

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2018), 27 (1), 42–56  
Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2018), 27 (1)  
Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2018), 27 (1), 42–56  
Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2018), 27 (1)  
<http://iks.pn.sggw.pl>  
DOI 10.22630/PNIKS.2018.27.1.5

**Karol PLESIŃSKI**

Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie  
Faculty of Environmental Engineering and Surveying, University of Agriculture in Krakow

## **Wpływ rumoszu drzewnego na granulometrię osadów korytowych\***

### **Impact of woody debris on the grain size of channel sediments**

**Słowa kluczowe:** rumosz drzewny, granulometria, osady korytowe, korelacja, rzeka Raba  
**Key words:** woody debris, granulometry, channel sediments, correlation, Raba river

## **Wprowadzenie**

Od późnego paleozoiku, kiedy to roślinność drzewiasta zaczęła dominować na łąkach, powalone do koryt rzek i potoków drzewa stanowiły nieodłączny składnik systemów rzecznych (Montgomery, Collins, Buffington i Abbe, 2003). Wraz ze wzrastającym w ciągu wieków gospodarczym wykorzystaniem rzek i potoków, powalone do koryt rzecznych drzewa zaczęto postrzegać jako przeszkodę w efektywnym użytkowaniu systemów rzecznych (Petts i Welcomme,

2003). Obecność w korycie powalonych drzew i ich fragmentów powodowała utrudnienia w nawigacji, uszkodzenie mostów, młynów i innych budowli oraz przyczyniała się do zmniejszenia przepustowości koryta (Sedell i Froggatt, 1984; Shields i Nunnally, 1984). Zgromadzone w korytach rzecznych powalone drzewa oraz ich fragmenty stanowiły źródło drewna opałowego i do dziś jest to jeden głównych powodów usuwania drewna z koryt cieków. Aby wyeliminować obecność drewna w rzekach, podejmowano także działania polegające na karczowaniu lasów w bezpośrednim sąsiedztwie rzek, niekiedy zaś z całych dolin rzecznych (Sedell i Froggatt, 1984; Petts, 1990).

Grubym rumoszem drzewnym nazywamy zdeponowane w korycie ciek

\*Badania zostały sfinansowane z dotacji celowej na naukę przyznanej przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (BM-4305/KIWiG/2017, pt.: „Wpływ rumoszu drzewnego na granulometrię i morfologię koryta rzecznych”).

krzewy i drzewa, a także ich fragmenty, o długości przekraczającej 1 m, średnicy większej niż 0,1 m oraz/lub masie ponad 4 kg (Wyźga, Zawiejska i Kaczka, 2003b). Wyźga i inni (2003b) podają, że najczęściej spotykanymi formami zdeponowanego w rzece rumoszu drzewnego są:

- kłody, rozumiane jako pojedyncze pnie oraz fragmenty pni, konarów i korzeni, o długości > 1,0 m i średnicy (mierzonej w połowie długości) > 0,1 m,
- drzewa i krzewy, o zachowanej koronie i strukturze korzeni,
- zwały, czyli mieszaniny różnych fragmentów drzew i krzewów oraz materiałów organicznych i mineralnych,
- karpy, czyli najniższe części pni z wiązką korzeniową, pozostałe po ścięciu drzewa.

Inny podział rumoszu drzewnego został zaproponowany przez Radeckiego-Pawlika (2014), który podaje następującą klasyfikację nagromadzeń rumoszu drzewnego: zwały wielkie, zwały duże, zwały średnie, zwały małe oraz złożone z pojedynczych kłód, których typizację opracowano na podstawie wielkości nagromadzeń rumoszu i ich oddziaływaniu na przepływ wód przy przepływie brzegowym.

Rumosz drzewny jest dostarczany do koryt rzek górskich w efekcie naturalnych procesów obumierania drzew i krzewów, w następstwie wystąpienia lawin, ruchów masowych, silnych wiatrów, erozji brzegowej oraz w wyniku działalności człowieka (gospodarka leśna) i zwierząt (ściananie przez bobry drzew w strefie nadbrzeżnej). W zależności od usytuowania miejsca dosta-

wy rumoszu do rzeki górskiej, materiał drzewny jest deponowany w różnych miejscach jej biegu. Odcinki źródłowe, o wąskim korycie, charakteryzują się nieuporządkowaną depozycją rumoszu w okolicy miejsca jego dostawy (stromie zbocza dolin). Powalone na tych odcinkach drzewa są zazwyczaj większe niż szerokość koryta cieku, często pozostają w zawieszeniu ponad korytem, do momentu przełamania się wywołanego spróchnieniem. Wraz z biegiem cieku wzrasta jego szerokość, a deponowanie drewna występuje w miejscach przewężeń koryta. Swoistą formą jego akumulacji są tamy drzewne. W sytuacji, gdy szerokość koryta jest większa niż wysokość drzew rosnących w strefie nadbrzeżnej, gruby rumosz drzewny gromadzony jest w odcinkach rozszerzeń koryta oraz w miejscach spadku transportowego potencjału rzeki. Niekiedy naturalne formy korytowe są przyczyną przechwytywania rumoszu drzewnego przemieszczanego wodami wezbraniowymi w dół cieku (Wyźga i in., 2003b; Wyźga, Kaczka i Zawiejska, 2012).

Badania przeprowadzone przez Zawiejską i Wyźgę (2002), mające na celu określanie uwarunkowań depozycji materiału drzewnego w rzece górskiej pokazały, że ładunek odłożonego w rzece rumoszu drzewnego jest wprost proporcjonalny do długości podciętych brzegów oraz szerokości koryta, a odwrotnie proporcjonalny do jednostkowej mocy rzeki w czasie kulminacji wezbrania. Deponowaniu dużej ilości rumoszu drzewnego sprzyja występowanie w rzece miejsc, w których transportowany rumosz drzewny może być zatrzymywany. Do takich miejsc zalicza się przednie fragmenty łańcuchów środkokorytowych

rozdzielające nurt, górne fragmenty łach meandrowych o małej głębokości w czasie trwania wezbrań oraz czołowe odcinki kępi i przewężenia koryta, w których mogą powstawać tamy drzewne. Według Piégay i Gurnell (1997) w dużych rzekach górskich różnica w ilości rumoszu drzewnego zdeponowanego w poszczególnych odcinkach cieków odzwierciedla różnorodność morfologii koryta. Wraz z biegiem zwiększa się rozmiar cieków, a co za tym idzie wzrasta mobilność materiału drzewnego oraz skraca się czas jego odłożenia w danym miejscu. Oprócz tego wielkość cieków determinuje charakter zdeponowanego w korycie rumoszu drzewnego. Brzegi źródłowych odcinków rzeki porastają zwykle lasy iglaste. Najczęściej spotykana forma rumoszu drzewnego na tych odcinkach są kłody, a w przypadku większych potoków również zwały kłód. Doliny środkowych i dolnych odcinków rzek górskich, w strefie klimatu umiarkowanego porośnięte są zazwyczaj lasami mieszanymi. W korycie przeważają wtedy krzewy i drzewa oraz ich nagromadzenia, czyli zwały (Wyźga i in., 2003b).

Rumosz drzewny oraz zwały i zatopy drzewne są często spotykaną przeszkodą w korytach rzek i potoków górskich. Z racji na korzystny wpływ tych form na morfologię koryta oraz życie organizmów wodnych dąży się do zachowania w korytach cieków tych struktur. Zasięg oddziaływania zwały, jego długość, szerokość i wysokość są determinowane geometrią i usytuowaniem kłody w korycie cieków (Radecki-Pawlik, 2014).

Badania prowadzone nad wpływem rumoszu drzewnego na funkcjonowanie systemu rzeczno wykazały, że wywiera on pozytywny wpływ zarówno na

biotyczne, jak i abiotyczne czynniki tego systemu (Wyźga, Zawiejska i Kaczka, 2003a). Bardzo ważnym aspektem jest wpływ, jaki rumosz drzewny wywiera na hydraulikę przepływu w rzekach oraz potokach górskich i podgórskich (Curran i Wohl, 2003; Michalec i Tarnawski, 2006; Michalec i Leksander, 2011; Radecki-Pawlik, Wieczorek i Plesiński, 2011; Kałuża i Radecki-Pawlik, 2014).

Zdeponowany w rzece górskiej rumosz drzewny sprzyja rozpraszaniu energii wód wezbraniowych (Gippel, 1995). W korytach wąskich potoków następuje to w wyniku turbulentnego ruchu wody, który obserwuje się w utworzonych po stronie zaprawowej rumoszu kotłach eworsyjnych (Wohl, 2000). Manga i Kirchner (2000) stwierdzili, że rozproszenie energii przepływu wody w ciekach z rumoszem drzewnym następuje poprzez meandrowanie nurtu między odłożonym drewnem, rozdzielanie przepływu wokół niego, a także występowanie wirów w jego okolicach.

W rzekach i potokach górskich, w których materiał drzewny odłożony jest w różnych formach, na uruchomienie i transport rumowiska dennego przypada mniejsza część energii wód wezbraniowych niż w ciekach pozbawionych rumoszu drzewnego. Wprowadzenie w ruch rumowiska dennego wymaga większej energii, a więc większych i zarazem rzadziej pojawiających się wartości przepływu (Assani i Pêtit, 1995). Rzeki te charakteryzują się mniejszym natężeniem transportu rumowiska dennego oraz cechuje je tendencja do powstawania różnych form akumulacji materiału dennego (Smith, Sidle, Porter i Noel, 1993). Z kolei Wallerstein i Thorne (2004) podają, że rumosz

drzewny wylapujący transportowany w rzece sedyment znacząco przyczynia się do przywrócenia stabilności dna, szczególnie w ciekach wciętych.

Na podstawie badań przeprowadzonych w rzece Rabie Radecki-Pawlik (2004) oraz Radecki-Pawlik i inni (2011) zauważyli, że pojedyncza kłoda wywołuje zmiany warunków hydrodynamicznych i przyczynia się do akumulacji rumowiska rzecznoego, a także do tworzenia się łach korytowych zarówno po stronie dopływowej, jak i zapływowej rumoszu drzewnego. Przed badanym rumoszem uformowała się łacha o kształcie barchanowym, pokryta od góry luźnym żwirem. Z kolei za rumoszem uformowała się łacha o kształcie parabolicznym. Łacha ta była zbudowana z materiału drobniejszego w porównaniu z łachą powstałą przed rumoszem. Wielkość obu łach była uzależniona od wielkości zatoru. Kałuża i Radecki-Pawlik (2014) zauważyli, że w korycie rzeki górskiej zatory drzewne powodują lokalne zmiany w granulometrii dna cieków, czego dowodem jest różnica w rozmiarze ziaren budujących łachę przed rumoszem drzewnym (grubszy materiał) oraz za nim (drobniejszy materiał). Z kolei Haschenburger i Rice (2004) zauważają, że nie tylko granulometria wierzchniej warstwy podłoża jest podatna na zmiany w rejonie oddziaływania rumoszu drzewnego, ale także osady podpowierzchniowe. Stwierdzają oni również, że oddziaływanie rumoszu drzewnego na granulometrię osadów korytowych jest większe, jeśli rumosz wywiera większy wpływ na przepływ wody i sedymentu. Opisując jednak ich badania, należy zwrócić uwagę, że analizą objęte były tylko zwały wielkie i duże, które funkcjonowały w terenie

jako częściowe tamy (Haschenburger i Rice, 2004).

Rumosz drzewny istotnie oddziałuje na morfologię cieków, hydrodynamikę przepływów, natężenie transportu rumowiska dennego oraz budowę dna cieków (Curran i Wohl, 2003; Kail, 2003). Ponadto wywiera on wpływ na wiele istotnych funkcji kształtujących ekosystemy wodne rzek górskich. Zdeponowany w rzece rumosz drzewny sprzyja zwiększaniu bioróżnorodności siedlisk. Zróżnicowane warunki przepływu w okolicach rumoszu drzewnego oraz żwirowe dno stwarza doskonałe warunki do składania i inkubacji ikry. Miejscowe przegłębienia stanowią swoistą ostoję dla ryb i wielu organizmów wodnych w czasie niżówek letnich oraz zimą, kiedy to strefy płytkiej wody mogą zamarzać aż do dna. Odłożony w korycie materiał drzewny jest siedliskiem rozmaitych bezkręgowców, a dla ryb miejscem żerowania oraz odpoczynku i ochrony przed drapieżnikami (Wyźga i in., 2003b). Materiał drzewny odłożony na łachach korytowych oraz równinie zalewowej przyczynia się do ochrony roślinności zielonej oraz sievek drzew. Dogodne warunki wilgotnościowe pozwalają naniesionym na powierzchnie łach fragmentom wierzb i topoli ukorzeniać się i wzrastać. Jest to początek sukcesji lasu łęgowego (Kaczka, Wyźga i Zawiejska, 2003).

Rumosz drzewny (obok bystrzy o zwiększonej szorstkości, ziaren ponadwymiarowych oraz kamiennych progów U-, A- i W-kształtnych) może być wykorzystywany do rewitalizacji potoków górskich jako jeden z proekologicznych elementów (Plesiński, Radecki-Pawlik i Wyźga, 2015; Pagliara, Radecki-Pawlik, Palermo i Plesiński,

2017; Plesiński, Radecki-Pawlik i Michalik, 2017; Plesiński i Radecki-Pawlik, 2018; Plesiński, Bylak, Radecki-Pawlik, Mikołajczyk i Kukuła, 2018; Sattar, Plesiński, Radecki-Pawlik, Gharabaghi, 2018). Jego korzystne działanie przywraca równowagę dynamiczną ciekom oraz odtwarza aluwialność koryta, a przy tym estetycznie współgra z krajobrazem, gdyż są to obiekty składające się całkowicie z materiału naturalnego. Rewitalizacja cieków z wykorzystaniem form depozycyjnych w postaci rumoszu drzewnego powinna być jednak wykonywana w miejscach, gdzie nie stoi to w sprzeczności z ochroną przeciwpowodziową (Curran i Wohl, 2003; Wyżga i in., 2003a; Wallerstein i Thorne, 2004; Radecki-Pawlik, 2014).

### **Cel i zakres badań**

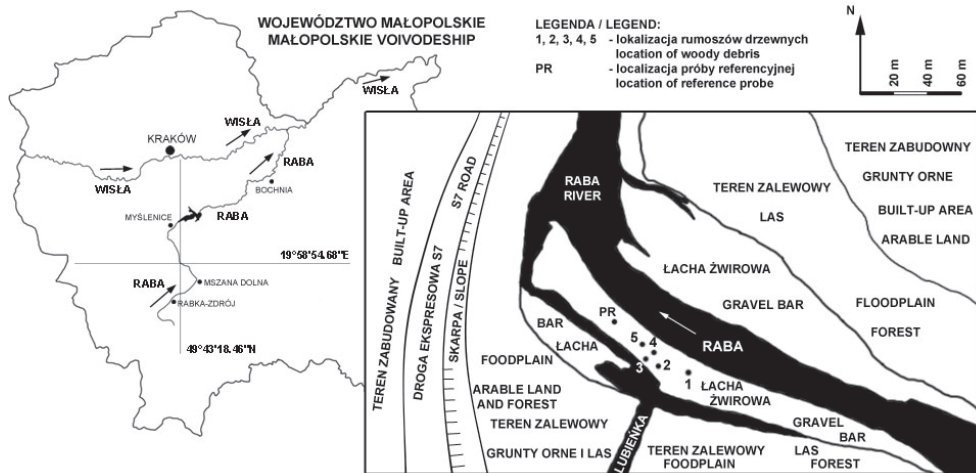
Celem badań było określenie wpływu, jaki zdeponowany w korycie rzeczonym rumosz drzewny wywiera na skład granulometryczny materiału dennego po jego doprądowej i zaprądowej stronie. Ustalono również długość zasięgu oddziaływania rumoszu drzewnego na uziarnienie materiału dennego oraz określono, jaki wpływ na ten zasięg mają wymiary geometryczne rumoszu. Badania przeprowadzono dla pięciu rumoszy drzewnych zdeponowanych na powierzchni łachy korytowej w rzece Rabe.

Zakres prac obejmował określenie wymiarów geometrycznych rumoszu drzewnego oraz oznaczenie składu granulometrycznego rumowiska dennego z powierzchni łachy korytowej metodą sitową. Następnie na podstawie opracowanych wyników pomiarów geometrycznych rumoszu drzewnego oraz

składu granulometrycznego rumowiska dennego ustalono zasięg jego oddziaływania z wykorzystaniem współczynnika efektywności Nasha-Sutcliffe'a (*NSE*), a w kolejnym kroku wykonano analizę wpływu poszczególnych wymiarów rumoszu drzewnego na zasięg oddziaływania z wykorzystaniem współczynnika korelacji Spearmana (*R*).

### **Lokalizacja terenu badań**

Badania granulometryczne zostały przeprowadzone dla materiału dennego zdeponowanego na powierzchni łachy korytowej zlokalizowanej w 86+600 km rzeki Raby, w miejscowości Lubień, powiat myślenicki, województwo małopolskie (rys. 1). Zgodnie z podziałem rzeki Raby zaproponowanym przez Punzeta (1969) wspomniana łacha korytowa znajduje się dolnej części górnego odcinka rzeki. W tym miejscu Raba płynie w nieuregulowanym, roztokowym korycie. Po stronie lewego i prawego brzegu wytworzyły się żwirowo-piaskowe łachy korytowe o stosunkowo dużej powierzchni i wysokości ponad zwierciadłem wody przy przepływie niskim. Łacha po stronie prawego brzegu w przeciwieństwie do łachy lewej jest bogato porośnięta roślinnością, głównie zielną oraz wierzbami. Lewą stronę koryta ogranicza stromy, erodowany brzeg (brzeg wklęsły), którego wysokość osiąga 1,7 m. Obszar teras zalewowych zajmują grunty orne, nieużytki oraz lasy łęgowe mogące stanowić źródło dostawy rumoszu drzewnego do koryta. Miejsce badań zamyka obszar zlewni o powierzchni 470,5 km<sup>2</sup>. Różnica wysokości między źródłem rzeki a miejscem prowadzonych badań wynosi 440 m.



RYСУNEK 1. Lokalizacja obiektu badań  
 FIGURE 1. Location of the study object

Łacha korytowa, na której prowadzone były badania, wytworzyła się podczas dużego wezbrania w 2010 roku, którego kulminacja nastąpiła 17 maja. W profilu wodowskazowym Stróża stan alarmowy tego dnia został przekroczony o 179 cm, a przepływ wyniósł  $338 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Wtedy także na łasze korytowej został zdeponowany rumosz drzewny będący przedmiotem badań prezentowanych w pracy.

W celu określenia wpływu rumoszu drzewnego na skład granulometryczny rumowiska wybrano pięć rumoszków drzewnych zdeponowanych na powierzchni łachy korytowej. Każdy rumoszek będący obiektem badań stanowił indywidualną strukturę pod względem budowy, geometrii oraz miejsca depozycji. Zgodnie z podziałem przedstawionym przez Wyżę i innych (2003b) rumosz drzewny 1 (rys. 2A) stanowi karpa drzewna. Rumosze 2 i 3 (rys. 2B i 2C) to drzewa z zachowaną strukturą korony i korzeni. Rumosz 4 (rys. 2D) to zwal drzewny. Rumosz 5 (rys. 2E) to krzew o zachowanej strukturze części korony oraz systemu korzeniowego.

## Metodyka badań

Pomiary terenowe miały na celu ustalenie wymiarów geometrycznych form depozycyjnych rumoszu drzewnego oraz oznaczenie składu uziarnienia metodą sitową. Za pomocą taśmy mierniczej ustalono długość ( $L$ ), szerokość ( $W$ ) oraz wysokość ( $H$ ) wytypowanych rumoszków drzewnych. Znajomość ich wymiarów pozwoliła na określenie ich korelacji w stosunku do długości oddziaływania rumoszków drzewnych na granulometrię osadu korytowego.

Badania składu granulometrycznego obejmowały pobór prób materiału denego bezpośrednio z powierzchni łachy korytowej i określenie ich uziarnienia metodą sitową. Rumowisko potrzebne do wykonania analizy sitowej było pobierane z kilku charakterystycznych miejsc, zarówno po stronie dopływowej, jak i zapływowej badanych rumoszków drzewnych. Próby do badań pobierano z powierzchni  $1 \text{ m}^2$ , z warstwy powierzchniowej, do głębokości nie więk-



RYSUNEK 2. Badane formy depozycyjne rumoszu drzewnego  
 FIGURE 2. Investigated wood deposits

szej niż zagłębienie największego ziarna w danej próbie. Dodatkowo w celu uzyskania poziomu odniesienia wykonano badania składu granulometrycznego materiału dennego zdeponowanego w całości poza zasięgiem oddziaływania rumoszków drzewnych i była to tzw. łącha referencyjna.

Skład granulometryczny materiału dennego łąchy korytowej ustalono metodą sitową z wykorzystaniem sit o oczkach kwadratowych, których wymiary w warunkach polowych wynosiły 200, 150, 100, 80, 63, 40, 31,5, 20, 16, 10, 5 i 2 mm. Materiał pozostały na sicie był ważony za pomocą elektronicznej

wagi hakowej firmy Axis. Próbkę materiału o uziarnieniu mniejszym od 2 mm przewieziono do Laboratorium Geotechnicznego Katedry Inżynierii Wodnej i Geotechniki Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie w celu określenia zawartości ziaren i cząstek mniejszych. Materiał poddano dalszemu badaniu – przesiano go przez sita o wymiarach 1, 0,5, 0,25, 0,125, 0,063 mm. Badaniem objęto 27 prób rumowiska dennego, o łącznej masie 1610,5 kg.

Następnie obliczono procentową zawartość poszczególnych frakcji w danej próbie oraz dla każdej z prób wykonano wykres uziarnienia. Z krzywych uziar-

nienia odczytano wartości średnic charakterystycznych, które wykorzystano w celu ustalenia zasięgu oddziaływania rumoszków drzewnych na uziarnienie rumowiska dennego. Średnice charakterystyczne poszczególnych prób (pobranych w określonych odległościach od rumoszu drzewnego zarówno po stronie doprądowej, jak i zaprądowej) porównano ze średnicami charakterystycznymi materiału pobranego z łachy referencyjnej. Porównanie wartości średnic opracowano statystycznie, co polegało na obliczeniu wartości współczynnika efektywności Nasha-Sutcliffe'a (*NSE*). Współczynnik ten służy do oceny jakości dopasowania wartości modelowanych z wartościami pomierzonymi w rzeczywistości. Współczynnik *NSE* przyjmuje wartości od  $-\infty$  do 1. Jeżeli *NSE* równa się 1, wtedy wartości porównywane są takie same i mówimy o dopasowaniu idealnym. Jeśli *NSE* przyjmuje wartość poniżej 1, wskazuje to na odchylenie między wartościami mierzonymi a modelowanymi. Wartość współczynnika *NSE* obliczono z użyciem następującego wzoru (Nash i Sutcliffe, 1970, Grunwald i Frede, 1999):

$$NSE = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_m - Q_{mea\_avg})^2 - \sum_{i=1}^n (Q_m - Q_p)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_m - Q_{mea\_avg})^2}$$

$i = 1, 2, \dots, n$

gdzie:

*NSE* – wartość współczynnika Nasha-Sutcliffe'a,

$Q_m$  – średnice charakterystyczne prób materiału rumowiska,

$Q_p$  – średnice charakterystyczne prób materiału rumowiska łachy referencyjnej,

$Q_{mea\_avg}$  – średnia arytmetyczna wartości średnic charakterystycznych prób materiału rumowiska.

Ostatnim etapem prac była ocena zależności między wymiarami geometrycznymi rumoszu drzewnego a zasięgiem oddziaływania rumoszu na skład granulometryczny rumowiska dennego. Badanie polegało na zestawieniu danego wymiaru każdego z badanych rumoszków drzewnych z charakterystycznym dla nich zasięgiem oddziaływania na materiał denny. Analiza obejmowała każdy z trzech wymiarów geometrycznych. Badanie miało na celu ustalenie, jak dany wymiar koreluje z długością oddziaływania rumoszu drzewnego po stronie doprądowej oraz po stronie zaprądowej. Analizę wykonano za pomocą wykresów korelacji Spearmana dla przedziału ufności  $p < 0,05$ .

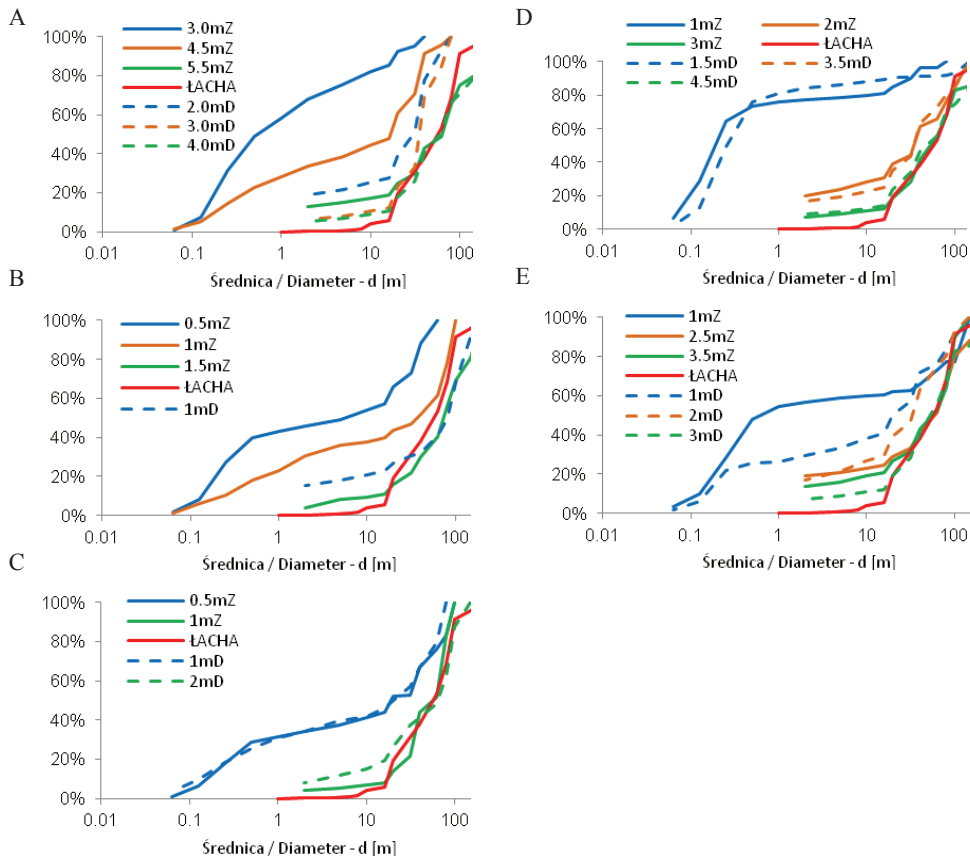
## Wyniki badań i ich analiza

Analizę wyników badań składu uziarnienia (rys. 3) w aspekcie oceny oddziaływania rumoszu drzewnego na proces odkładania się rumowiska przeprowadzono dla rumoszu 1. Rumosz ten cechował się największą objętością w stosunku do pozostałych.

Po stronie doprądowej wraz ze wzrostem odległości od rumoszu drzewnego od 2,0 do 4,0 m zawartość frakcji kamienistej zwiększyła się od 15 do 49%, a frakcji piaskowej zmniejszyła od 19 do 5%. W przypadku frakcji żwirowej początkowo stwierdzono zwiększenie od 66 do 79%, a następnie jej zmniejszenie do 46%.

Po stronie zaprądowej zawartość frakcji kamienistej zwiększyła się od 0% przy odległości 3,0 m do 51% przy 5,5 m odległości od rumoszu, a zawartość frakcji piaskowej zmniejszyła się od 68 do





Z – strona zaprądowa / downstream side, D – strona doprądowa / upstream side, 1 m, 2 m, itp./etc. – odległość od rumoszu drzewnego / distance from woody debris, ŁACHA – łącha referencyjna / reference gravel bar

RYSUNEK 3. Krzywe uziarnienia prób rumowiska dennego pobranego po ich doprądowej i zaprądowej stronie (A – rumosze 1, B – rumosze 2, C – rumosze 3, D – rumosze 4, E – rumosze 5)

FIGURE 3. Granulometric curves of the bed material sampled on their upstream and downstream sides (A – woody debris 1, B – woody debris 2, C – woody debris 3, D – woody debris 4, E – woody debris 5)

13%. W przypadku frakcji żwirowej jej zawartość początkowo się zwiększyła, a następnie zmniejszyła się dwukrotnie (od 32 do 63%, a następnie do 36%).

Uziarnienie prób rumowiska pobranych po stronie doprądowej w odległości 4,0 m i po stronie zaprądowej w odległości 5,5 m wykazywało podobieństwo z uziarnieniem łąchy referencyjnej. W przypadku uziarnienia materiału łą-

chy referencyjnej nieznacznie mniej było frakcji kamienistej, bo około 47%, a frakcji żwirowej było 53%.

W tabeli 1 zestawiono wartości współczynnika *NSE* dla poszczególnych prób rumowiska dennego, których uziarnienie porównywano z uziarnieniem łąchy referencyjnej. Jeżeli wartość *NSE*  $\geq 0,65$ , to można stwierdzić bardzo dobrą lub dobrą jakość porównania. W tabeli 1 po-

TABELA 1. Tabelaryczne zestawienie wartości współczynników *NSE* dla badanych prób rumowiska dennego

TABLE 1. The values of *NSE* coefficient for bed material samples

Numer rumoszu drzewnego Woody debris number	Parametr Parameter	Próba rumowiska / Granulometric sample					
		strona dopływowa upstream side			strona odpływowa downstream side		
1	odległość distance [m]	2,0	3,0	4,0	3,0	4,0	5,5
	<i>NSE</i>	-4,15	-1,98	<b>0,68</b>	-60,38	-6,08	<b>0,67</b>
2	odległość distance [m]	1,0	–	–	0,5	1,0	1,5
	<i>NSE</i>	<b>0,71*</b>	–	–	-6,72	0,63	<b>0,65</b>
3	odległość distance [m]	1,0	2,0	–	0,5	1,0	—
	<i>NSE</i>	-0,54	<b>0,97</b>	–	0,16	<b>0,71</b>	–
4	odległość distance [m]	1,5	3,5	4,5	1,0	2,0	3,0
	<i>NSE</i>	-4,05	<b>0,73</b>	0,75	-27,91	<b>0,79</b>	0,79
5	odległość distance [m]	1,0	2,0	3,0	1,0	2,5	3,5
	<i>NSE</i>	0,35	0,53	<b>0,80</b>	0,52	0,64	<b>0,97</b>

\**NSE* ≥ 0,65 – bardzo dobra, dobra jakość porównania / *NSE* ≥ 0.65 – very good, good quality of comparison.

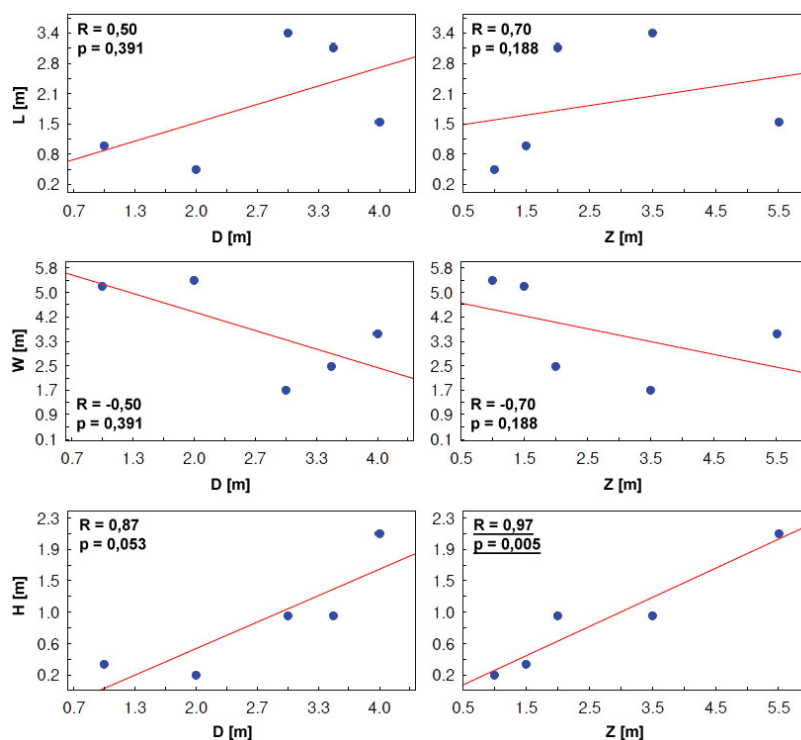
grubieniem oznaczono te wartości współczynnika *NSE*, które spełniają powyższe założenie. Jeżeli dana próba rumowiska uzyskała wartość współczynnika *NSE*, która odpowiada co najmniej dobremu dopasowaniu, odległość miejsca poboru próby przyjmowano jako odległość, na której kończy się zasięg oddziaływania danego rumoszu drzewnego na skład granulometryczny materiału dennego.

W tabeli 2 przedstawiono zestawienie poszczególnych wymiarów geometrycznych rumoszków drzewnych wraz z zasięgiem oddziaływania na materiał denny po zapływowej i dopływowej stronie uzyskany z obliczeń współczynnika *NSE*.

Na rysunku 4 przedstawiono zależność między długością, szerokością i wysokością rumoszków drzewnych, a zasięgiem ich oddziaływania na uziarnienie materiału dennego. Z analizy wykresów wynika, że tylko korelacja wysokości rumoszu (*H*) i zasięgu oddziaływania po stronie odpływowej (*Z*) jest statystycznie istotna (przedział ufności wyniósł  $p < 0,05$ ). Współczynnik korelacji dla tej zależności wyniósł  $R = 0,97$ , co świadczy, iż odległość oddziaływania rumoszu drzewnego na granulometrię osadu korytowego po jego stronie odpływowej jest 97% zależna od wysokości rumoszu.

TABELA 2. Tabelaryczne zestawienie wymiarów geometrycznych rumoszu drzewnych oraz długości zasięgu ich oddziaływania po zaprawdowej i doprawdowej stronie  
 TABLE 2. Geometrical dimensions of woody debris and length of their impact

Numer rumoszu drzewnego Woody debris numbet	Wymiary rumoszu Dimensions of woody debris			Zasięg oddziaływania, po stronie Length of impact, on the side	
	długość length $L$ [m]	szerokość width $W$ [m]	wysokość height $H$ [m]	doprawdowej upstream $D$ [m]	zaprawdowej downstream $Z$ [m]
1	1,50	3,60	2,10	4,00	5,50
2	1,00	5,20	0,35	1,00	1,50
3	0,50	5,40	0,20	2,00	1,00
4	3,10	2,50	1,00	3,50	2,00
5	3,40	1,70	1,00	3,00	3,50



RYSUNEK 4. Wykres zależności między długością ( $L$ ), szerokością ( $D$ ) i wysokością ( $H$ ) form depozycyjnych rumoszu drzewnego a długością zasięgu oddziaływania form ( $D$ ,  $Z$ ) na uziarnienie osadów łachy

FIGURE 4. Correlation between length ( $L$ ), width ( $D$ ) and height ( $H$ ) of woody debris and the length of impact ( $D$ ,  $Z$ ) on granulometry bar

W przypadku pozostałych wymiarów geometrycznych rumoszków przeprowadzona analiza jest statystycznie nieistotna ( $p \geq 0,05$ ), a uzyskane wartości współczynnika korelacji są obciążone bardzo dużą przypadkowością.

## Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań wpływu rumoszu drzewnego na skład granulometryczny materiału dennego zdeponowanego po jego zaprądowej i doprądowej stronie można stwierdzić, że:

1. Próby rumowiska pobrane zarówno po doprądowej, jak i zaprądowej stronie rumoszków drzewnych różniły się składem granulometrycznym. Po stronie doprądowej, w rejonie miejsca zdeponowania rumoszu, akumulacji ulegał najczęściej materiał z przewagą frakcji żwirowej grubej i kamienistej, zaś po stronie zaprądowej z przewagą frakcji piaszczystej i żwirowej średniej lub drobnej.
2. Uziarnienie rumowiska zwiększa się w miarę oddalania się od rumoszu drzewnego i w pewnej odległości zależnej od wymiarów rumoszu było podobne do uziarnienia łachy referencyjnej. Zauważono, że bliżej miejsca zdeponowania rumoszu materiał denny był zbudowany głównie z frakcji piaszczystej. Mediana rozkładu uziarnienia rumowiska ( $d_{50\%}$ ) zwiększa się wraz ze wzrostem odległości od rumoszu drzewnego.
3. Zasięg oddziaływania badanych form depozycyjnych rumoszu drzewnego na skład granulometryczny rumowiska dennego po stronie zaprądowej odpowiadał średnio 97% ich wy-

sokości. W przypadku pozostałych korelacji wyniki są statystycznie nieistotnie.

## Literatura

- Assani, A.A. i Pêtit, F. (1995). Log-jam effects on bedload for experiment conducted in the small gravel-bed forest ditch. *Catena*, 25, 117-126.
- Curran, J.H. i Wohl, E.E. (2003). Large woody debris and flow resistance in step-pool channels, Cascade Range, Washington. *Geomorphology*, 51, 141-157.
- Gippel, C. (1995). Environmental hydraulic of large woody debris in streams and rivers. *Journal on Environmental Engineering*, 121, 388-395.
- Grunwald, S. i Frede, H.G. (1999). Using the Modified Agricultural Non-point Source Pollution Model in German Watershed. *Catena*, 37, 319-328.
- Haschenburger, J.K. i Rice, S.P. (2004). Changes in woody debris and bed material texture in a gravel-bed channel. *Geomorphology*, 60, 241-267.
- Kaczka, R., Wyżga, B. i Zawiejska, J. (2003). Gruby rumosz drzewny jako cenny składnik górskich systemów fluwialnych. W: J. Lach, *Dynamika zmian środowiska geograficznego pod wpływem antropopresji. Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej* (strony 118-125). Kraków: Wydawnictwo Akademii Pedagogicznej w Krakowie.
- Kail, J. (2003). Influence of large woody debris on the morphology of six central European streams. *Geomorphology*, 51, 207-223.
- Kałuża, T. i Radecki-Pawlik, A. (2014). Wpływ rumoszu drzewnego na hydrodynamikę koryt rzecznych. *Acta Scientiarum Polonorum, Formatio Circumiectus*, 13(1), 67-80.
- Manga, M. i Krichner, J.W. (2000). Stress partitioning in streams by large woody debris. *Water Resources Research*, 36, 2373-2379.
- Michalec, B. i Leksander, B. (2011). Określenie bezwymiarowego współczynnika oporów i współczynnika szorstkości w przekroju zatoru z grubego rumoszu drzewnego. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 10, 63-70.

- Michalec, B. i Tarnawski, M. (2006). Wpływ zatorów z rumoszu drzewnego na przepustowość koryta rzeki Czarna Staszowska. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie, Inżynieria Środowiska*, 433 (27), 203-211.
- Montgomery, D.R., Collins, B.D., Buffington, J.M. i Abbe, T.B. (2003). Geomorphic effects of wood rivers. W: S.V. Gregory, K. L. Boyer i A.M. Gurnell, *Ecology and Management of Woods in Worlds Rivers American* (strony 21-47). Bethesda: Fisheries Society Symposium 37.
- Nash, J.E. i Sutcliffe, J.V. (1970). River Flow Forecasting through Conceptual Models Part I – A Discussion of Principles. *Journal of Hydrology*, 10, 282-290.
- Pagliara, S., Radecki-Pawlik, A., Palermo, M. i Plesiński, K. (2017). Block ramps in curved rivers: morphology analysis and prototype data support of design criteria for mild bed slopes. *River Research and Applications*, 33(3), 427-437.
- Pięgay, H. i Gurnell, A.M. (1997). Large woody debris and river geomorphological pattern: examples from France and England. *Geomorphology*, 19, 99-116.
- Petts, G.E. (1990). Forested river corridors: a lost resource. W: D.E. Cosgrove i G.E. Petts, *Water, Engineering and Landscape. Water Control and Landscape Transformation in the Modern Period* (strony 12-35). London: Belhaven Press.
- Petts, G.E. i Welcomme, R. (2003). Forested river corridors: a lost resource. W: S.V. Gregory, K.L. Boyer i A.M. Gurnell, *Ecology and Management of Woods in Worlds Rivers American* (strony 421-431). Bethesda: Fisheries Society Symposium 37.
- Plesiński, K., Bylak, A., Radecki-Pawlik, A., Mikołajczyk, T. i Kukuła, K. (2018). Possibilities of fish passage through the block ramp: Model-based estimation of permeability. *Science of the Total Environment*, 631-632, 1201-1211.
- Plesiński, K. i Radecki-Pawlik, A. (2018). *Bystra o zwiększonej szorstkości, rodzaje, przykłady z praktyki, hydraulika, projektowanie i problemy eksploatacyjne*. Kraków: Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie.
- Plesiński, K., Radecki-Pawlik, A. i Michalik, P. (2017). Prognozowanie zmian korytotwórczych w uregulowanym korycie rzeki Czarna Dunajec z wykorzystaniem modelu jednowymiarowego. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 26(3), 346-360.
- Plesiński, K., Radecki-Pawlik, A. i Wyzga, B. (2015). Sediment Transport Processes Related to the Operation of a Rapid Hydraulic Structure (Boulder Ramp) in a Mountain Stream Channel: A Polish Carpathian Example. W: P. Heininger i J. Cullmann, *Sediment Matters* (strony 39-58). Koblenz: Springer.
- Punzet, J. (1969). Charakterystyka hydrologiczna rzeki Raby. *Acta Hydrobiologica*, 11(4), 423-477.
- Radecki-Pawlik, A. (2004). Skład granulometryczny oraz warunki hydrauliczne potoku w rejonie łachy korytowej utworzonej za grubym rumoszem drzewnym. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, Melioracje i Inżynieria Środowiska*, 25, 495-503.
- Radecki-Pawlik, A. (2014). *Hydromorfologia rzek i potoków górskich. Działy wybrane*. Kraków: Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie.
- Radecki-Pawlik, A., Wiczorek, M. i Plesiński, K. (2011). Zróżnicowanie parametrów hydrodynamicznych cieku w miejscu zdeponowania grubego rumoszu drzewnego. *Acta Scientiarum Polonorum, Formatio Circumiectus*, 10(2), 35-46.
- Sattar, A.M.A., Plesiński, K., Radecki-Pawlik, A. i Gharabaghi, B. (2018). Scour depth model for grade-control structures. *Journal of Hydroinformatics*, 20(1), 117-133.
- Sedell, J.R. i Froggatt, J.L. (1984). Importance of stramside forest to large rivers: the isolation of the Willamette River, Oregon, USA, from its floodplain by snagging and streamside forest removal. *Verhandlung Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 22, 1828-1834.
- Shields, F.D. i Nunnally, N.R. (1984). Environmental aspects of clearing and snagging. *Journal of Environmental Engineering*, 110, 152-166.
- Smith, R.D., Sidle, R.C., Porter, P.E. i Noel, J.R. (1993). Effects on bedload transport of experimental removal of woody debris from a forest gravel-bed stream. *Earth Surface Processes Landforms*, 18, 455-468.

- Wallerstein, N.P. i Thorne, C.R. (2004). Influence of large woody debris on morphological evolution of incised, sand-bed channels. *Geomorphology*, 57, 53-73.
- Wohl, E. (2000). *Mountain rivers*. Florida Avenue: American Geophysical Union.
- Wyżga, B., Kaczka, R. i Zawiejska, J. (2012). Zróżnicowanie depozycji grubego rumoszu drzewnego w ciekach górskich o średniej i dużej szerokości. *Prace i Studia Geograficzne*, 50, 159-169.
- Wyżga, B., Zawiejska, J. i Kaczka, R. (2003a). Znaczenie rumoszu drzewnego w ciekach górskich. *Aura*, 11, 18-20.
- Wyżga, B., Zawiejska, J. i Kaczka, R. (2003b). Gruby rumosz drzewny w ciekach górskich – formy występowania, warunki depozycji i znaczenie środowiskowe. *Folia Geographica, Geographica-Physica*, 33-34, 117-138.
- Zawiejska, J. i Wyżga, B. (2002). Uwarunkowania dotyczące depozycji grubego rumoszu drzewnego w szerokiej rzece górskiej na przykładzie Czarnego Dunajca. VI zjazd Geomorfologów Polskich. *Środowiska górskie – ewolucja rzeźb*. Jelenia Góra.

## Streszczenie

**Wpływ rumoszu drzewnego na granulometrię osadów korytowych.** Celem artykułu jest określenie wpływu, jaki wywiera zdeponowany w korycie rzeki rumosz drzewny na granulometrię rumowiska dennego. Analiza obejmowała doprądowną i zaprądowną stronę badanych form depozycyjnych rumoszu drzewnego. Zakres prac obejmował ustalenie geometrycznych wymiarów analizowanych rumoszków drzewnych, określenie składu granulometrycznego rumowiska dennego w sąsiedztwie tych form, wyznaczenie długości ich oddziaływania na materiał denny oraz ustalenie zależności między geometrycznymi wymiarami rumoszków drzewnych a zasięgiem ich oddziaływania na rumowisko denne. Badania granulometryczne wykonano na podstawie analizy sitowej. Zasięg oddziaływania form depozycyjnych rumoszu drzewnego ustalono wykonując analizę statystyczną z wykorzystaniem współczynnika

efektywności Nasha-Sutcliffe'a. Zależności pomiędzy zasięgiem oddziaływania a wymiarami badanych form rumoszu drzewnego określono na podstawie współczynnika korelacji Spearmana. Stwierdzono, że rumosz drzewny zdeponowany w korycie rzeki Raby wpływa na granulometrię rumowiska dennego, zarówno po stronie zaprądownej, jak doprądownej. Wykazano również, że zasięg oddziaływania na uziarnienie materiału dennego po stronie zaprądownej form depozycyjnych rumoszu drzewnego jest w znacznym stopniu zależny od wysokości zdeponowanego rumoszu drzewnego.

## Summary

**Impact of woody debris on the grain size of channel sediments.** The aim of paper is to investigate the impact of woody debris deposited on the river bed on the granulometry of the bed material. The analysis included upstream and downstream sides of the investigated woody debris. The investigations comprised determination of the geometric dimensions of the analyzed wood deposits, determination of the granulometric composition of the bed material in the area of deposition of woody debris, determination of the range of influence of the investigated woody debris on the bed material and determination of the relationship between the geometric dimensions of the woody debris and the extent of their impact on the bed material. The granulometric analysis was conducted using the conventional sieving method. The extent of the influence of woody debris was determined on the basis of the Nash's-Sutcliffe's efficiency coefficient. The dependence of the extent of wood influence and the dimensions of the investigated woody debris was determined on the basis of the Spearman's correlation coefficient. It was found that the woody debris deposited on the bed of the Raba river affects the granulometry of the bed material on both the upstream and downstream sides. The study also showed that the extent of the

impact on the grain-size composition of the bed material on the downstream sides of the woody debris is determined to a large extent by the height of the deposited woody debris.

**Author's address:**

Karol Plesiński  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie  
Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki  
30-059 Kraków, al. Mickiewicza 24/28  
Poland  
e-mail: k.plesinski@ur.krakow.pl