

*Bartłomiej Wyżga¹, Ryszard J. Kaczka²,
Joanna Zawiejska³*

GRUBY RUMOSZ DRZEWNY W CIEKACH GÓRSKICH — FORMY WYSTĘPOWANIA, WARUNKI DEPOZYCJI I ZNACZENIE ŚRODOWISKOWE

Deponowane w ciekach drzewa i krzewy oraz ich większe fragmenty określa się jako gruby rumosz drzewny. Formami jego występowania są: kłody, krzewy i drzewa, zwały oraz karpy. Dostawa grubego rumoszu drzewnego do cieków górskich może być wynikiem naturalnego rozpadu obumarłych drzew, lawin, spływów gruzowych i osuwisk, powalenia przez wiatr, erozji brzegów koryt, gospodarki leśnej oraz ścinania nadrzecznych drzew przez bobry.

W źródłiskowych odcinkach cieków górskich depozycja grubego rumoszu drzewnego zachodzi w nieuporządkowany sposób w miejscach dostawy powalonych drzew ze zboczy dolin. W potokach górskich drewno jest preferencyjnie przechwytywane w miejscach zwężenia koryta, a charakterystyczną formą jego nagromadzeń są tamy drzewne. Natomiast w rzekach górskich, o szerokości koryta większej od wysokości drzew porastających jego brzegi, gruby rumosz drzewny jest deponowany w miejscach rozszerzania się koryta i spadku zdolności transportowej rzeki. Mobilność grubego rumoszu drzewnego zwiększa się wraz ze wzrostem wielkości cieku wskutek wzrostu kompetencji przepływów wezbraniowych i zwiększania się rozmiarów drewna mogącego zakotwiczać się na obu brzegach koryta.

Deponowany w ciekach górskich gruby rumosz drzewny wywiera istotny wpływ na ich morfologię, na hydraulikę przepływów wezbraniowych oraz na zdolność cieków do akumulacji materiału dennego, a w konsekwencji na natężenie jego transportu i charakter dna cieków. Drewno powalonych drzew pełni także istotne funkcje w kształtowaniu ekosystemów cieków górskich, zwiększając w nich fizyczną różnorodność siedlisk, tworząc siedliska, stanowiąc pokarm dla wielu grup organizmów i zwiększając możliwości zatrzymywania drobnej materii organicznej w ciekach. Korzystny wpływ grubego rumoszu drzewnego na funkcjonowanie geo- i ekosystemów cieków górskich powinien być uwzględniany w gospodarce wodnej prowadzonej w tych ciekach.

Słowa kluczowe: gruby rumosz drzewny, cieki górskie, depozycja drewna, geosystem, ekosystem

Key words: large woody debris, mountain streams, wood deposition, geosystem, ecosystem

WSTĘP

Drzewa lub ich fragmenty dostają się do koryt cieków górskich w wyniku naturalnego rozpadu obumarłych drzew, szeregu procesów geomorfologicznych (Keller, Swanson 1979), działalności człowieka oraz ścinania nadrzecznych drzew przez bobry. Wraz z przerwaniem łączności pomiędzy korzeniami a glebą w momencie przewrócenia się drzewa lub wraz z odłamaniem się konarów i gałęzi z rosnących drzew, te drzewa lub ich fragmenty stają się specyficznymi klastami biogenicznego pochodzenia, które mogą następnie w rzekach podlegać transportowi i depozycji, mechanicznej obróbce w czasie transportu i biochemicznemu rozkładowi w stanie spoczynku. Długotrwałe wycinanie nadrzecznych lasów w dolinach rzek zagospodarowanych obszarów Europy i Ameryki Północnej oraz zahamowanie lub spowolnienie erozji bocznej w wyniku zabudowy regulacyjnej tych rzek znacząco ograniczyły jednak w najmłodszym okresie historycznym dostawę drzew do ich koryt (Petts 1990). Ponadto, powalone drzewa były tu rutynowo usuwane z koryt w celu zapobieżenia zmniejszeniu się ich przepustowości dla wód wezbraniowych, uniknięcia uszkodzeń mostów i pozyskania drewna opałowego. W rezultacie, znaczenie powalonych drzew dla funkcjonowania geo- i ekosystemów rzecznych było do niedawna słabo rozpoznane.

W zachodniej części Ameryki Północnej cieki najdłużej zachowały swój naturalny charakter. W drugiej połowie XIX w. powalone drzewa pokrywały 25–50% powierzchni dna potoków spływających z Gór Kaskadowych i Nadbrzeżnych do Pacyfiku, a zatory utworzone z napławionych drzew uniemożliwiały spływ po większych rzekach tego obszaru (Sedell i in. 1988). Od końca XIX w. rozpoczęto tu usuwanie powalonych drzew z rzek, zmierzając do ich użegłownienia, zaś w latach 50. i 60. XX w. podjęto zakrojoną na szeroką skalę akcję usuwania drewna z potoków górskich, której celem było usunięcie przeszkód utrudniających swobodny przepływ na tarło ryb łososiowatych. Usunięcie drewna z cieków spowodowało jednak drastyczny spadek ilości ryb (Sedell i in. 1988 i cytowane tam prace). W następstwie tych niefortunnych działań cieki północnej Kalifornii, Oregonu i stanu Washington stały się kolebką badań nad środowiskowym znaczeniem drewna w systemach rzecznych, których efektem była stopniowo narastająca od końca lat 70. XX wieku liczba opracowań naukowych. W polskiej literaturze geograficznej z zakresu tej tematyki ukazało się dotychczas zaledwie kilka prac poświęconych depozycji i środowiskowemu znaczeniu kłód świerkowych w górnym biegu Kamienicy w Gorcach (Kaczka 1999a, b) oraz w wybranych górskich potokach Europy Środkowej (Kaczka 2002a, b).

Celem przedstawianego artykułu jest zaznajomienie polskich czytelników z zagadnieniami związanymi z obecnością drewna w ciekach

górkich. Zostaną w nim przedstawione formy występowania drewna w ciekach, procesy powodujące dostawę drzew do cieków górskich i czynniki wpływające na lokalizację depozycji drewna oraz jego stabilność w ciekach różnej wielkości, zostanie także omówione znaczenie drewna dla funkcjonowania geo- i ekosystemów cieków górskich.

GRUBY RUMOSZ DRZEWNY I FORMY JEGO WYSTĘPOWANIA

Krótki okres badań nad rolą powalonych drzew w procesach fluwialnych jest przyczyną braku powszechnie przyjętych terminów z tego zakresu zarówno w światowej, jak i w polskiej literaturze geograficznej. W terminologii angielskiej zdeponowane w ciekach drzewa i większe ich fragmenty określa się terminami: „coarse woody debris”, „large woody debris” lub „large organic debris”. Koncentracja dotychczasowych badań w wysokogórskich zlewniach porośniętych drzewami iglastymi powodowała, że terminy te utożsamiano do niedawna (np. Lofroth 1998) z kłodami, czyli pniami lub cylindrycznymi fragmentami pni, konarów i korzeni drzew. Przeprowadzone w ostatnich latach badania w większych rzekach, mających brzegi porośnięte drzewami i krzewami liściastymi, wskazały również na inne formy występowania drewna w ciekach (Thévenet i in. 1998).

Jako polski odpowiednik wymienionych powyżej angielskich określeń zaproponowano termin „gruby rumosz drzewny (organiczny)”. Określa on zdeponowane w ciekach drzewa i krzewy oraz ich fragmenty o długości większej od 1 m i średnicy większej od 10 cm, lub o całkowitej masie większej od 4 kg, a także ich agregaty.

Najczęstszymi formami występowania grubego rumoszu drzewnego są:

- kłody (ang. „logs”, „trunks”) — będące pojedynczymi pniami (fot. 1A) lub fragmentami pni, konarów i korzeni o długości większej od 1 m i średnicy, mierzonej w połowie długości, większej od 10 cm (fot. 1B);
- krzewy i drzewa (ang. „shrubs”, „whole trees”) — stanowiące zdeponowane w ciekach krzewy oraz drzewa z zachowaną koroną i często także wiązką korzeni, cechujące się przestrzenną strukturą (fot. 2A);
- zwały (ang. „jams”) — będące różnorodnymi mieszaninami pni, konarów, gałęzi i korzeni wraz z materiałem mineralnym i drobniejszym materiałem organicznym (fot. 2B).

Ponadto, jeśli w nadrzecznych lasach była prowadzona wycinka drzew, wówczas boczna migracja rzeki będzie powodować dostawę do jej

koryta karp, zwanych także pniakami (ang. „stumps”), składających się z wiązki korzeni wraz z najniższą częścią pnia pozostałą po ścięciu drzewa (fot. 5 — środkowa część zdjęcia). Karpy mogą także powstawać w wyniku pozyskiwania zdeponowanych w ciekach drzew i pozostawienia w korycie ich nieprzydatnych części korzeniowych.

Gałęzie krzewów są z reguły cieńsze od 10 cm, a maksymalna rozpiętość karp często nie przekracza 1 m. Pomimo tego, biomasa drewna tych form może być znaczna, zaś ich całkowite rozmiary umożliwiają istotne oddziaływanie na przepływ wody i rumowiska w ciekach. Przy przeciętnej masie właściwej nierozłożonego drewna równej $0,5 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3}$ (Harmon i in. 1986), masa cylindrycznej kłody o granicznych rozmiarach 1 m długości i 10 cm średnicy wynosi niemal 4 kg. Dlatego też przedstawiona powyżej definicja pozwala zaliczać do grubego rumoszu drzewnego formy o całkowitej masie większej od 4 kg, nawet jeśli długość lub średnica tworzących je elementów nie przekracza granicznych rozmiarów, odpowiednio, 1 m i 10 cm.

Poszczególne formy grubego rumoszu drzewnego różnią się masą drewna zawartą w ich określonej objętości. O ile obliczanie masy kłód od dawna nie nastroczało trudności, to dopiero kilka lat temu opracowano metodykę szacowania masy innych form grubego rumoszu drzewnego na podstawie pomiarów ich geometrii (Thévenet i in. 1998). Polega ona na określeniu statystycznych zależności pomiędzy rozmiarami poszczególnych form rumoszu a ich masą, cechujących badany ciek. W praktyce, możliwe jest wykorzystywanie ustalonych gdzie indziej zależności do określania ilości grubego rumoszu drzewnego zdeponowanego w ciekach usytuowanych w podobnych warunkach fizycznogeograficznych, w których zachodzi dostawa takich samych rodzajów drzew (Gurnell i in. 2000a, b).

Terminem stosowanym niekiedy w literaturze do określenia zdeponowanych w ciekach powalonych drzew jest „obumarłe drewno” (ang. „dead wood”). Terminu tego nie można jednak uważać za synonim grubego rumoszu drzewnego, gdyż w przypadku niektórych drzew liściastych, zwłaszcza topoli i wierzb, zarówno całe powalone drzewa, jak i ich połamane fragmenty mogą w miejscu depozycji nie obumierać, lecz ukorzeniać się i wypuszczać pędy (Gurnell i in. 2000b).

Wreszcie, należy wskazać na konieczność odróżniania „obumarłych drzew” (ang. „snags”) od grubego rumoszu drzewnego. Te pierwsze mogą przez dłuższy czas podlegać biochemicznemu rozkładowi stojąc, dopiero jednak ich powalenie umożliwia włączenie tych drzew do systemu rzeczno-ego oraz ich transport fluwialny.

DOSTAWA GRUBEGO RUMOSZU DRZEWNEGO DO KORYT CIEKÓW GÓRSKICH

Drzewa obumierają, osiągając maksymalny — dla danego siedliska oraz gatunku drzewa — wiek, a także na poszczególnych etapach rozwoju lasu, w wyniku konkurencji pomiędzy blisko rosnącymi osobnikami. Dostawę grubego rumoszu drzewnego do koryt, związaną z naturalną śmiertelnością drzew, obserwowano przede wszystkim w zlewniach porośniętych pierwotnym starodrzewem (Keller, Tally 1979; Sedell i in. 1988). Intensywna dostawa drewna do cieków może być także wynikiem zamierania całych kompleksów leśnych (Kaczka 2002a), wywołanego zanieczyszczeniami przemysłowymi i atakowaniem osłabionych drzew przez pasożytnicze owady, jakie nastąpiło w ostatnich dziesięcioleciach w niektórych górskich obszarach Europy.

Niezależnymi od uwarunkowań autoekologicznych czynnikami powodującymi dostawę grubego rumoszu drzewnego do koryt cieków górskich są: wiatr, lawiny, spływy gruzowe, osuwiska, erozja brzegów koryt, ścinanie nadrzecznych drzew przez bobry oraz gospodarka leśna. Działanie niektórych z tych czynników może się zaznaczać jedynie w pewnych odcinkach cieków, zwłaszcza w ich źródłiskowej części, inne zaś mogą być aktywne na całej długości cieków (Keller, Swanson 1979). Lawiny śnieżne i spływy gruzowe to procesy działające w obszarach wysokich gór o długich, stromych stokach (w Polsce Tatry, Karkonosze i masyw Babiej Góry); mogą one dostarczać powalone i połamane drzewa z partii stoków odległych od koryta cieku (Keller, Swanson 1979). Powalę drzew przez wiatr, erozja brzegów koryt i kęp oraz osuwiska i obrywy na podcinanych przez cieki zboczach dolin powodują dostawę drzew z bliskiego sąsiedztwa cieków (Robison, Beschta 1990a; Van Sickle, Gregory 1990) i mogą oddziaływać na całej ich długości. Działalność wiatru i ruchów masowych odgrywa przy tym kluczową rolę w dostawie drzew do cieków płynących wąskimi, zazwyczaj wciosowymi dolinami, natomiast tam, gdzie cieki mają możliwość swobodnej migracji po dnie doliny, dominującego znaczenia nabiera erozja brzegów koryta (Nakamura, Swanson 1994; Fetherston i in. 1995). Eksploatacja nadrzecznych lasów zazwyczaj wiąże się ze zrzucaniem do cieków nieprzydatnych części (gałęzi, wierzchołków) ściętych drzew; ponadto, często wymaga ona wznoszenia drewnianych mostów i kaszycowych umocnień brzegów koryt, których niszczenie powoduje dostawę drewna do cieków. Zasadniczo, gospodarka leśna prowadzi jednak do zmniejszenia naturalnej dostawy drzew do koryt cieków wskutek odmładzania drzewostanu i zmian jego składu gatunkowego (Sedell i in. 1988; Bragg, Kershner 1999). Wreszcie, bobry ścinają nadrzeczne drzewa, wykorzystując

je jako pożywienie oraz do budowy tam. Zamieszkują one cieki o niezbyt dużym spadku, których obszary zalewowe są porośnięte lasem liściastym (Gurnell 1998), zatem siedliska bobrów w ciekach górskich będą ograniczone do ich nisko położonych odcinków, gdzie klimat dna doliny sprzyja rozwojowi lasu liściastego.

GRUBY RUMOSZ DRZEWNY W CIEKACH RÓŻNEJ WIELKOŚCI

Wraz ze wzrostem wielkości cieku zmieniają się czynniki wpływające na lokalizację depozycji grubego rumoszu drzewnego, dominujące formy jego nagromadzeń i stabilność tych form (Piégay, Gurnell 1997), ulega także zmianie oddziaływanie rumoszu drzewnego na morfologię cieku (Nakamura, Swanson 1993). W źródłiskowych odcinkach rzek, w ciekach pierwszego i drugiego rzędu według klasyfikacji Strahlera, większość powalonych drzew jest znacznie dłuższa od szerokości cieku, przewieszając się ponad jego brzegami. Jeśli ciek taki płynie dnem doliny wcosowej, powalone drzewa mogą albo przełamywać się przy uderzeniu o przeciwległe zbocze, albo zawieszać się na zboczach doliny, pozostając wysoko ponad korytem cieku aż do czasu, gdy spróchniawszy ulegną przełamaniu pod własnym ciężarem (Nakamura, Swanson 1993). Nawet jeśli powalone drzewa dostaną się bezpośrednio na dno cieku, niewielka kompetencja jego przepływów wezbraniowych nie pozwala na ich przemieszczanie. Rozmieszczenie grubego rumoszu drzewnego w takich ciekach jest zatem odzwierciedleniem miejsc dostawy drzew z brzegów cieku i zboczy doliny oraz tempa rozkładu drewna (Gurnell i in. 2000a).

W przypadku większych cieków, trzeciego i czwartego rzędu, szerokość dna ich dolin jest zbyt duża, by przewrócone drzewa mogły oboma końcami zawieszać się wysoko ponad korytem i tylko część powalonych drzew może sięgać przeciwległego brzegu koryta. Ciężar tych większych drzew oraz długość, pozwalająca na zakotwiczenie na obu brzegach cieku, uniemożliwiają ich transport w czasie wezbrań. Natomiast drzewa krótsze od szerokości cieku oraz fragmenty połamanych drzew mogą być przenoszone w dół cieku i są deponowane wzdłuż brzegów koryta i na szczytach łach lub ulegają zatrzymaniu na przeszkodach, jakimi są przegradzające koryto większe powalone drzewa, głazy i ławice skalne oraz przewężenia koryta (Piégay, Gurnell 1997; Gurnell i in. 2000a). Preferencyjne zatrzymywanie grubego rumoszu drzewnego w miejscach zwężeń koryta stanowi charakterystyczną cechę takich cieków.

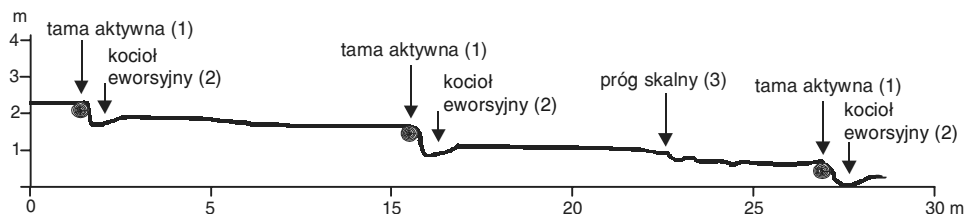
Przegradzające koryto pojedyncze drzewa lub nagromadzenia drzew stanowią przeszkodę dla przepływu wody i materiału dennego w cieku i są określane jako tamy drzewne (ang. „debris dams”). W zależności od

charakteru oddziaływania tamy na przepływ wody i rumowiska skalnego w cieku K.J. Gregory i in. (1985) wyróżnili:

- „tamy częściowe” (ang. „partial dams”), przegradzające jedynie część szerokości cieku;
- „tamy zupełne” (ang. „complete dams”), przegradzające całą szerokość cieku, lecz nie powodujące akumulacji materiału dennego za tamą i uformowania się widocznego przy niskich i średnich stanach załomu w profilu podłużnym cieku; oraz
- „tamy aktywne” (ang. „active dams”), na których następuje zatrzymywanie materiału dennego i dochodzi do uformowania się progów.

Tamy drzewne są dynamicznymi formami korytowymi. Większość tam jest szybko formowana, a przy kolejnych wezbraniach może zostać zniszczona lub ulec zmianie w inny typ tamy, przy czym najbardziej nie trwałe są tamy częściowe (Gregory i in. 1985; Piégay, Gurnell 1997). Jeśli jednak drzewo, na którym formuje się tama, jest dobrze zakotwiczone na obu brzegach koryta, wówczas tama może pozostawać w danym miejscu cieku przez czas potrzebny do rozkładu tego drzewa. Z upływem czasu grubość i wysokość tam aktywnych może się zwiększać w wyniku przechwytywania rumoszu drzewnego w czasie kolejnych wezbrań i, w rezultacie, tamy takie mogą się składać z wielu różnowiekowych elementów (Kaczka 2002a). W potokach Gór Nadbrzeżnych w północno-zachodniej Kalifornii, gdzie największe tamy formowały się na pniach sekwoi o średnicy sięgającej 3 m, wiek najstarszych kłód przekraczał 200 lat (Keller i in. 1995). Natomiast w Kamienicy w Gorcach, gdzie tamy drzewne są zbudowane z kłód świerkowych, czas obumarcia najstarszych elementów współczesnych tam sięga ponad 50 lat wstecz (Kaczka 2002a). Tamy utworzone z wielu kłód mogą osiągać znaczną wysokość; w potokach Gór Kaskadowych w Oregonie obserwowano tamy o wysokości przekraczającej 3 m (Nakamura, Swanson 1993), natomiast w Potoku Waksmundzkim w Tatrach najwyższa tama miała wysokość 1,8 m (Kaczka 2002a).

Akumulacja materiału dennego po doprądowej stronie tam aktywnych wymusza agradację w korycie na odcinku od kilku do kilkudziesięciu metrów i prowadzi do uformowania się charakterystycznego, schodowego profilu podłużnego potoku (ryc. 1, fot. 3) (Keller i in. 1995; Kaczka 1999b). Poziomy zasięg strefy agradacji powyżej tamy jest uzależniony od jej rozmiarów (Church 1992) oraz spadku cieku. Tamom aktywnym i uformowanym na nich progom organicznym (ang. „organic steps”, „log steps”) towarzyszą przegłębienia (Robison, Beschta 1990b; Thompson 1995). Najczęściej mają one postać kotłów eworsyjnych (ang. „plunge pools”) (fot. 3), niekiedy występują także głębsze baseny wody na zapleczu tamy (ang. „dammed pools”) (fot. 4).

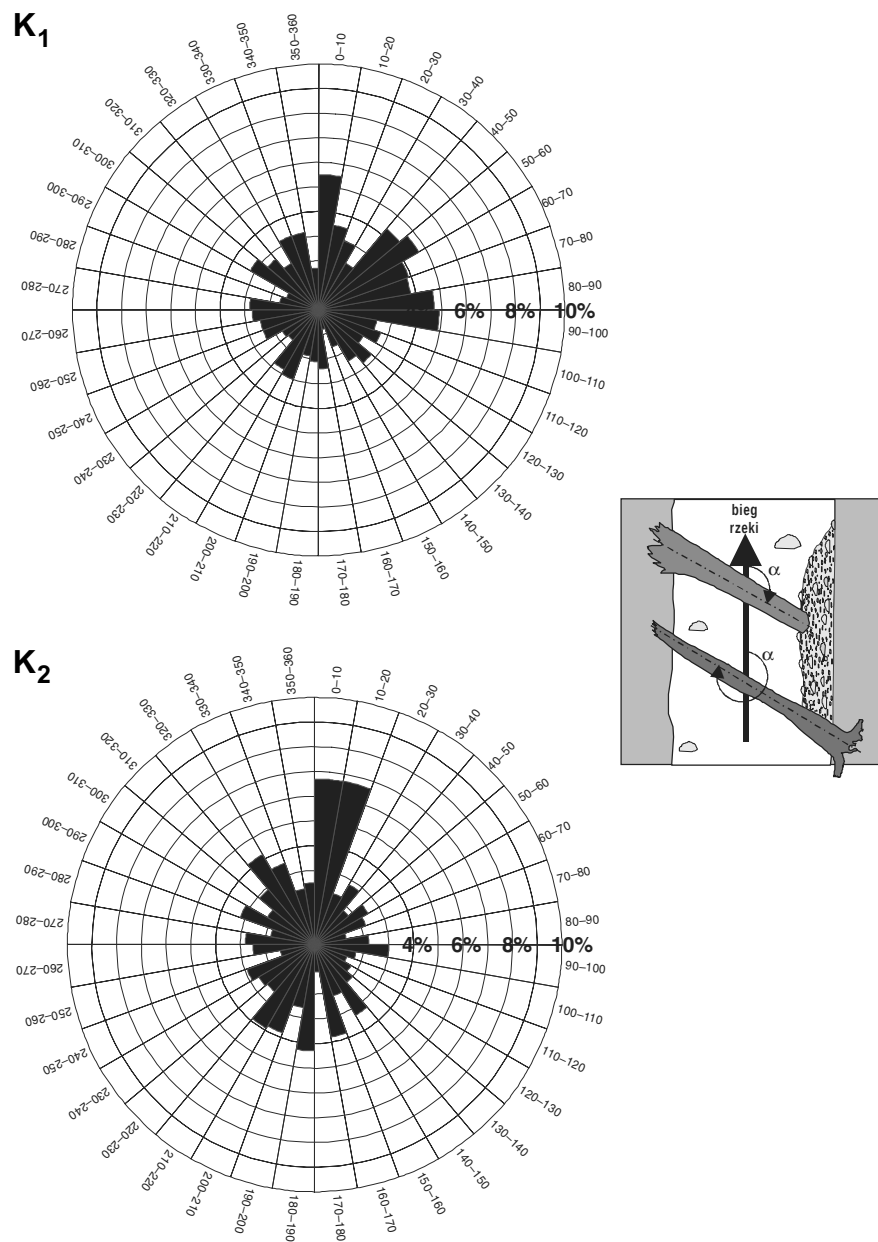


Ryc. 1. Schodowy profil podłużny potoku górskiego przegrodzonego tamami aktywnymi na przykładzie wycinka górnego biegu Kamienicy

Fig. 1. Stepped longitudinal profile of a mountain stream resulting from the occurrence of debris dams as shown for a section of the upper course of Kamienica Stream. 1 — active dam, 2 — plunge pool, 3 — bedrock step

Zaobserwowano, że przeciętna odległość pomiędzy kolejnymi progami zwiększa się wraz ze wzrostem wielkości (szerokości) potoków górskich (Bilby, Ward 1989; Wohl i in. 1997). Tendencja ta najprawdopodobniej odzwierciedla zwiększanie się mobilności grubego rumoszu drzewnego wraz ze wzrostem wielkości cieku (Wohl i in. 1997) wskutek zwiększania się długości kłód mogących zakotwiczać się na obu brzegach koryta oraz wzrostu przepływów wezbraniowych wraz z przyrostem powierzchni zlewni. Zwiększanie się mobilności grubego rumoszu drzewnego wraz ze wzrostem wielkości cieku znajduje także odzwierciedlenie w zmianach dominującej orientacji kłód względem biegu cieku (Richmond, Fausch 1995; Kaczka 1999a). Na przykład, w źródłowym odcinku Kamienicy (ryc. 2 — odcinek K_1) zdecydowanie przeważają kłody ułożone prostopadłe do biegu potoku, zawieszane ponad jego brzegami lub tworzące tamy drzewne w korycie. Natomiast dalej od źródeł Kamienicy (ryc. 2 — odcinek K_2) dominuje podłużna i ukośna orientacja kłód; tamy drzewne są tu nieliczne, a większość powalonych drzew była transportowana i została zdeponowana na łachach i brzegach koryta (Kaczka 2002a).

W ciekach piątego i wyższych rzędów, mających już charakter rzek górskich, drzewa podmyte na jednym z brzegów nie sięgają koronami przeciwległego brzegu, a kompetencja przepływów wezbraniowych jest wystarczająca do transportu wszystkich lub większości drzew powalonych do koryta (Piégay, Gurnell 1997; Gurnell i in. 2000a). Dotychczas przeprowadzono bardzo niewiele badań nad depozycją drewna w rzekach górskich o szerokości koryta większej od 20 m. W alpejskiej rzece Drôme we Francji zaobserwowano (Piégay i in. 1999), że większe ilości grubego rumoszu drzewnego są deponowane poniżej miejsc erozji zalesionych brzegów rzeki, w odcinkach z szerokim korytem i w odcinkach zawierających zadrzewione kępy. Natomiast badania przepro-



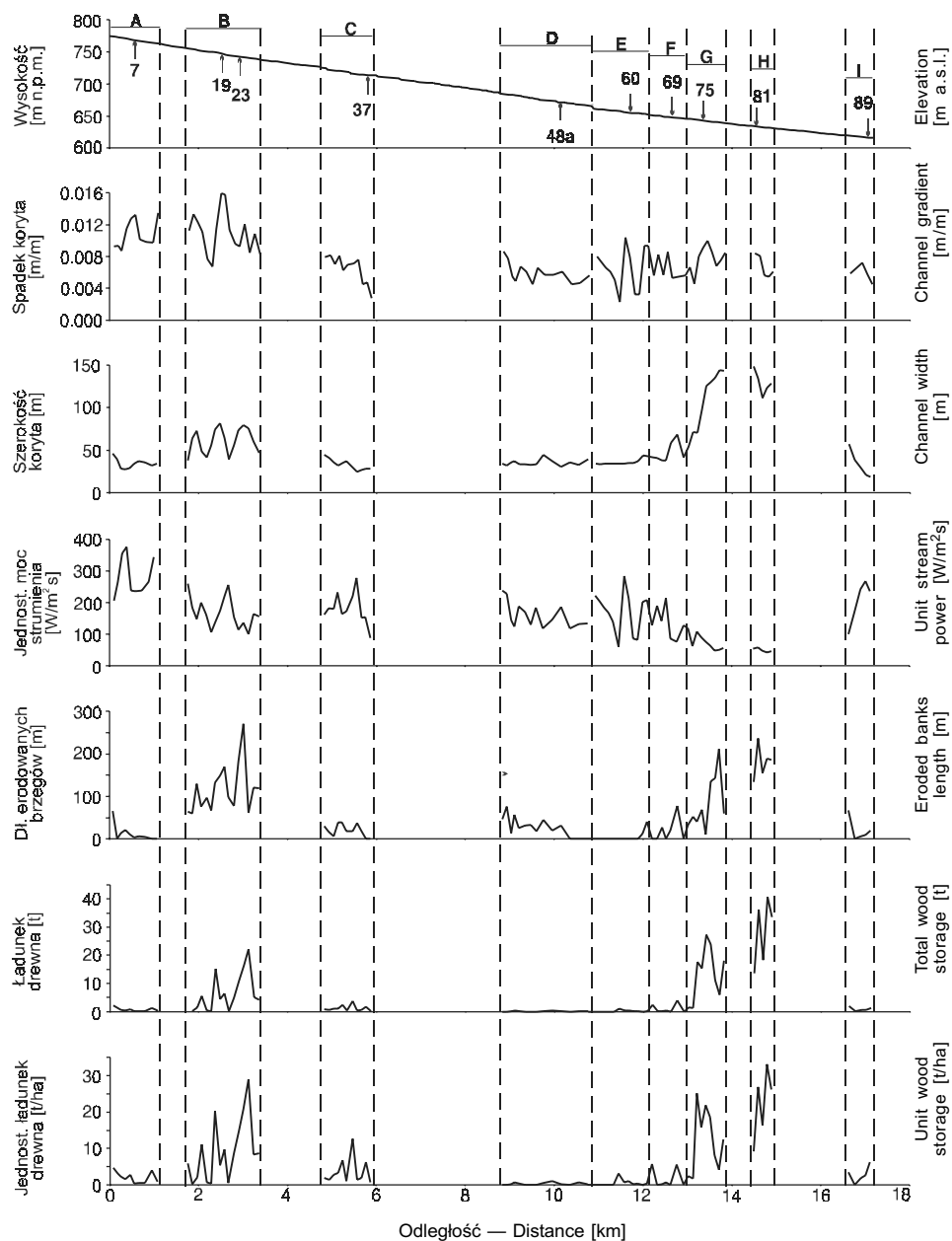
Ryc. 2. Orientacja kłód (α) względem biegu cieku w badanych odcinkach górnego biegu Kamienicy. Odcinek K_1 — ciek 1–3 rzędu, 0–2,2 km od źródeł, odcinek K_2 — ciek 4 rzędu, 3,6–8,5 km od źródeł

Fig. 2. Orientation of logs (α) in relation to stream course in the investigated reaches of Kamienica Stream. Reach K_1 — 1–3-order stream, 0–2.2 km from the source, reach K_2 — 4-order stream, 3.6–8.5 km from the source

wadzone we włoskiej rzece Tagliamento wykazały, że ilości drewna zdeponowanego w nieporośniętych roślinnością obszarach koryta są w odcinkach wielonurtowych kilkakrotnie większe niż w odcinkach jednonurtowych oraz, że powierzchnie zadrzewionych kęp mogą gromadzić wielokrotnie więcej rumoszu drzewnego niż obszary koryta nieporośnięte roślinnością (Gurnell i in. 2000a, b). W obu tych rzekach szczegółowe obserwacje terenowe przeprowadzono jednakże w niewielu odcinkach ich koryt.

Interesujących wniosków o uwarunkowaniach depozycji grubego rumoszu drzewnego w rzece górskiej dostarczyły badania przeprowadzone po wezbraniu z lipca 2001 roku w 17-kilometrowym odcinku Czarnego Dunajca w obrębie Kotliny Orawsko-Nowotarskiej, w którym nie otrzymuje on żadnych znaczących dopływów, a szerokość i morfologia jego koryta są bardzo zróżnicowane (Zawiejska, Wyżga 2002). Dla 89 segmentów rzeki, o długości około 100 m, ustalono masę zdeponowanego drewna oraz masę drewna przypadającą na jednostkę powierzchni koryta, pomierzono długość podcinanych, zalesionych brzegów oraz spadek i pełnokorytową szerokość rzeki i wreszcie obliczono jednostkową moc strumienia w czasie kulminacji wezbrania, określającą maksymalną zdolność transportową rzeki (ryc. 3). Okazało się, że ładunki zdeponowanego drewna są wprost proporcjonalne do długości erodowanych brzegów oraz szerokości rzeki, a odwrotnie proporcjonalne do jednostkowej mocy strumienia w czasie kulminacji wezbrania. Największe ilości drewna (maksymalnie do $33 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ powierzchni koryta) były deponowane w szerokich, wielonurtowych (fot. 5) lub wielokorytowych segmentach rzeki. Niewielka zdolność transportowa rzeki sprzyjała deponowaniu drewna przynoszonego z wyższych odcinków, a znaczna długość podcinanych brzegów rzeki i brzegów zalesionych kęp umożliwiała dużą lokalną dostawę drzew do koryta (ryc. 3). W wąskich, jednonurtowych segmentach rzeki o uregulowanym lub skalnym korycie były natomiast deponowane bardzo małe ilości drewna. Duża zdolność transportowa rzeki nie sprzyjała zatrzymywaniu tu drewna przynoszonego z wyższych odcinków, a efektem większej odporności brzegów na erozję i małej krętości nurtu w tych segmentach była mała długość podcinanych brzegów i niewielka dostawa drzew do koryta (ryc. 3).

Obserwacje w Czarnym Dunajcu wykazały, że drewno może być transportowane na znaczne odległości w wąskich, prostych odcinkach rzeki górskiej, w których brak jest miejsc pozwalających na zakotwiczenie się płynącego drewna i gdzie siła transportowa rzeki jest znaczna. Na daleki transport wskazuje znaczne rozdrobnienie i duży stopień zniszczenia drewna zdeponowanego w miejscach pierwszych rozszerzeń koryta poniżej takich odcinków oraz niemal całkowity brak źródeł dostaw



Ryc. 3. Rozkład morfometrycznych i hydraulicznych parametrów oraz ilości zdeponowanego drewna dla 89 stumetrowych segmentów Czarnego Dunajca

Fig. 3. Morphometric and hydraulic parameters of the Czarny Dunajec and the amount of stored wood shown for eighty-nine, 100-m long, investigated sections of the river

wy drewna (podcinanych brzegów) w wąskich, prostych odcinkach rzeki. Depozycji znacznych ilości grubego rumoszu drzewnego w rzece górskiej sprzyja natomiast obecność miejsc umożliwiających zakotwiczanie się płynącego drewna (Piégay i in. 1999; Gurnell i in. 2000a, b; Zawiejska, Wyżga 2002). Należą do nich: czołowe partie łąch śródkorytowych, opływane przez rozdzielający się nurt (fot. 6); szczytowe partie łąch meandrowych, gdzie głębokość wody w czasie wezbrań jest stosunkowo mała; brzegi, a zwłaszcza czołowe partie kęp (fot. 2B); oraz wąskie koryta przelewowe, w których może dochodzić do formowania się tam drzewnych, analogicznych do tych powstających w wąskich potokach górskich. Większe rzeki górskie może zatem cechować duże zróżnicowanie ilości drewna zdeponowanego w ich poszczególnych odcinkach (zob. ryc. 3), odzwierciedlające zróżnicowanie morfologii koryt (Piégay, Gurnell 1997).

Porównanie ilości grubego rumoszu drzewnego obecnego w alpejskiej rzece Drôme z oszacowaną dla dwudziestoletniego okresu wielkością dostawy do niej drewna z nadrzecznych lasów wskazuje na krótki, kilkuletni czas pozostawiania rumoszu drzewnego w szerokiej rzece górskiej (Piégay i in. 1999). Najprawdopodobniej jest to łącznym wynikiem:

- 1) dużej mobilności drewna w takich rzekach, ułatwiającej jego odprowadzanie w dół biegu (Piégay i in. 1999);
- 2) wynoszenia drewna w czasie wezbrań do obszarów zalewowych, gdzie podlega ono szybkiemu rozkładowi w warunkach subaeralnych;
- 3) szybkiego rozkładu drewna drzew liściastych (Sedell i in. 1988), głównie dostarczanych do większych rzek;
- 4) pozyskiwania drewna na opał z łatwo dostępnych koryt większych rzek.

Podsumowując, należy stwierdzić, iż w źródłiskowych odcinkach cieków górskich depozycja grubego rumoszu drzewnego zachodzi w nieuporządkowany sposób w miejscach dostawy powalonych drzew z brzegów cieków oraz zboczy dolin. W potokach górskich drewno jest preferencyjnie przechwytywane w miejscach zwężeń koryta, a charakterystyczną formą jego nagromadzeń są tamy drzewne. Natomiast w rzekach górskich o szerokości koryta większej od wysokości drzew porastających jego brzegi gruby rumosz drzewny jest zwykle deponowany w miejscach rozszerzania się koryta i spadku zdolności transportowej rzeki, zwłaszcza przy obecności form korytowych i roślinności umożliwiających zakotwiczanie się spływającego drewna.

W miarę wzrostu wielkości cieków zwiększa się mobilność grubego rumoszu drzewnego, maleje natomiast przeciętny czas zalegania drewna w danym miejscu (odcinku) koryta. Wzrostowi wielkości cieków górskich

towarzyszą także istotne zmiany charakteru deponowanego w nich rumoszu drzewnego. W wysoko położonych odcinkach cieków górskich ich brzegi są z reguły porośnięte drzewami iglastymi, cechującymi się koncentracją biomasy drewna w pojedynczym pniu. W rezultacie, dominującą formą grubego rumoszu drzewnego w źródłiskowych odcinkach tych cieków są kłody, natomiast w większych potokach górskich oprócz pojedynczych kłód mogą także występować zwały. W niżej położonych odcinkach cieków górskich strefy klimatu umiarkowanego ich brzegi są porośnięte krzewami i drzewami liściastymi, zatem dominującymi tu formami grubego rumoszu drzewnego są krzewy i drzewa oraz utworzone w wyniku ich agregacji zwały.

Wreszcie, wraz ze wzrostem wielkości cieków maleje ilość drewna przypadająca na jednostkę powierzchni ich koryta (Vannote i in. 1980; Fetherston i in. 1995). Na przykład, w źródłiskowym odcinku Kamienicy, o średniej szerokości 5 m, ilość zdeponowanego drewna wynosiła $146 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ powierzchni koryta. W odległości kilku kilometrów od źródeł, gdzie szerokość potoku wynosiła około 16 m, stwierdzono 18 t drewna na 1 ha powierzchni koryta. Natomiast w badanym odcinku Czarnego Dunajca, o średniej szerokości 52 m, na 1 ha powierzchni rzeki przypadało średnio około 8 t drewna. Zmniejszanie się jednostkowych ładunków drewna jest wynikiem wzrostu szerokości cieków, eliminacji zboczy dolin jako źródeł dostawy powalonych drzew w przypadku większych cieków płynących płaskodennymi dolinami oraz wynoszenia w czasie wezbrań znacznej części dostarczonego do takich cieków drewna do ich obszarów zalewowych.

WPLYW GRUBEGO RUMOSZU DRZEWNEGO NA FUNKCJONOWANIE GEOSYSTEMÓW CIEKÓW GÓRSKICH

Gruby rumosz drzewny wywiera istotny wpływ na funkcjonowanie geosystemów cieków górskich (Gurnell i in. 1995). Przegradzanie mniejszych cieków tamami drzewnymi prowadzi do powstania schodowego profilu podłużnego koryt (ryc. 1), z układem progów i towarzyszących im kotłów eworsyjnych (fot. 3) (Keller i in. 1995; Kaczka 1999b). Umożliwiają one maksymalizowanie oporów przepływu i efektywne rozpraszanie energii wód wezbraniowych (Wohl i in. 1997). W odcinku powyżej progów, o zmniejszonym spadku, woda płynie z mniejszą prędkością niż w korycie o jednostajnym nachyleniu dna, natomiast energia kinetyczna wody spadającej z progów jest rozpraszana w wirach formujących się u podnóża progów. Skalę rozpraszania energii potoków górskich, związanego z progami utworzonymi na tamach drzewnych, obrazuje dokonująca się na tych progach sumaryczna zmiana wysokości dna koryt. Na

przykład, w dopływach Redwood Creek w północno-zachodniej Kalifornii (cieki 2–3 rzędu) wynosi ona od kilku do ponad 50% całkowitej różnicy wysokości wzdłuż ich koryt (Keller i in. 1995).

W rzekach górskich drzewa powalone do koryta mogą powodować kierowanie nurtu w stronę przeciwległego brzegu i jego erozję (Nakamura, Swanson 1993), przyczyniając się do wzrostu krętości rzeki. Z kolei, depozycja drzew i dużych zwałów w obrębie koryta powoduje dzielenie się nurtu i powstanie żwirowych odsypów (Abbe, Montgomery 1996), co może prowadzić do erozji brzegów rzeki i wzrostu szerokości jej koryta. Hydrauliczną konsekwencją zwiększenia się krętości i szerokości rzeki oraz powstania wielonurtowego układu koryta jest natomiast wzrost oporów przepływu i zmniejszenie się średniej prędkości przy danym natężeniu przepływu. Zdeponowany w korycie rzeki górskiej gruby rumosz drzewny umożliwia efektywne rozpraszanie energii wód wezbraniowych (Gippel 1995) nawet, gdy nie powoduje on bezpośrednich skutków morfologicznych. Przykładowo, pomiary przeprowadzone w jednej z górskich rzek Oregonu wykazały, że kłody pokrywające mniej niż 2% powierzchni dna były odpowiedzialne za około połowę całkowitych oporów przepływu (Manga, Kirchner 2000).

W ciekach z grubym rumoszem drzewnym mniejsza część całkowitej energii wód wezbraniowych może być zatem wydatkowana na uruchomienie i transport materiału dennego, a uruchamianie materiału dennego wymaga tu większej całkowitej siły trakcyjnej (ang. „total shear stress”) i zachodzi przy wyższych, rzadziej powtarzających się przepływach niż w ciekach niezawierających drewna (Assani, Pétit 1995). W rezultacie, cieki te cechuje mniejsze natężenie transportu dennego i tendencja do akumulacji rumowiska skalnego. W wąskich ciekach przegrodzonych tamami drzewnymi materiał denny uruchomiony w danym miejscu cieków jest zazwyczaj przemieszczany na niewielkie odległości, ulegając depozycji za niżej położonymi tamami (Mosley 1981). Depozycja materiału dennego po dopływowej stronie tam drzewnych umożliwia akumulację znacznych ilości osadu; na przykład, w potokach Kalifornii, odwadniających porośnięte starodrzewem zlewnie górskie, objętość zgromadzonego za tamami osadu odpowiada 100–150-krotnej wielkości rocznego ładunku rumowiska wleczonego wynoszonego z tych zlewni (Keller i in. 1995). Ilustracji korzystnych warunków do akumulacji materiału dennego, stwarzanych przez gruby rumosz drzewny, dostarcza także porównanie objętości osadu zgromadzonego powyżej tam aktywnych z objętością kotłów eworsyjnych formowanych poniżej tam. W badanych odcinkach górnego biegu Kamienicy w Gorcach objętość osadu powyżej tam kilkunastokrotnie przewyższa objętość osadu wyerodowanego z dna cieków przy formowaniu kotłów eworsyjnych. Wreszcie,

obecność licznych miejsc, w których możliwa jest akumulacja materiału dennego powoduje, że cieki zawierające rumosz drzewny mogą łatwo absorbować duże ilości gwałtownie dostarczanego rumowiska (np. w wyniku osuwisk, spływów gruzowych) i stopniowo uwalniać ten materiał w czasie późniejszych wezbrań do niższego odcinka (Keller i in. 1995).

Eksperymentalne badania wykazały, że efektem usunięcia drewna z koryta był kilkakrotny wzrost natężenia transportu dennego przy określonym przepływie, w porównaniu z sytuacją, gdy gruby rumosz drzewny był obecny w korycie (Smith i in. 1993), oraz wyprzątanie rumowiska skalnego z dna cieku (Heede 1985). Długookresowym następstwem tej różnej dynamiki transportu dennego w ciekach zawierających bądź pozbawionych grubego rumoszu drzewnego jest odmienny charakter ich dna oraz spadku koryta (Montgomery i in. 1996). Stwierdzono, że wśród analizowanych górskich potoków w stanie Washington, odwadniających zlewnie o określonej wielkości, potoki zawierające drewno miały koryta o mniejszym spadku i dnie wyścielonym żwirem, natomiast potoki, z których usuwano drewno, cechował większy spadek i skalne dno.

Gruby rumosz drzewny deponowany na łąkach żwirowych przyczynia się do ich utrwalania, zmniejszając prędkość przepływu wód wezbraniowych, bezpośrednio osłaniając powierzchnie łąch przed działaniem płynącej wody oraz ułatwiając depozycję drobnopiękistego osadu i kolonizację łąch przez roślinność (Fetherston i in. 1995; Gurnell i in. 2001). W rezultacie, na przykład w górnym biegu Kamienicy łąchy porośnięte roślinnością stanowią ponad dwa razy większy procent wśród łąch ze zdeponowanymi kłodami świerkowymi niż wśród łąch bez grubego rumoszu drzewnego (Kaczka 1999b).

Gruby rumosz drzewny wywiera istotny wpływ na formowanie się przegłębień w ciekach górskich. Badając górskie cieki Kaliforni stwierdzono (Keller i in. 1995), że w ich źródłiskowych odcinkach niemal wszystkie przegłębienia były związane z obecnością drewna w korycie; w ciekach 3-4 rzędu ilość przegłębień uformowanych pod wpływem grubego rumoszu drzewnego była mniejsza, przekraczała jednak połowę wszystkich przegłębień. Natomiast w badanych przez E.G. Robisona i L. Beschta (1990b) ciekach 1-4 rzędu na Alasce, odwadniających górskie zlewnie porośnięte starodrzewem, od 40 do 75% wszystkich przegłębień było związanych z obecnością drewna w korytach. Ponadto, w ciekach z grubym rumoszem drzewnym przegłębienia są gęściej rozmieszczone wzdłuż koryta niż w ciekach niezawierających drewna i w większości tych pierwszych cieków przeciętna odległość pomiędzy kolejnymi przegłębieniami (odniesiona do szerokości koryta) jest tym mniejsza, im większa ilość drewna została zdeponowana w korycie

(Montgomery i in. 1995). Częściowym wyjaśnieniem większego zagęszczenia przegłębień może być fakt, że progom utworzonym na tamach drzewnych towarzyszą nie tylko przegłębienia wyerodowane po ich zaprawdowej stronie (kotły eworsyjne — fot. 3), lecz często również przegłębienia powstałe po doprawdowej ich stronie w wyniku spiętrzenia wody przez tamę (fot. 4) (Thompson 1995).

Obecność drewna w ciekach zwiększa zróżnicowanie prędkości wody zarówno w profilu podłużnym, jak i w przekroju koryt (Gippel 1995). Tamy częściowe powodują zawężenie nurtu i zwiększenie prędkości wody w nurcie oraz powstanie miejsc wolno płynącej, a niekiedy stojącej wody po zaprawdowej stronie przeszkód. Tamy aktywne i związane z nimi progi są natomiast przyczyną zwiększenia różnic prędkości wody w profilu podłużnym cieku. To zwiększone zróżnicowanie hydrauliczne cieków umożliwia efektywne rozsortowywanie materiału dennego, z drobniejszymi osadami deponowanymi w przegłębieniach formowanych po doprawdowej stronie tam aktywnych i grubszy składanymi na bystrzach i w kotłach eworsyjnych (Thompson 1995).

Podsumowując, deponowany w ciekach górskich gruby rumosz drzewny wywiera istotny wpływ na:

- morfologię cieków,
- hydraulikę ich przepływów wezbraniowych,
- zdolność cieków do akumulacji materiału dennego, a w konsekwencji na natężenie jego transportu i charakter dna cieków.

ZNACZENIE GRUBEGO RUMOSZU DRZEWNEGO DLA FUNKCJONOWANIA EKOSYSTEMÓW CIEKÓW GÓRSKICH

Drewno powalonych drzew pełni kilka istotnych funkcji w kształtowaniu ekosystemów wodnych w ciekach górskich (Sedell i in. 1988; Gurnell i in. 1995; Lofroth 1998), czego odzwierciedleniem jest dobrze rozpoznany fakt, iż cieki zawierające rumosz drzewny cechuje większa różnorodność, większa ilość osobników i biomasa bezkręgowców i ryb niż cieki niezawierające drewna (Harmon i in. 1986 i cytowane tam prace). Jedną z tych funkcji jest zwiększanie fizycznej różnorodności siedlisk w ciekach. Jest ono wynikiem stwarzania przez gruby rumosz drzewny fizycznych barier dla przepływu wody, spowalniania transportu i zatrzymywania materiału dennego, większego zróżnicowania głębokości i prędkości wody wzdłuż i w przekroju koryta, a także większego zagęszczenia i zwiększonych rozmiarów oraz stabilności przegłębień w ciekach zawierających drewno. Duże zróżnicowanie prędkości wody w obrębie koryt odgrywa kluczową rolę w formowaniu się stref dna pokrytych

przemytym żwirem, które są miejscami wylęgu ryb (składania i inkubacji ikry). Przeglębienia stanowią natomiast refugia umożliwiające rybom przetrwanie okresów niżówek, w strefie klimatu umiarkowanego zwłaszcza zimowych, w czasie których płytsze obszary cieków mogą przemarzać aż do dna.

Nagromadzenia drewna mogą tworzyć siedliska w ciekach, stanowiąc podłoże, na którym mogą się osiedlać rozmaite bezkręgowce, oraz tworząc osłonę przed drapieżnikami dla ryb, wykorzystujących przeglębienia wytworzone wokół i pod tymi nagromadzeniami jako miejsca żerowania i odpoczynku. Nagromadzenia drewna są także wykorzystywane jako miejsca bytowania przez bobry, wydry oraz larwy salamandry.

Zdeponowane w ciekach drewno jest także wykorzystywane jako pokarm przez wiele grup organizmów, których skład zmienia się w miarę postępującego rozkładu drewna. Niska wartość odżywcza drewna, w porównaniu na przykład z liśćmi drzew, jest równoważona stabilnością i długotrwałością tego źródła pożywienia.

I wreszcie, przy obecności tam drzewnych, zwałów oraz licznych przeglębieni utworzonych w wyniku hydraulicznego oddziaływania grubego rumoszu drzewnego, możliwe jest efektywne zatrzymywanie w ciekach liści i szpilek drzew oraz drobnego detrytus organicznego (Bilby, Likens 1980), wykorzystywanych jako pokarm przez wiele grup wodnych organizmów.

Gruby rumosz drzewny wywiera także istotny wpływ na formowanie się lądowych ekosystemów związanych z ciekami górskimi. Zdeponowane w obszarach zalewowych i na łachach żwirowych drewno stwarza osłonę dla roślinności zielnej i siewek drzew przed niszczącym działaniem wód wezbraniowych, umożliwiając zasiedlenie tych obszarów przez roślinność i sukcesję lasu (Fetherston i in. 1995). Konsekwencją tej osłonowej roli rumoszu drzewnego jest stwierdzona przez G.P. Malan-sona i D.R. Butlera (1990) zależność ilości gatunków roślin zasiedlających łachy żwirowe w rzece górskiej od ilości zdeponowanego na łachach drewna. Napławione drewno wierzb i topoli odgrywa szczególną rolę w przekształcaniu żwirowych łach śródkorytowych w kępy porośnięte lasem łęgowym; w sprzyjających warunkach wilgotnościowych drewno to może się ukorzeniać i wypuszczać pędy, formując inicjalne stadia kęp (ang. „pioneer islands”) i umożliwiając sukcesję lasu łęgowego w miejscach, w których kiełkujące z nasion siewki drzew mogłyby być łatwo zniszczone przez wody wezbraniowe (Gurnell i in. 2001).

UWAGI KOŃCOWE

Omówione w artykule wyniki badań dokumentują korzystny wpływ, jaki gruby rumosz drzewny wywiera na funkcjonowanie geo- i ekosystemów cieków górskich. W niektórych krajach, zwłaszcza w Wielkiej Brytanii i USA, rozpoznanie tego wpływu umożliwiło sformułowanie praktycznych zaleceń, zmierzających do poprawy gospodarki wodnej prowadzonej w ciekach odwadniających zalesione zlewnie (zob. Gregory, Davies 1992; Gurnell i in. 1995). Zalecane działania obejmują: usuwanie z cieków jedynie mniejszych, niestabilnych fragmentów drewna, zaniechanie wycinki drzew w przylegających do koryt pasach nadrzecznego lasu, tak aby mogły one funkcjonować jako źródło dostawy grubego rumoszu drzewnego (Bragg, Kershner 1999), a także sztuczne umieszczanie w ciekach kłód w tych odcinkach, w których ich naturalna dostawa jest niewystarczająca. Realizowane programy sztucznego umieszczania kłód w ciekach górskich rzeczywiście wywołują korzystne zmiany ich funkcjonowania, takie jak wzrost głębokości i zmniejszenie średniej prędkości przepływu oraz efektywne zatrzymywanie w korytach materiału mineralnego i materii organicznej (Wallace i in. 1995).

W polskich realiach najlepsza wydaje się „strategia nieingerencji”, sprowadzająca się do zaniechania usuwania drewna powalonych drzew z cieków wszędzie tam, gdzie jego obecność w korytach nie stwarza bezpośredniego zagrożenia powodziowego dla zabudowy i infrastruktury w dnach dolin. Efektywne zatrzymywanie materiału dennego w ciekach i przeciwdziałanie pogłębianiu się koryt przez gruby rumosz drzewny może być szczególnie istotne w karpackiej części dorzecza górnej Wisły. W XX wieku karpackie dopływy Wisły wcięły się bowiem w swych dolnych i środkowych biegach o 1,3–3,8 m, a w drugiej połowie stulecia szybkie pogłębianie się koryt zaznaczyło się także w ich górnych biegach (Wyżga, Lach 2002). Spowodowało to ujawnienie się wielu zjawisk niekorzystnych dla gospodarki i środowiska. Dlatego też możliwość zahamowania lub nawet odwrócenia dotychczasowego trendu zmian pionowego położenia koryt rzek karpackich — przynajmniej w ich górnych biegach — bez konieczności wykonywania kosztownych prac hydrotechnicznych zasługuje na wnikliwą uwagę.

¹ Instytut Ochrony Przyrody PAN
Al. A. Mickiewicza 33
PL 31-120 Kraków

² Uniwersytet Śląski
Wydział Nauk o Ziemi
ul. Będzińska 60
PL 41-200 Sosnowiec

³ Uniwersytet Jagielloński
Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej
ul. Grodzka 64
PL 31-044 Kraków

LITERATURA

- Abbe T.B., Montgomery D.R., 1996, *Large woody debris jams, channel hydraulics and habitat formation in large rivers*, Regul. Rivers: Res. and Mgmt 12, 201–221.
- Assani A.A., Pétit F., 1995, *Log-jam effects on bed-load mobility from experiments conducted in a small gravel-bed forest ditch*, Catena 25, 117–126.
- Bilby R.E., Likens G.E., 1980, *Importance of organic debris dams in the structure and function of stream ecosystems*, Ecology 61, 1107–1113.
- Bilby R.E., Ward J.W., 1989, *Changes in characteristics and function of woody debris with increasing size of streams in western Washington*, Trans. Am. Fish. Soc. 118, 368–378.
- Bragg D.C., Kershner J.L., 1999, *Coarse woody debris in riparian zones*, Journ. of Forestry 97(4), 30–35.
- Church M., 1992, *Channel morphology and typology* [in:] *The Rivers Handbook*, ed. P. Calow, G.E. Petts, Blackwell, 1, 126–143.
- Fetherston K.L., Naiman R.J., Bilby R.E., 1995, *Large woody debris, physical process, and riparian forest development in montane river networks of the Pacific Northwest*, Geomorphology 13, 133–144.
- Gippel C., 1995, *Environmental hydraulics of large woody debris in streams and rivers*, Journ. Environ. Engrg. 121, 388–395.
- Gregory K.J., Davies R.J., 1992, *Coarse woody debris in stream channels in relation to river channel management in woodland areas*, Regul. Rivers: Res. and Mgmt 7, 117–136.
- Gregory K.J., Gurnell A.M., Hill C.T., 1985, *The permanence of debris dams related to river channel processes*, Hydrol. Sci. Journ. 30, 371–381.
- Gurnell A.M., 1998, *The hydrogeomorphological effects of beaver dam-building activity*, Progr. Phys. Geogr. 22, 167–189.
- Gurnell A.M., Gregory K.J., Petts G.E., 1995, *The role of coarse woody debris in forest aquatic habitats: implications for management*, Aquatic Conserv.: Marine and Freshwater Ecosystems 5, 143–166.
- Gurnell A.M., Petts G.E., Harris N., Ward J.V., Tockner K., Edwards P.J., Kollmann J., 2000a, *Large wood retention in river channels: The case of the Fiume Tagliamento, Italy*, Earth Surf. Processes Landforms 25, 255–275.
- Gurnell A.M., Petts G.E., Hannah D.M., Smith B.P.G., Edwards P.J., Kollmann J., Ward J.V., Tockner K., 2000b, *Wood storage within the active zone of a large European gravel-bed river*, Geomorphology 34, 55–72.
- 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 Surf. Processes Landforms 26, 31–62.
- Harmon M.E., Franklin J.F., Swanson F.J., Sollins P., Gregory S.V., Lattin J.D., Anderson N.H., Cline S.P., Aumen N.G., Sedell J.R., Lienkaemper G.W., Cromack K., Cummins K.W., 1986, *Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems*, Advances in Ecol. Res. 15, 133–302.

- Heede B.H., 1985, *Channel adjustments to the removal of log steps: An experiment in a mountain stream*, Environ. Management 9, 427–432.
- Kaczka R.J., 1999a, *The role of coarse woody debris in fluvial processes during the flood of the July 1997, Kamienica Łącka valley, Beskidy Mountains, Poland*, Stud. Geomorph. Carp.-Balcan. 33, 117–130.
- Kaczka R.J., 1999b, *Rola kłód w kształtowaniu systemu fluwialnego i związanych z nim biocenoz (Kamienica, Gorce)* [w:] *Interdyscyplinarność w badaniach dorzecza*, red. W. Chelmiński, J. Pociąg-Karteczka, Kraków, 245–251.
- Kaczka R.J., 2002a, *Rola kłód w modelowaniu koryt potoków górskich w Europie Środkowej*, maszynopis pracy doktorskiej, Archiwum Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, Sosnowiec.
- Kaczka R.J., 2002b, *Kłody jako przejaw bezpośredniego oddziaływania lasu na koryta potoków górskich. Przykłady z Europy Środkowej* [w:] *Roślinność a procesy erozji, transportu i depozycji*, red. K. Klimek, K. Kocel, Sosnowiec, 51–55.
- Keller E.A., MacDonald A., Tally T., Merritt N.J., 1995, *Effects of large organic debris on channel morphology and sediment storage in selected tributaries of Redwood Creek, northwestern California*, US Geol. Surv. Prof. Paper 1454-P, 1–29.
- Keller E.A., Swanson F.J., 1979, *Effects of large organic material on channel form and fluvial processes*, Earth Surf. Processes 4, 361–380.
- Keller E.A., Tally T., 1979, *Effects of large organic debris on channel form and fluvial processes in the coastal redwood environment* [in:] *Adjustments of the Fluvial System*, ed. D.D. Rhodes, G.P. Williams, Binghamton, 169–197.
- Lofroth E., 1998, *The dead wood cycle* [in:] *Conservation biology principles for forested landscapes*, ed. J. Voller, S. Harrison, Vancouver, 185–214.
- Malanson G.P., Butler D.R., 1990, *Woody debris, sediment, and riparian vegetation of a subalpine river, Montana, U.S.A.*, Arctic and Alpine Research 22, 183–194.
- Manga M., Kirchner J.W., 2000, *Stress partitioning in streams by large woody debris*, Water Res. Research 36, 2373–2379.
- Montgomery D.R., Abbe T.B., Buffington J.M., Peterson N.P., Schmidt K.M., Stock J.D., 1996, *Distribution of bedrock and alluvial channels in forested mountain drainage basins*, Nature 381, 587–589.
- Montgomery D.R., Buffington J.M., Smith R.D., Schmidt K.M., Pess G., 1995, *Pool spacing in forest channels*, Water Res. Research 31, 1097–1105.
- Mosley M.P., 1981, *The influence of organic debris on channel morphology and bedload transport in a New Zealand forest stream*, Earth Surf. Processes Landforms 6, 571–579.
- Nakamura F., Swanson F.J., 1993, *Effects of coarse woody debris on morphology and sediment storage of a mountain stream system in western Oregon*, Earth Surf. Processes Landforms 18, 43–61.
- Nakamura F., Swanson F.J., 1994, *Distribution of coarse woody debris in a mountain stream, western Cascade Range, Oregon*, Canad. Journ. Forest Res. 24, 2395–2403.
- Petts G.E., 1990, *Forested river corridors: a lost resource* [in:] *Water, Engineering and Landscape; Water Control and Landscape Transformation in the Modern Period*, ed. D. Cosgrove, G. E. Petts, Belhaven Press, London, 12–34.
- Piégay H., Gurnell A.M., 1997, *Large woody debris and river geomorphological pattern: examples from S.E. France and S. England*, Geomorphology 19, 99–116.
- Piégay H., Thévenet A., Citterio A., 1999, *Input, storage and distribution of large woody debris along a mountain river continuum, the Drôme River, France*, Catena 35, 19–39.

- Richmond A.D., Fausch K.D., 1995, *Characteristics and function of large woody debris in subalpine Rocky Mountain streams in northern Colorado*, *Canad. Journ. Fish. Aquat. Sci.* 52, 1789–1802.
- Robison E.G., Beschta R.L., 1990a, *Identifying trees in riparian areas that can provide coarse woody debris to streams*, *Forest Science* 36, 790–801.
- Robison E.G., Beschta R.L., 1990b, *Coarse woody debris and channel morphology interactions for undisturbed streams in southeast Alaska, U.S.A.*, *Earth Surf. Processes Landforms* 15, 149–156.
- Sedell J.R., Bisson P.A., Swanson F.J., Gregory S.V., 1988, *What we know about large trees that fall into streams and rivers* [in:] *From the Forest to the Sea: a Story of Fallen Trees*, ed. C. Maser, R.F. Tarrant, J.M. Trappe, J.F. Franklin, USDA Forest Serv. Gen. Techn. Rep. 229 Portland, 47–81.
- Smith R.D., Sidle R.C., Porter P.E., Noel J.R., 1993, *Effects on bedload transport of experimental removal of woody debris from a forest gravel-bed stream*, *Earth Surf. Processes Landforms* 18, 455–468.
- Thévenet A., Citterio A., Piégay H., 1998, *A new methodology for the assessment of large woody debris accumulations on highly modified rivers (example of two French piedmont rivers)*, *Regul. Rivers: Res. and Mgmt* 14, 467–483.
- Thompson D.M., 1995, *The effects of large organic debris on sediment processes and stream morphology in Vermont*, *Geomorphology* 11, 235–244.
- Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W., Sedell J.R., Cushing C.E., 1980, *The river continuum concept*, *Canad. Journ. Fish. Aquat. Sci.* 37, 130–137.
- Van Sickle J., Gregory S.V., 1990, *Modelling inputs of large woody debris to streams from falling trees*, *Canad. Journ. Forest Res.* 20, 1593–1601.
- Wallace J.B., Webster J.R., Meyer J.L., 1995, *Influence of log additions on physical and biotic characteristics of a mountain stream*, *Canad. Journ. Aquat. Sci.* 52, 2120–2137.
- Wohl E., Madsen S., MacDonald L., 1997, *Characteristics of log and clast bed-steps in step-pool streams of Northwestern Montana, U.S.A.*, *Geomorphology* 20, 1–10.
- Wyżga B., Lach J., 2002, *Współczesne wcinanie się rzek karpackich — przyczyny, środowiskowe efekty i środki zaradcze*, *Probl. Zagosp. Ziem Górskich* 48, 23–29.
- Zawiejska J., Wyżga B., 2002, *Uwarunkowania depozycji grubego rumoszu drzewnego w szerokiej rzece górskiej na przykładzie Czarnego Dunajca*, VI Zjazd Geomorfologów Polskich. Środowiska górskie — ewolucja rzeźby. Jelenia Góra, 11–14 września 2002, 141–142.

Bartłomiej Wyżga, Ryszard J. Kaczka, Joanna Zawiejska

LARGE WOODY DEBRIS IN MOUNTAIN STREAMS — ACCUMULATION TYPES, DEPOSITIONAL CONDITIONS AND ENVIRONMENTAL SIGNIFICANCE

Summary

The paper reports on results from the studies concerning trees and shrubs fallen into mountain streams and rivers. Fallen trees, shrubs and their larger fragments are termed large woody debris. Logs, shrubs and whole trees, jams and stumps are the types of large wood accumulations found in channels. Wood is delivered to the channels of mountain

streams and rivers as a result of snag disintegration, blowdown of trees and bank cutting, by avalanches, debris flows and landslides as well as due to timber harvesting and beaver activity.

In small headwater streams, fallen trees are retained in places of their delivery to the channels, this resulting in a random pattern of wood deposition. In larger streams, wood is preferentially deposited in narrow channel sections and debris dams become the characteristic form of wood accumulation. In contrast, in mountain rivers wider than the height of trees growing on the banks, wood is preferentially deposited in wide channel sections where the transporting ability of flood flows is reduced.

Large woody debris exerts a significant influence on the morphology of mountain streams and rivers, on their potential for in-channel sediment storage and on the hydraulics of their flood flows. Wood also influences the functioning of aquatic ecosystems by increasing habitat diversity, providing habitat for many groups of invertebrates, fish and beavers, acting as a food source for many invertebrates and increasing the retention of organic matter in the channels. The beneficial impact of large woody debris on biotic and abiotic functions of fluvial systems should be taken into account in the management of mountain streams and rivers.



Fot. 1. Przykłady form grubego rumoszu drzewnego. A, B – kłody
 Photo 2. Examples of the accumulation types of large woody debris. A, B – logs



Fot. 2. Przykłady form grubego rumoszu drzewnego. A – krzewy, B - zwał
Photo 2. Examples of the accumulation types of large woody debris. A – shrub, B - jam



Fot. 3. Próg utworzony na kłodzie świerkowej i kocioł eworsyjny w korycie Kamienicy

Photo 2. Step formed on a spruce log with a plunge pool on its downstream side in the channel of Kamienica Stream



Fot. 4. Przeglębienie utworzone za tamą aktywną w korycie Kamienicy

Photo 4. Pool formed behind an active dam in the channel of Kamienica Stream



Fot. 5. Gruby rumosz drzewny w szerokim wielonurtowym odcinku Czarnego Dunajca
Dunajca
Photo 5. Accumulations of large woody debris in a wide, multi-thread section of the Czarny Dunajec River



Fot. 6. Zwał drewna utworzony w czołowej partii łachy śródkorytowej w Czarnym Dunajcu
Dunajcu
Photo 6. Wood jam formed at the head of a mid-channel bar in the Czarny Dunajec River