

Tomasz Tekielak, Alicja Michalik, Łukasz Bąk, Leszek Książek

**WPLYW WEZBRAŃ
NA INTENSYWNOŚĆ PROCESÓW FLUWIALNYCH
NA PRZYKŁADZIE KORYTA POTOKU SMOLNIK**

***INFLUENCE OF FLOODS ON FLUVIAL PROCESSES
ON THE EXAMPLE OF THE STREAM SMOLNIK***

Streszczenie

Celem prezentowanych badań jest określenie zmian morfologicznych na zdegradowanych odcinkach potoku Smolnik, wywołanych przez dwie fale wezbraniowe. Oceniono zmiany warunków hydrodynamicznych, które miały decydujący wpływ na intensywność transportu rumowiska i tym samym na geometrię badanych odcinków. Przeprowadzono pomiary geodezyjne profilu podłużnego i przekrojów poprzecznych koryta. Określono również skład granulometryczny materiału dennego i brzegowego. Wyniki tych badań stanowią podstawę do obliczeń i analizy badanych procesów. Oceniono objętości wyerodowanego materiału i objętości jego depozycji na dnie koryta. Intensywność transportu została obliczona przy użyciu równania Bagnolda. Zaobserwowane zmiany zilustrowano szkicami sytuacyjnymi, na których pokazane są miejsca depozycji rumowiska, powstałe wyboje po erozji dennej oraz strefy aktywne podcięć brzegów.

Słowa kluczowe: erozja boczna i denna, transport rumowiska, wezbranie

Summary

The aim of the presented research was to examine the morphological changes of the degraded sectors of the stream Smolnik, caused by two floods. The changes of the hydrodynamic conditions were estimated because of its decisive influence on sediment transport intensity and thus on the investigated channel sector geometry. The surveying measurements of the longitudinal profile and cross sections of channel were carried out. The granulometric composition of the bed and the bank material was determined also. Results of this research are basis for cal-

culation and for analysis of the studied process. Volumes of material eroded from the banks and from the bed channel as well of the sediment deposited on the bed channel were calculated. The Bagnold equation was applied for estimation of sediment transport intensity. The noticed changes along the channel are illustrated by the situational outlines, where area of undercuts of banks pits and bars are showed.

Key words: bank and bed erosion, sediment transport, flood

WSTĘP

Procesy fluwialne zachodzące w korycie rzeczonym zależą przede wszystkim od wielkości przepływów wody występujących podczas fal wezbraniowych oraz od geometrii samego koryta. Im większe wezbrania i czas ich trwania, tym intensywniejsze są takie procesy jak: erozja boczna, erozja denną i transport rumowiska. Przepływ wody jest więc czynnikiem decydującym o morfodynamice rzeki. Bogata literatura dotycząca tej problematyki pokazuje jej różne aspekty [Krzemień 1976, 1984], choć najczęściej skupiona jest wokół procesów erozji [Leopold, Wolman 1957; Bartholdy, Billi 2002], transportu rumowiska i oporów ruchu [Leopold i in. 1960; Bagnold 1980; Odgaard 1984; Wang 1999]. Mimo wielu istotnych opracowań nie ma możliwości wykorzystania ich do oceny procesów fluwialnych w innych rzekach niż badane, a w szczególności w potokach górskich, gdzie wymienione zjawiska występują tylko okresowo.

W prezentowanym artykule przedstawiono wyniki badań procesów erozji na zdegradowanych odcinkach potoku Smolnik, który jest charakterystyczny dla cieków z regionu Beskidu Wyspowego.

CEL I METODYKA BADAŃ

Potok Smolnik zaliczany jest do najbardziej erozyjnych cieków na terenie Beskidu Wyspowego. Mimo, że w znacznej części jest już uregulowany, obserwuje się zdegradowane odcinki koryta, na których można ocenić intensywność procesów fluwialnych w zależności od fal wezbraniowych. Celem pracy była próba określenia wpływu wezbrań na intensywność takich procesów jak: erozja boczna i denną oraz transport rumowiska wleczonego.

Do oceny wybrano dwa odcinki zdegradowanego koryta o długości 160 i 80 m. Aby dokonać wspomnianej oceny, przeprowadzono w latach 2005–2006 następujące badania:

- pomiary geodezyjne profilu podłużnego i reprezentatywnych przekrojów poprzecznych,
- badanie erozji brzegu na podstawie metody prętów wbijanych prostopadle w skarpy brzegów, których odsłonięcie po przejściu fal wezbrania wskazywało na wielkość erozji,

– określenie składu granulometrycznego materiału dennego metodą konwencjonalną. Oznaczone średnice charakterystyczne posłużyły do określenia głównych wskaźników uziarnienia [Gradziński i in. 1976; Dąbkowski i in. 1982]: wskaźnika wysortowania według Traska (S_o), wskaźnika skośności według Traska (S_k) i wskaźnika jednostajności (cecha dominacji) według Kollisa (C_d),

– określono wielkość wezbrań na podstawie danych z IMGW z wykorzystaniem modelu geomorfologicznego [Ozga-Zielińska, Brzeziński 1997],

– obliczono przepływy powodziowe o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia wg równania Punzeta [1977] dla zlewni karpackich.

Wyniki pomiarów wykorzystano do obliczenia intensywności transportu rumowiska wlezonego zgodnie z równaniem Bagnolda [1980] oraz dokonano bilansu fluwialnego badanych odcinków.

Wszystkie wymienione badania pozwoliły na kompleksowe ujęcie problematyki procesów fluwialnych zachodzących w okresie badawczym.

CHARAKTERYSTYKA ZLEWNI POTOKU SMOLNIK I LOKALIZACJA ODCINKÓW POMIAROWYCH

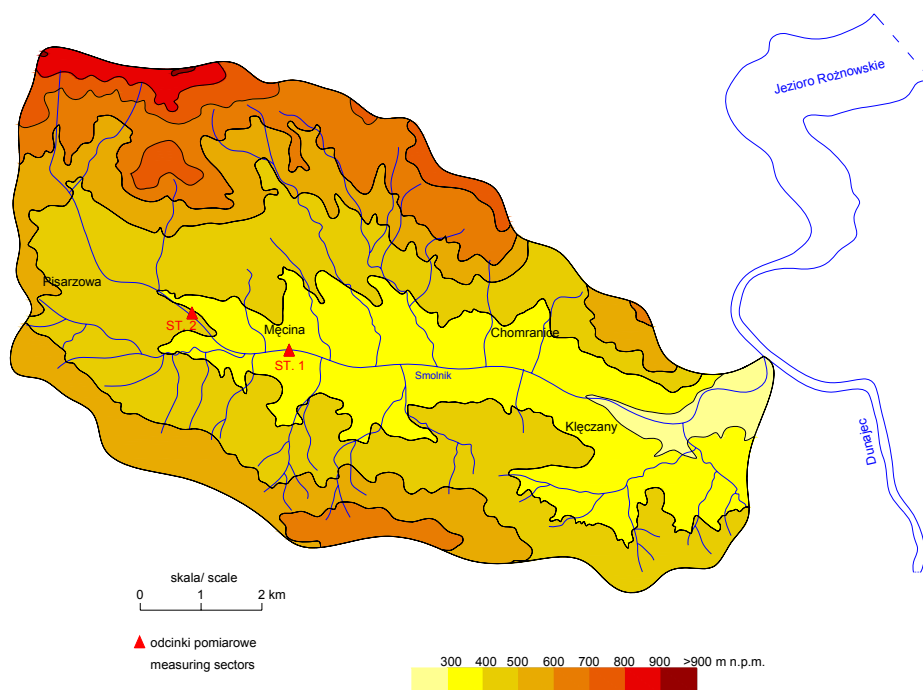
Potok Smolnik jest lewobrzeżnym dopływem Dunajca, wypływającym z południowego zbocza pasma Jaworza. Źródła potoku znajdują się na wysokości 810 m n.p.m., natomiast ujście znajduje się na wysokości 267,10 m n.p.m. poniżej wsi Marcinkowice, w cofce zbiornika Rożnowskiego. Zlewnia potoku Smolnik o powierzchni 65,52 km² znajduje się w obrębie Beskidu Wyspowego, należącego do Karpat Zewnętrznych. Opisywany obszar tworzą skały fliszowe płaszczowiny magurskiej, reprezentowanej przez podjednostkę raczańską południową. Długość potoku Smolnik wynosi 16,35 km. Rozkład hipsometryczny zlewni przedstawiono na rysunku 1.

W części źródłowej potok Smolnik płynie wąskim wciętym korytem o spadku około 15%. W kilometrze 14+000 dolina potoku rozszerza się oraz następuje zmniejszenie spadku dna do około 5%. Poniżej linii kolejowej przecinającej koryto w km 13+850 dolina potoku rozszerza się do około 200 m. W km 12+600 następuje zwężenie doliny, a następnie ponowne jej rozszerzenie do szerokości 200 m we wsi Pisarzowa. Poniżej Pisarzowej dolina jest prawie całkowicie pozbawiona zadrzewień.

Potok Smolnik na długości około 13 km został uregulowany i zabudowany budowlami regulacyjnymi (stopnie, progi, zapory przeciwrumowiskowe), w celu ograniczenia erozji dna koryta, zmniejszenia spadku dna, zabezpieczenia mostów drogowych i kolejowych.

Na rysunku 1 przedstawiono lokalizację odcinków pomiarowych. Pierwszy odcinek pomiarowy o długości 160 m zlokalizowano w km 8+800, w obrębie erodowanych brzegów lewej i prawej skarpy, których wysokość wynosi od

2,40 do 2,60 m. Odcinek drugi o długości 80 m zlokalizowano w km 11+050, w obszarze obejmującym silnie erodowany lewy brzeg o długości 30 m i wysokości 1,50 m.



Rysunek 1. Mapa hipsometryczna zlewni potoku Smolnik oraz lokalizacja odcinków pomiarowych

Figure 1. Hypsometric map of the Smolnik catchment area and the localization of measuring sectors

WARUNKI HYDROLOGICZNE W OKRESIE BADAŃ

Zlewnia potoku Smolnik jest obecnie obszarem hydrologicznie niekontrolowanym. Zlokalizowany w Kłęczanach (km 1+800) wodowskaz został zniszczony w roku 1997, podczas lipcowej powodzi. Przepływy o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia obliczono z równania Punzeta [1977] dla zlewni karpackich. Wartości przepływów prawdopodobnych dla odcinka pomiarowego zlokalizowanego w km 5+300 zestawiono w tabeli 1. Przepływy chwilowe określono wg modelu geomorfologicznego [Ozga-Zielińska, Brzeziński 1997]. Do

obliczeń przepływów chwilowych wykorzystano opady rejestrowane na posterunku meteorologicznym Limanowa. Średni roczny opad w zlewni potoku Smolnik obliczony na podstawie danych ze stacji Nowy Sącz, Limanowa, Luślawice wynosi 811 mm.

Tabela 1. Przepływy prawdopodobne dla potoku Smolnik w km 5+300

Table 1. Probable flows for the Smolnik stream at km 5+300

p [%]	0,01	0,10	0,20	0,50	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10,0	20,0	25,0	30,0	40,0	50,0
Q [m ³ ·s ⁻¹]	223	170	153	131	114	96,3	85,8	78,3	72,5	54,0	35,6	29,7	25,2	18,7	15,6

W roku 2005 w okresie badań zaobserwowano jedno wezbranie o przepływie kulminacyjnym $Q_{\max} = 4,45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w dniu 04.08. W roku 2006 na uwagę zasługują głównie wezbrania z dnia 30.06 ($Q_{\max} = 22,20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) oraz wezbranie o przepływie kulminacyjnym $Q_{\max} = 13,20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, w dniu 03.06. Pozostałe, morfologicznie aktywne wezbrania, o znacznie mniejszych przepływach odnotowano w dniach: 30.05 ($Q_{\max} = 1,59 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) oraz 22.06 ($Q_{\max} = 3,29 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

WYNIKI POMIARÓW I ICH ANALIZA

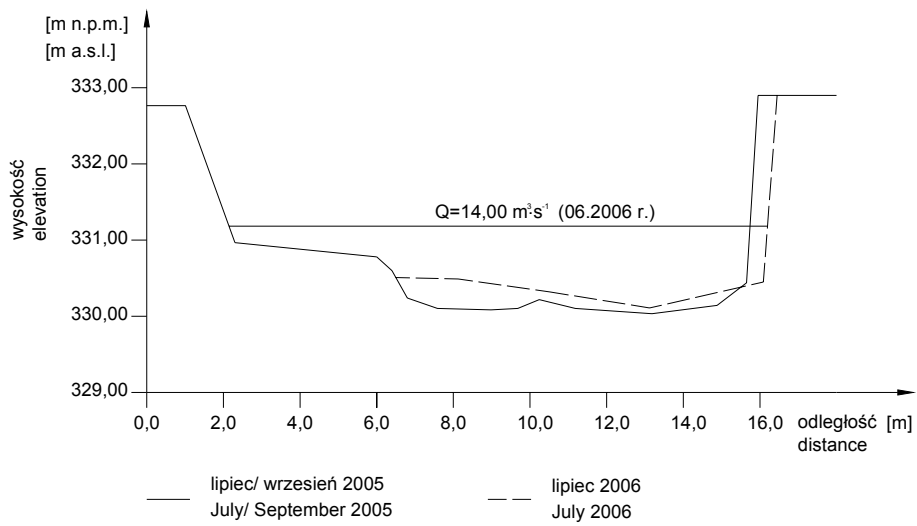
Dno potoku Smolnik zbudowane jest z gruboziarnistej pokrywy aluwialnej. W materiale dennym dominują frakcje $< 0,02 \text{ m}$ i $0,02\text{--}0,04 \text{ m}$ wynoszące odpowiednio 30,50% oraz 20,70% próby. Materiał gruboziarnisty frakcji $>0,08 \text{ m}$ wynosi 15,90% próby, a jego średnica $d_{50}=0,04 \text{ m}$. Materiał denny określono jako drobne otoczaki do grubego żwiru. Wskaźnik wysortowania $S_o=2,05$ charakteryzuje osad jako bardzo źle wysortowany, wzbogacony w frakcje drobniejsze ($S_k = 0,75$; $C_d = 0,50$). Złe wysortowanie wskazuje na intensywną redepozycję lub transport rumowiska dennego. Materiał brzegu określono jako gruby piasek z domieszką średniego pyłu, o średnicy $d_{50} = 0,14 \text{ mm}$.

O intensywności procesów erozyjnych na pierwszym odcinku badanym świadczą podcięcia skarpy brzegu, a także pozostawione w korycie fragmenty betonowych ubezpieczeń (rys. 2).

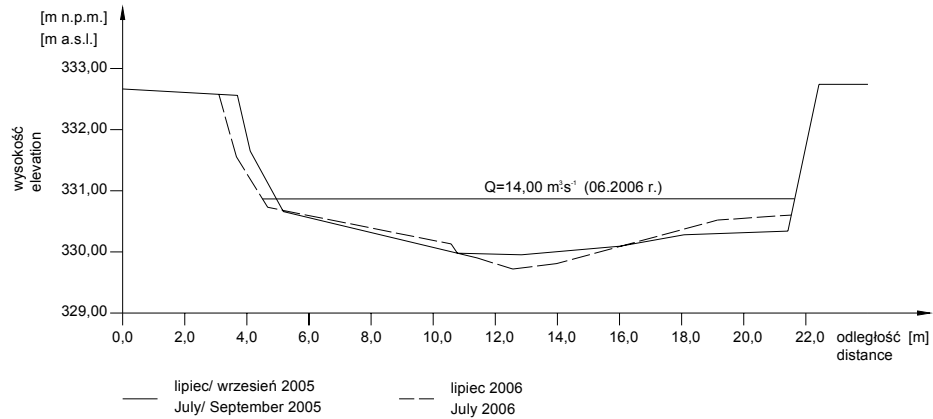
Przy prawym brzegu na długości 50,0 m rozciąga się łącha żwirowa o szerokości 4,0 m. Stwierdzono również lokalne ślady depozycji w formie odsypisk o wymiarach $2,0 \times 1,50 \text{ m}$. Bezpośrednio poniżej mostu utworzona została łącha żwirowa o wymiarach $7,0 \times 4,0 \text{ m}$. Szerokość koryta zmienia się w granicach $9,0\text{--}16,0 \text{ m}$. Spadek podłużny odcinka jest wyrównany i wynosi $i = 3,7\text{‰}$. Pomierzone przekroje poprzeczne pokazują jakie zmiany wystąpiły po przejściu fal wezbraniowych. Przykładowe przekroje pokazano na rysunkach 3 i 4.



Rysunek 2. Erozja prawego brzegu – odcinek pomiarowy 1
Figure 2. Erosion of the right bank – measuring sector 1



Rysunek 3. Przekrój 1–1 na odcinku pomiarowym 1
Figure 3. Cross-section 1–1 on the measuring sector 1



Rysunek 4. Przekrój 2–2 na odcinku pomiarowym 1
Figure 4. Cross-section 2–2 on the measuring sector 1

Odcinek nr 2 zlokalizowano w km 11+050, w strefie obejmującej intensywną erozję brzegu lewego o długości 30,0 m. Wysokość erodowanego brzegu wynosi 1,50 m. Natężenie procesów erozji brzegowej w postaci podcięć lewego brzegu oraz pozostałości wyerodowanego materiału widoczne są na rysunku 5.



Rysunek 5. Erozja lewego brzegu – odcinek pomiarowy 2
Figure 5. Erosion of the left bank – measuring sector 2

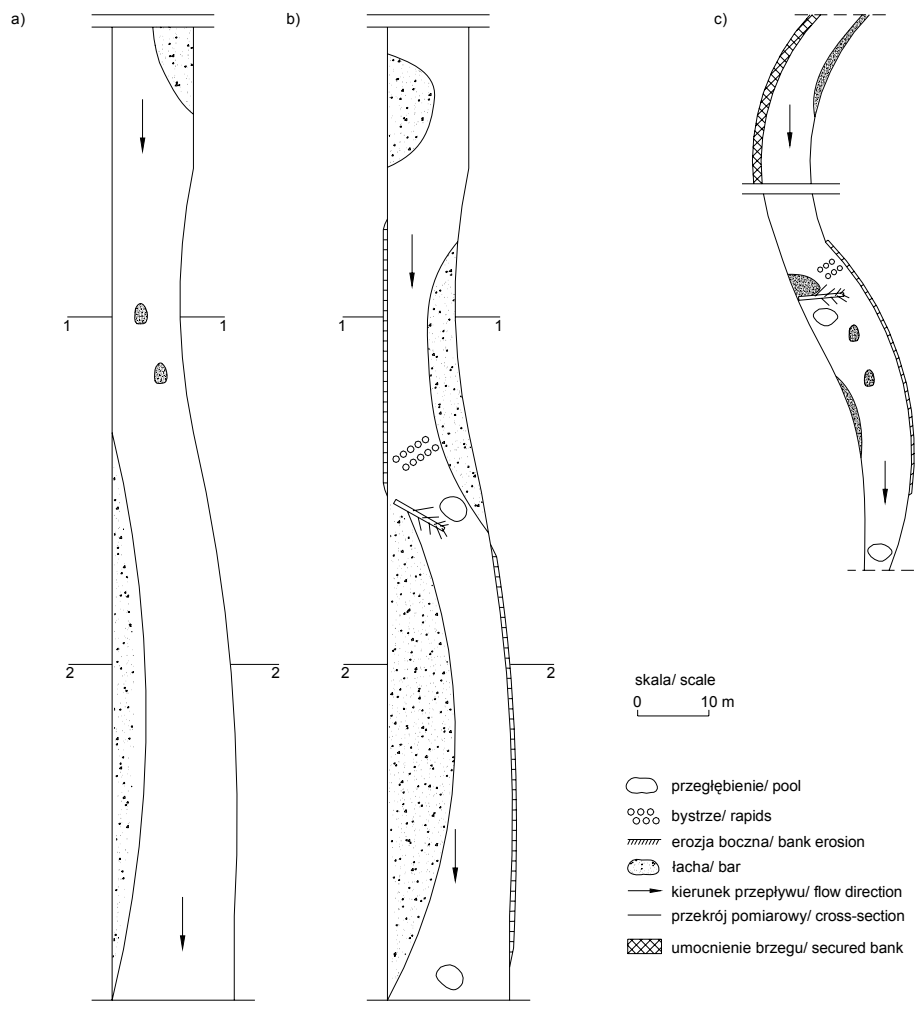
W obrębie badanego odcinka koryto wykształcone jest w sposób wyraźny, co pokazano w postaci szkicu na rysunku 6c. W miejscu zmiany kierunku nurtu, na zakolu, stwierdzono obecność łachy zakolowej o szerokości maksymalnej 0,50 m. Lokalne ślady depozycji w formie niewielkich odsypisk rzędu 0,50–1,0 m obserwowano w korycie w okresie niskich stanów. Powalony do koryta fragment drzewa, stanowiący przeszkodę dla ruchu wody i transportowanego w czasie dużych wezbrań rumowiska, spowodował zmianę warunków hydraulicznych przepływu. W czasie niskich stanów nurt opływa przeszkodę przy lewym brzegu. Bezpośrednio powyżej fragmentu rumoszu drzewnego utworzyło się zbystrzenie (przemiał). Natomiast za przeszkodą powstało przegłębienie (płoso) o głębokości maksymalnej 0,30 m. Zwalony fragment drzewa spowodował depozycję przed przeszkodą transportowanego korytem rumowiska w formie łachy. Drugie przegłębienie, o głębokości 0,40 m, zlokalizowane jest 35,0 m niżej, w miejscu zwężenia koryta. Formy te wpływają na niewyrównany profil podłużny odcinka.

Podczas pomiarów w roku 2005 stwierdzono jedynie niewielkie nadbudowanie korony bystrzyka przy zwalonym drzewie (0,02–0,05 m). Ustalono także obniżenie dna przy lewym brzegu o wartość 0,05 m oraz przesunięcie skarpy lewego brzegu również o 0,05 m.

W 2006 roku zabezpieczono brzeg wklęsły powyżej badanego odcinka opaską kamienną (rys. 6c). Dno odcinka pomiarowego zostało mechanicznie wyrównane, co doprowadziło do zasypania istniejących przegłębień. Miejscowe umocnienie skarpy brzegu powoduje, że strumień płynącej wody atakuje w dalszym ciągu erodowany lewy brzeg na odcinku badawczym.

Na rysunku 6 przedstawiono również szkic sytuacyjny pierwszego odcinka, gdzie pokazano jego morfologię w początkowym okresie (rys. 6a) oraz zmiany, które stwierdzono w drugim roku badań (rys. 6b). W czasie morfologicznie aktywnych wezbrań koryto podlegało procesom erozji bocznej, dennej i depozycji. Skarpa brzegu prawego została wyerodowana na długości 40,0 m (przekrój 1–1) (rys. 3). Stwierdzono przesunięcie skarpy brzegu prawego w przekroju 1–1 o 0,50 m, co spowodowało również rozmycie części drogi asfaltowej przebiegającej po koronie skarpy. Brzeg lewy w przekroju 2–2 również podlegał procesom erozji bocznej (rys. 4). Zaobserwowano przesunięcie skarpy brzegu lewego na długości 60,0 m maksymalnie o 0,60 m. Depozycyjna strefa żwirowa, uformowana bezpośrednio przy stopie skarpy, została nadbudowana warstwą żwiru grubości około 0,10 m. Brzeg prawy w przekroju 2–2 oraz na całym odcinku poniżej przeszkody, którą utworzyło powalone do koryta drzewo, nie podlegał erozji (rys. 6b). Całkowitą wielkość erozji bocznej szacuje się na $V_{EB} = 80,0 \text{ m}^3$. Istotne znaczenie w kształtowaniu odcinka w okresie wezbrań miały procesy erozji dennej i depozycji. Depozycja transportowanego materiału żwirowego doprowadziła do powstania łachy przy lewym brzegu o wymiarach rzędu 35×6 m (przekrój 1–1) (rys. 3). Istniejąca łacha przy prawym brzegu została nadbudowana osiągając maksymalną szerokość 7 m (rys. 6b). Zwalone do koryta drzewo spowodowało zmianę hydraulicznych warunków przepływu.

Bezpośrednio przy przeszkodzie utworzona została forma przemiał-płoso o głębokości wyboju równej 1,0 m (rys. 6b). Kolejny wybój o głębokości 0,8 m zaobserwowano w dolnej części odcinka. Poniżej przeszkody w przekroju 2-2 stwierdzono obniżenie dna w nurcie o 0,23 m (rys. 4). O mocy strumienia podczas wezbrania może również świadczyć fakt przetransportowania elementów betonowych ubezpieczeń na odległość około 10 m. Uśredniony spadek podłużny odcinka w roku 2006 osiągnął wartość $i = 2,80\%$. Objętość zdeponowanego materiału szacuje się na $A = 130,0 \text{ m}^3$, natomiast objętość wyerodowanego denego materiału żwirowego wyniosła $V_{ED} = 30,0 \text{ m}^3$.



Rysunek 6. Szkice odcinków pomiarowych: a) nr 1, 2005, b) nr 1, 2006, c) nr 2
Figure 6. Outlines of measuring sectors: a) No. 1, 2005, b) No. 1, 2006, c) No. 2

WARUNKI HYDRODYNAMICZNE NA BADANYCH ODCINKACH

W strefie odcinka nr 2 nie stwierdzono istotnych zmian w geometrii badanych przekroi. W związku z brakiem zmian morfologicznych pominięto analizę hydrodynamiczną opisywanego odcinka pomiarowego.

Odcinek nr 1 cechuje niewielki spadek dna wynoszący $i = 3,70\%$. Sprzyja on depozycyjnemu zachowaniu potoku na opisywanym odcinku. Warunki hydrauliczne panujące w okresie badań w roku 2005 oraz obliczenia przeprowadzone z wykorzystaniem równania Bagnolda wskazują na całkowity brak transportu rumowiska dennego. Obliczenia potwierdza brak zmian geometrycznych w przekrojach 1–1 i 2–2. Również wyrównany spadek dna nie uległ zmianie. W roku 2006 badany odcinek uległ znacznemu przemodelowaniu. Niewielki spadek tego odcinka wpłynął w zasadniczy sposób na występującą podczas wezbrań moc strumienia i natężenie transportu rumowiska dennego. Morfologicznie aktywne wezbrania opadowe zanotowano jedynie w czerwcu (02–03.2006 oraz 26–30.2006). Moc strumienia przepływów kulminacyjnych wynosiła odpowiednio $\omega = 39,0 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ i $\omega = 61,1 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$. Sumaryczna intensywność transportu rumowiska dennego w szczycie fali wynosiła odpowiednio $i_b = 0,03 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ i $i_b = 0,083 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ (tab. 2).

Tabela 2. Dane hydrodynamiczne dla badanych wezbrań w roku 2006

Table 2. Hydrodynamic data for the studied floods in the year 2006

Okres wezbrań / Period of floods	Q [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$]	h [m]	i [-]	R_h [m]	v [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	τ [$\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$]	ω [$\text{N}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$]	Σi_b [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$]
02–03.06.2006	7,00	0,71	0,0037	0,463	0,910	25,77	23,5	0,006
	13,20	0,93		0,663	1,156	33,76	39,0	0,030
26–30.06.2006	14,00	0,96		0,685	1,182	34,85	41,2	0,036
	22,20	1,20		0,885	1,402	43,56	61,1	0,083

Podsumowując obliczenia i analizę można stwierdzić, że procesy erozyjne dostarczyły następujące objętości materiału: erozja boczna $V_{EB} = 80,0 \text{ m}^3$, erozja denna $V_{ED} = 30,0 \text{ m}^3$. Natomiast objętość materiału zdeponowanego wyniosła $A = 130,0 \text{ m}^3$. Korzystając z obliczeń natężenia transportu rumowiska wg Bagnolda, stwierdzono, że dla szerokości koryta $B = 11,0 \text{ m}$ podczas wezbrań trwających łącznie 69 godzin objętość transportowanego materiału $V_{TB} = 32,8 \text{ m}^3$. Transportowana objętość osadu jest porównywalna z wielkością erozji dennej odcinka, jednak sumaryczny bilans procesów jest wyraźnie dodatni ($EC < A$).

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że mimo regulacji znacznej części potoku Smolnik można stwierdzić na wielu odcinkach degradację dna i brzegów koryta. Podczas prowadzonych badań wystąpiły dwa istotne wezbrania morfologicznie aktywne, które charakteryzowały się przepływami kulminacyjnymi $50\% < p < 40\%$. W wyniku ich oddziaływania stwierdzono na wybranych odcinkach wystąpienie takich procesów jak: erozja boczna, erozja denna, transport rumowiska i jego lokalna depozycja. Podsumowując można sformułować następujące wnioski:

1. Badania terenowe oraz analiza transportu rumowiska z wykorzystaniem równania Bagnolda potwierdzają niestabilność koryta potoku. Moc strumienia podczas kulminacji wezbrań wynosiła $\omega = (1,3-3)\omega_0$, przekraczając krytyczną moc strumienia dla największej frakcji rumowiska o średnicy $d_i = 0,12$ m. Transport rumowiska dennego jest więc procesem występującym na wszystkich badanych odcinkach.

2. Niestabilność koryta może być spowodowana lokalnymi zmianami spadku hydraulicznego, które decydują o dynamice danego odcinka. Jako przykład może służyć odcinek pomiarowy nr 1, którego bilans fluwialny jest depozycyjny, gdyż odznacza się najmniejszą wartością spadku dna.

3. Analiza procesu transportu rumowiska i erozji dennej pokazuje, że cały materiał wyerodowany z dna może zostać przetransportowany. Można więc przypuszczać, że znacznie większa ilość doprowadzana jest do badanego odcinka z górnych partii potoku.

4. Istotną rolę odgrywa proces erozji brzegowej. Roczne tempo migracji bocznej wyrażone wielkością erozji brzegów wynosi 0,40–0,60 m/rok.

5. Istotny wpływ na zmianę warunków morfologicznych i hydraulicznych przepływu ma gruby rumosz drzewny (powalone do koryta potoku drzewa). Depozycja drzew powoduje powstanie formy przemiał-płoso (np. odcinki nr 1 i 2).

BIBLIOGRAFIA

- Bagnold R.A. *An empirical correlation of bedload transport rates in flumes and natural rivers*. Proceedings of the Royal Society of London, A372, 1980, s. 453–473.
- Bartholdy J., Billi P. *Morphodynamics of a pseudomeandering gravel bar reach*. *Geomorphology*, 2002, 42, s. 293–310.
- Dąbkowski L., Skibiński J., Żbikowski A. *Hydrauliczne podstawy projektów wodnomelioracyjnych*. PWRiL, Warszawa 1982.
- Gradziński R., Kostecka A., Radomski A., Unrug R. *Sedymentologia*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1976.
- Krzemień K. *Współczesna dynamika koryta potoku Konina w Gorcach*. *Folia Geogr., Ser. Geogr.-Phys.*, 1976, 10, s. 87–122.
- Krzemień K. *Współczesne zmiany modelowania koryt potoków w Gorcach*. *Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr.*, 1984, 59, s. 83–96.

- Leopold L.B., Wolman M.G. *River channel patterns: braided, meandering, and straight*. US. Geol. Surv. Prof. Paper, 1957, 282-B, s. 39–85.
- Leopold L.B., Bagnold R.A., Wolman M.G., Brush L.M. *Flow resistance in sinuous or irregular channels*. US. Geol. Surv. Prof. Paper, 1960, 282-D, s. 111–134.
- Odgaard A.J. *Flow and bed topography in an alluvial channel bend*. J. Hyd. Eng., 1984, 110(4), s. 521–536.
- Ozga-Zielińska M., Brzeziński J. *Hydrologia stosowana*. PWN, Warszawa 1997.
- Punzet J. *Ocena przepływów wielkich wód małych zlewni górnej Wisły*. Gospodarka Wodna, 1977, 6, s. 161–165.
- Wang Z.Y. *Experimental study on scour rate and river bed inertia*. J. Hydr. Res., 1999, 37(1), s. 17–38.

prof. dr hab. inż. Alicja Michalik
dr inż. Leszek Książek
mgr inż. Łukasz Bąk
mgr inż. Tomasz Tekielak
Akademia Rolnicza w Krakowie
Katedra Inżynierii Wodnej
al. Mickiewicza 24/28 30-059 Kraków
tel. 012 662-40-23

Recenzent: *Prof. dr hab. Włodzimierz Parzonka*