względem budowy geologicznej i rzeźby obszar o powierzchni 6804 km². Jako jedyny z karpaccich dopływów Wisły, Dunajec odwadnia zarówno Karpaty Wewnętrzne, jak i Zewnętrzne oraz Kotlinę Sandomierską. Pomimo, iż wysokogórski masyw tatrzański zajmuje niewielką część powierzchni dorzecza, jego wpływ na reżim hydrologiczny i skład materiału dennego Dunajca zaznacza się wzdłuż całego biegu rzeki. Na Dunajcu znajdują się obecnie dwa zespoły zbiorników wodnych: Czorsztyn–Niedzica i Sromowce Wyżne oraz Rożnów–Czchów, modyfikujące reżim rzeki w środkowym i dolnym biegu.

Do wnioskowania o zmianach koryta Dunajca wykorzystano różne materiały źródłowe. Rekonstrukcji zmian układu koryta Dunajca dokonano w oparciu o analizę sześciu map historycznych z lat 1878-1979, porównując przebieg koryta w wybranych odcinkach rzeki. Na każdej z map zmierzono długość rzeki oraz co 250 m określono szerokość koryt(a) małej wody i liczbę szlaków przepływu (roztok, odrębnych koryt, młynówek). Zmiany kształtu i pionowego położenia koryta określono na podstawie pomiarów przekrojów wodowskazowych wykonanych przez służbę hydrologiczną oraz zmian minimalnych rocznych stanów wody w 10 posterunkach wodowskazowych usytuowanych wzdłuż całego biegu rzeki. Dla poszczególnych przekrojów wodowskazowych określono kierunek oraz wielkość zmian pionowego położenia koryta oraz obliczono ich średnie tempo w okresie obserwacji. Dla Czarnego Dunajca przeprowadzono także analizy zmian koryta oraz ewolucji równi zalewowej w oparciu o wiercenia świdrem glebowym w datowanych kartograficznie paleokorytach. Stwierdzone w ten sposób prawidłowości zmian koryta Dunajca w badanym okresie skonfrontowano z danymi dotyczącymi zmian w użytkowaniu zlewni oraz bezpośredniej ingerencji człowieka w korycie rzeki, tj. wykonanych prac regulacyjnych, budowy zbiorników zaporowych, a także eksploatacji żwirów. W czasie prac terenowych rejestrowano także występujące w korycie wychodnie skał podłoża oraz budowle hydrotechniczne mogące wpływać na przebieg procesów korytowych; czas funkcjonowania tych budowli określano na podstawie danych służb hydrotechnicznych.

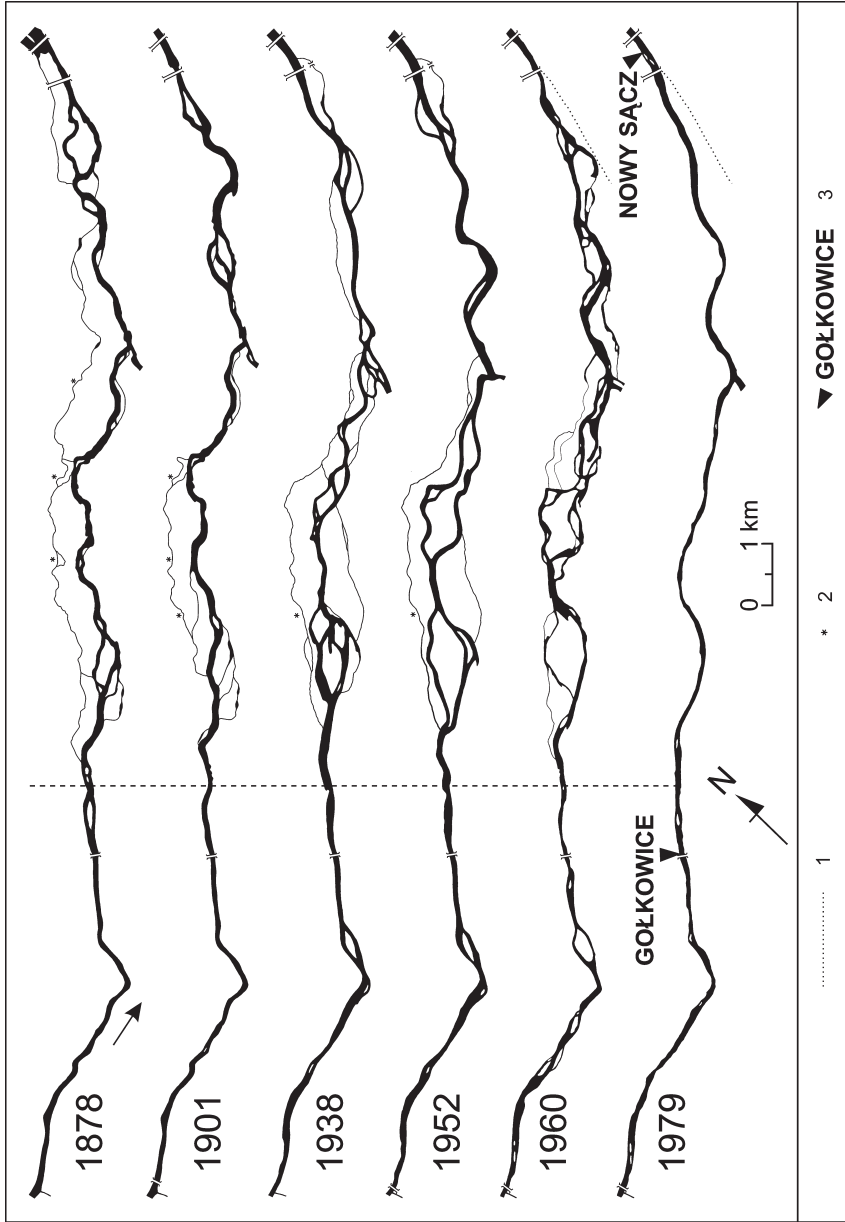
3. Transformacja koryta Dunajca w XX wieku

3.1. Zmiany koryta w dolnym biegu rzeki

W dwóch ostatnich dekadach XIX wieku przekopy wykonane w dolnym biegu rzeki spowodowały skrócenie jej biegu o około 10%, dokonano wówczas także obwałowania rzeki w jej odcinku w Kotlinie Sandomierskiej. Prace regulacyjne prowadzone do lat 20. XX wieku doprowadziły ponadto do znacznego zwężenia koryta Dunajca. Szerokość koryta małej wody została zmniejszona stosunkowo szybko i w 1901 roku stanowiła zaledwie dwie trzecie szerokości koryta przedstawionego na mapie z 1878 roku. Analiza przekrojów poprzecznych koryta pokazuje jednak, że zmniejszanie pełnokorytowej szerokości rzeki następowało wolniej i trwało do lat 20. XX wieku, gdy nastąpiło zalądowanie basenów pomiędzy kolejnymi ostrogami i ich włączenie w obręb równi zalewowej. Wzrost jednostkowej energii rzeki, wywołany zwiększeniem spadku i zmniejszeniem szerokości koryta oraz koncentracją przepływów wezbraniowych w międzywalu, spowodował erozję dna rzeki. W przekroju wodowskazowym Żabno, zlokalizowanym w Kotlinie Sandomierskiej, wcięcie się rzeki, rozpoczęte w latach 80. XIX wieku, wyniosło dotychczas 3,1 m, przy czym większa część obniżenia się dna koryta nastąpiła tu przed uruchomieniem zbiornika roznowskiego w 1941 roku [Zawiejska, 2006]. Pomimo zatrzymania dostawy materiału dennego z odcinka rzeki położonego powyżej zbiornika, erozja dna uległa zahamowaniu w połowie stulecia, gdy po zniszczeniu przez rzekę umocnień brzegów nastąpił wzrost szerokości jej koryta. Kolejny etap obniżania się dna rozpoczął się w końcu lat 50. w następstwie wznowienia w dolnym biegu rzeki prac regulacyjnych, polegających na dalszym zwężeniu i wyprostowaniu jej koryta. W przekroju wodowskazowym Zgłobice, w pobliżu granicy pogórskiego i przedgórskiego odcinka rzeki, pogłębienie się koryta było jeszcze większe i w latach 1880-1990 osiągnęło 3,4 m. Zaznaczające się tu z końcem lat 90. XX wieku nadbudowanie dna o ok. 0,5 m związane było z przegrodzeniem rzeki betonowym jazem w odległości około 5 km poniżej przekroju wodowskazowego.

3.2. Zmiany koryta w środkowym biegu rzeki

Charakterystyczną cechą doliny Dunajca w środkowym biegu rzeki jest naprzemianległe występowanie jej przełomowych odcinków oraz rozszerzeń o charakterze kotlin. W odcinkach rzeki w obrębie zwężeń doliny, cechujących się występowaniem stosunkowo wąskiego, skalnego koryta, przeprowadzono jedynie niewielkie prace regulacyjne i w efekcie, w ciągu XX wieku, miały tu miejsce jedynie nieznaczne zmiany geometrii planarnej koryta. Na przykład w odcinku rzeki w obrębie przełomu tyłmanowskiego skrócenie koryta w latach 1878-1979 nie przekroczyło 2%, zaś średnia szerokość koryta małej wody oscylowała pomiędzy 79 i 63 m. Jednocześnie, występowanie wychodni odpornych skał fliszowych w dnie koryta utrudniało postęp erozji w głębszej; w konsekwencji zmiany kształtu przekroju poprzecznego koryta w tych odcinkach były niewielkie.



Ryc. 2.1. Zmiany biegu koryta(a) małej wody Dunajca pomiędzy Jazowskiem a Nowym Sączem przedstawione na mapach z lat 1878-1979. Przedstawiony wycinek biegu rzeki obejmuje odcinek górski (na lewo od linii przerywanej) oraz odcinek w obrębie Kotliny Sądeckiej (na prawo od linii przerywanej). 1 – wały przeciwpowodziowe; 2 – młyny i tartaki; 3 – posterunki wodowskazowe.

Fig. 2.1. Changes in the course of low-flow channel(s) of the Dunajec River between Jazowsko and Nowy Sącz as shown by maps from the period 1878-1979. The analysed river reach comprises a mountain section (on the left side of a vertical dashed line) and a section within the intramontane Nowy Sącz Basin (on the right side of the vertical dashed line). 1 – flood embankments; 2 – watermills and sawmills; 3 – water-gauge stations.

W odcinkach koryta położonych w obrębie kotlin śródgórskich oraz w górskich odcinkach doliny o szerszym dnie prace regulacyjne prowadzono w dwóch etapach: od lat 90. XIX wieku do lat 20. XX wieku oraz od lat 50. do lat 70. XX wieku. Rycina 2.1 obrazuje zaistniałe w latach 1878-1979 zmiany układu koryta Dunajca w jego środkowym biegu charakterystyczne dla obu typów odcinków koryta. W górskim odcinku rzeki powyżej przekroju wodowskazowego Gołkowice, gdzie prace regulacyjne polegały na przeciwerozryjnej zabudowie brzegów i ukierunkowaniu nurtu za pomocą ostróg, zmiany koryta były stosunkowo niewielkie. Analiza zmian minimalnych stanów wody w przekroju Gołkowice wskazuje, iż pierwsza faza regulacji spowodowała obniżenie dna o około 0,5 m, po czym, wraz z zaprzestaniem prac regulacyjnych, do 1950 roku dno koryta odzyskało swoje wcześniejsze wysokie położenie. Erozja wgłębna wystąpiła ponownie po wznowieniu prac regulacyjnych, w efekcie czego w drugiej połowie stulecia dno koryta w przekroju wodowskazowym obniżyło się o niemal 1 m. Wraz z obniżeniem się dna koryta nastąpiło tu wyprzątnięcie aluwii i docięcie się rzeki do podłoża skalnego.

Wczesne próby regulacji koryta Dunajca w obrębie Kotliny Sądeckiej, podjęte na początku XX wieku, okazały się nieskuteczne i do połowy stulecia nastąpiło tu odtworzenie wielonurtowego układu koryta i wysokiego położenia dna rzeki (ryc. 2.1). Jednocześnie średnia szerokość koryta małej wody zwiększyła się ze 115 m w 1878 roku do około 130 m w latach 1938-1960. Dopiero prace regulacyjne rozpoczęte w końcu lat 50. spowodowały tu znaczne zmiany koryta. W ich wyniku wielonurtowe koryto rzeki zostało przekształcone w proste, jednonurtowe koryto o średniej szerokości 72 m, stanowiącej zaledwie połowę szerokości koryta małej wody sprzed regulacji (ryc. 2.1). Wzrost zdolności transportowej rzeki, wynikający z koncentracji przepływu w zwężonym korycie i zmniejszenia oporów przepływu, spowodował gwałtowne wcinanie się rzeki. Obserwacje terenowe wskazują, iż dno koryta Dunajca w odcinku pomiędzy posterunkami wodowskazowymi Nowy Sącz i Gołkowice uległo w drugiej połowie XX wieku obniżeniu o około 2 m. Postęp erozji wstecznej został jednak zahamowany w wyniku stosunkowo wczesnego odsłonięcia podłoża skalnego w dnie koryta w dolnej części sąsiedniego, górskiego odcinka rzeki (ryc. 2.2).

3.3. Zmiany koryta Czarnego Dunajca

Do pierwszej połowy XX wieku Czarny Dunajec, stanowiący górny odcinek biegu Dunajca, płynął szerokim, wielonurtowym korytem [Krzemień, 1981]. Taki układ koryta był wynikiem obfitego zasilania rzeki rumowiskiem dostarczanym ze zlewni w znacznym stopniu wylesionej i intensywnie użytkowanej rolniczo i pastersko. W drugiej połowie stulecia Czarny Dunajec cechowało natomiast znaczne zróżnicowanie morfodynamicznych tendencji koryta w różnych odcinkach biegu rzeki [Krzemień, 2003; Zawiejska, Krzemień, 2004]. W górnym biegu Czarnego Dunajca na przedpolu masywu tatrzańskigo doszło do niemal całkowitego przekształcenia wielonurtowego



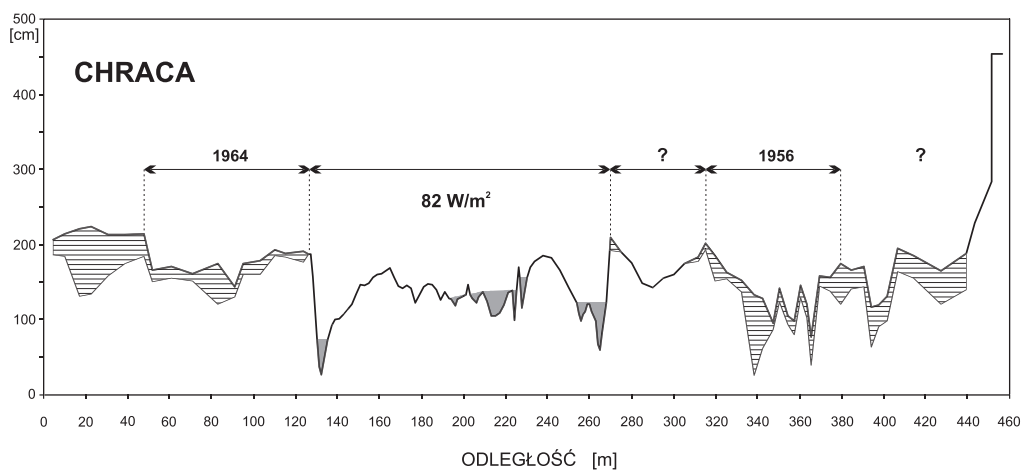
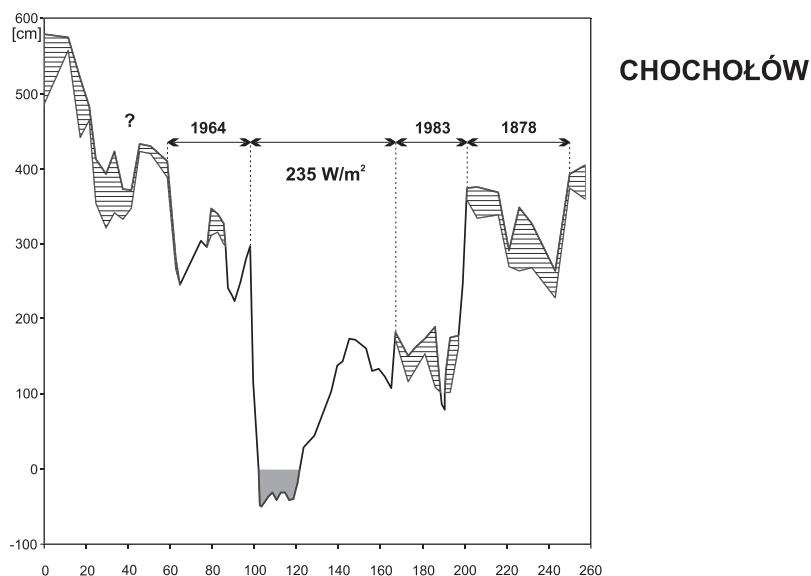
Ryc. 2.2. Widok koryta Dunajca z mostu w Gołkowicach w środkowym biegu rzeki. Głębokie wcięcie się rzeki cechujące jej aluwialny odcinek w obrębie Kotliny Sądeckiej znacznie maleje w miejscu, gdzie erozja wsteczna dotarła do skalnego koryta w górskim odcinku Dunajca.

Fig. 2.2. Downstream view of the Dunajec from a bridge at Gołkowice in the middle river course. Deep channel incision typifying the alluvial section within the intramontane Nowy Sącz Basin is considerably reduced where upstream-progressing bed degradation reached a bedrock-controlled mountain section.

koryta w koryto jednonurtowe, połączonego z wcięciem się rzeki. To wcięcie się rzeki było spowodowane:

- wzrostem zdolności transportowej Czarnego Dunajca w efekcie prowadzonej od lat 60. regulacji jego koryta,
- eksploatacją żwirów, polegającą na pozyskiwaniu na masową skalę materiału korytowego bezpośrednio z dna rzeki, przede wszystkim w latach 50. i 60., oraz niekontrolowanym pozyskiwaniu dużych otczaków tworzących opancerzenie dna koryta, trwającym przez całą drugą połowę stulecia [Dudziak, 1965; Krzemień, 2003, Zawiejska, Krzemień, 2004],
- zmniejszeniem się dostawy rumowiska z wysokogórskiej części zlewni, prawdopodobnie w wyniku zaniechania wypasu w Tatrach i poprawy stanu lasów tatrzańskich po utworzeniu tam parku narodowego w 1954 roku.

Wielkość pogłębienia się koryta w odcinku rzeki na przedpolu Tatr wydaje się być w znacznym stopniu zależna od litologii skał podłoża. Tam, gdzie podłoże to stanowią stosunkowo odporne piaskowce, wcięcie się rzeki na ogół nie przekroczyło 1 m i uległo zahamowaniu po wyprzątnięciu z koryta aluwów i odsłonięciu wychodni skalnych. Natomiast tam, gdzie dno koryta tworzą nieskonsolidowane ily plioceniczne, wielkość wcięcia się rzeki sięga 3,5 m (ryc. 3.3 – stanowisko Chochołów).



Ryc. 2.3. Przekrój koryta Czarnej Dunajca i przyległych do rzeki partii równiny aluwialnej w głęboko wcięтым odcinku w Chochołowie i w stabilnym pionowo lub wolno nadbudowywanym odcinku w Chracy. Szarą szrafurą zaznaczono aktywne koryta małej wody, a poziomym kreskowaniem drobnoziarniste osady pozakorytowe. Wskazano wiek kartograficznie datowanych paleokoryt. Liczby powyżej współczesnego koryta wskazują wartości jednostkowej mocy strumienia przy kulminacyjnym przepływie wezbrania z lipca 2001 roku oszacowane dla przedstawionych przekrojów rzeki.

Fig. 2.3. Cross-section of the channel and proximal parts of the alluvial plain of the Czarny Dunajec River in the deeply incised reach at Chochołów (upper) and in the vertically stable or slowly aggraded reach at Chraca (lower). Gray shading indicates active low-flow channels and horizontal hatching denotes fine overbank sediments overlying channel gravels. The age of cartographically dated paleochannels is indicated. Figures above the present-day channel at both sites show values of unit stream power at the peak flow of the July 2001 flood estimated for the analysed cross-sections.

W środkowym biegu Czarnego Dunajca, bezpośrednio poniżej głęboko wciętego odcinka rzeki, jej koryto na długości 7 km zwężono i ustabilizowano za pomocą systemu betonowych stopni, których obecność zapobiegła przenoszeniu impulsu do erozji wgłębnej z biegiem rzeki. W efekcie tych zmian ten odcinek rzeki pełni współcześnie funkcję transportową. Materiał denny przenoszony przez ten odcinek jest deponowany poniżej, w kilkukilometrowym, nieuregulowanym odcinku rzeki. Koryto Czarnego Dunajca zachowało tu wielonurtowy układ i znaczną szerokość, utrzymując jednocześnie pionową stabilność bądź wykazując tendencję do powolnej agradacji (ryc. 3.3 – stanowisko Chraca). Znaczna różnica jednostkowej mocy strumienia pomiędzy głęboko wciętym korytem w Chochołowie i płytkim, roztokowym korytem w Chracy (ryc. 3.3) wskazuje, iż odcinek Czarnego Dunajca o tendencji do erozji wgłębnej wciąż znajduje się w warunkach dalekich od stanu równowagi.

W dolnym biegu Czarnego Dunajca przekształcenie wielonurtowego koryta w koryto jednonurtowe, połączone ze znacznym zwężeniem rzeki, nastąpiło najwcześniej w wyniku prac regulacyjnych prowadzonych w latach 30. oraz 60.-70. XX wieku. Odzwierciedleniem zwiększenia zdolności transportowej rzeki w wyniku regulacji koryta były dwie fazy erozji wgłębnej, w wyniku których dno rzeki w przekroju wodowskazywym Nowy Targ obniżyło się łącznie o 0,9 m.

4. Uwagi końcowe

Przedstawiona analiza zmian koryta Dunajca wskazuje, że pomimo ogólnej tendencji tej rzeki górskiej do wcinania się w ciągu XX wieku, pomiędzy jej poszczególnymi odcinkami zaznaczyły się znaczne różnice czasu wystąpienia, przebiegu, a nawet kierunku zmian koryta, w zależności od zróżnicowanego wpływu człowieka i lokalnych uwarunkowań wynikających z budowy geologicznej i ukształtowania doliny. Coraz późniejsze wystąpienie głównej fazy erozji wgłębnej w wyżej położonych odcinkach rzeki było wynikiem prowadzenia prac regulacyjnych w poszczególnych odcinkach rzeki w różnych okresach. Propagacja impulsu do erozji wstecznej z wcześniej wciętych, niżej położonych odcinków rzeki została jednak uniemożliwiona lub w znacznym stopniu zahamowana w wyniku przegrodzenia rzeki zbiornikiem rożnowskim, a także występowania wychodni skalnych w dnie koryta. Jednocześnie, jedynie w krótkim, nieuregulowanym odcinku w górnym biegu rzeki dostawa materiału dennego z wyższych odcinków podlegających erozji wgłębnej przyczyniła się do pionowej stabilności lub powolnej agradacji koryta. W pozostałych odcinkach, zwężonych w toku prac regulacyjnych, dostawa materiału dennego wynoszonego z wyżej położonego, pogłębianego odcinka rzeki nie przyczyniała się do przywrócenia wcześniejszego, wysokiego położenia dna koryta. Charakterystyczna dla tych zwężonych odcinków znaczna zdolność transportowa rzeki powodowała bowiem, że dostarczany materiał nie był w nich zatrzymywany, lecz przenoszony z biegiem rzeki do zbiornika rożnowskiego lub bezpośrednio do Wisły.

Badania sfinansowano ze środków na naukę w latach 2005-2008 w ramach realizacji projektu badawczego nr 2 P04G 092 29.

Piśmiennictwo

- Adamczyk M., 1981: Rzeki Karpat Północnych w XVIII i XIX wieku. *Wierchy*, **49**, 227-240.
- Dudziak J., 1965: Dzika eksploatacja kamienia w powiecie nowotarskim. *Ochrona Przyrody*, **31**, 161-187.
- Klimek K., 1983: Erozja wgłębna dopływów Wisły na przedpolu Karpat. [w:] Z. Kajak (red.), *Ekologiczne podstawy zagospodarowania Wisły i jej dorzecza*. PWN, Warszawa-Lódź, 97-108.
- Klimek K., Trafas K., 1972: Young-Holocene changes in the course of the Dunajec River in the Beskid Sądecki Mts (Western Carpathians). *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, **6**, 85-92.
- Korpak J., 2007: The influence of river training on mountain channel changes (Polish Carpathian Mountains). *Geomorphology*, **92**, 166-181.
- Krzemień K., 1981: Zmienność systemu korytowego Czarnego Dunajca. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego, Prace Geograficzne*, **53**, 123-137.
- 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.
- 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**, 139-153.
- Wyźga B., 1993: Present-day changes in the hydrologic regime of the Raba River (Carpathians, Poland) as inferred from facies pattern and channel geometry. [w:] M. Marzo, C. Puigdefàbregas (red.), *Alluvial Sedimentation*. International Association of Sedimentologists Special Publication, **17**, 305-316.
- Wyźga B., 2001: A geomorphologist's criticism of the engineering approach to channelization of gravel-bed rivers: case study of the Raba River, Polish Carpathians. *Environmental Management*, **28**, 341-358.
- Wyźga B., 2008: Wcinanie się rzek polskich Karpat w ciągu XX wieku. [w:] B. Wyźga (red.), *Stan środowiska rzek południowej Polski i możliwości jego poprawy – wybrane aspekty*. Instytut Ochrony Przyrody PAN, Kraków, 7-39.
- Zawiejska J., 2006: *Struktura i dynamika koryta Dunajca*. Rozprawa doktorska, maszynopis, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Kraków.
- Zawiejska J., Krzemień K., 2004: Human impact on the dynamics of the upper Dunajec River channel: a case study. *Geografický Časopis*, **56**, 111-124.

Twentieth-century channel change of the Dunajec River: effects of human impact and environmental change in the catchment

Summary

The channel of the Dunajec, the second largest river of the Polish Carpathians, was significantly transformed during the 20th century. In the lower course of the river, the channel was straightened and considerably narrowed, whereas in the middle and upper course, the former wide, multi-thread channel was substituted with a narrow, single-thread channel. These changes were accompanied by rapid channel incision. The channel changes were mainly caused by channelization works which increased transport capacity of the river. As the increase took place concurrently with a reduction in catchment sediment supply, it resulted in the loss of the vertical stability of the channel. Major changes to planar channel geometry shifted with time towards upstream reaches and this was reflected in a progressively later occurrence of the main phase of channel incision in the upstream direction. However, upstream progression of bed degradation from the already incised downstream reaches was precluded by the Rożnów Dam and bedrock-controlled reaches. The analysis of spatial and temporal patterns of the 20th-century channel changes of the Dunajec indicates that the scale and effects of the changes were conditioned not only by variable human impact but also by local geological and geomorphological conditions.