

Łukasz Bąk, Alicja Michalik, Tomasz Tekielak

ANALIZA PROCESÓW EROZJI NA POTOKU SŁOMKA

AN ANALYSIS OF THE EROSION PROCESSES ON THE SŁOMKA STREAM

Streszczenie

Artykuł zawiera wyniki badań przeprowadzonych na potoku Słomka, który jest potokiem o charakterze silnie erozyjnym. Obszar badań został ograniczony do odcinka koryta o długości $l = 367$ m na którym występują lokalne zmiany spadku dna. Na odcinku tym wykonano pomiary profili podłużnych i poprzecznych po przejściu fal wezbrania oraz składu uziarnienia materiału dennego. Stwierdzono, że w przeobrażeniu koryta najważniejszą rolę odgrywa erozja boczna w której dominującą formą jest podcinanie brzegów. Na całym odcinku obserwowano formy denne w postaci przemiał-płoso, które były ściśle związane ze zróżnicowaniem szorstkości, zmianami mocy strumienia, naprężeń stycznych i składu uziarnienia rumowiska. Objętość wyerodowanego materiału i intensywność transportu rumowiska zostały obliczone na podstawie pomiarów.

Słowa kluczowe: erozja brzegowa, przemiał-płoso, transport rumowiska

Summary

The present paper contains results of researches carried out on the Słomka stream, which is very intensively erosive. A study reach is limited to the channel section being 367 meters in length, with local changes of the bed slope. It was surveyed in detail and related to data on discharge, channel changes after floods and grain-size distribution of the bed material we have noted that river bank undercuts were dominant forms of bank erosion which was the most important process for the channel bed modeling. The bed configurations of type chutes and pools were observed because of multiple roughness related to variation in stream power, shear stress, and grain-composition of the bed material. These parameters, longitudinal profiles, volume of eroded material, and intensity of sediment transport have been determined and calculated on the basis of the measuring results.

Key words: bank erosion, chute-pool, sediment transport

WSTĘP

Przebieg procesów fluwialnych uzależniony jest od układu poziomego koryta, od rodzaju aluwiiów tworzących obwód zwilżony koryta i od wielkości przepływów wód występujących podczas wezbrań. Te czynniki decydują o rozporządkalnej mocy strumienia wody. Intensywność procesów erozyjnych, akumulacyjnych i transportu rumowiska w każdej rzece przebiega inaczej [Krzenień 1976, 1984].

Z procesem erozji stowarzyszona jest również lokalna akumulacja materiału dennego rzeki oraz intensywności jego transportu. Po każdym wezbraniu zmienia się konfiguracja dna gdyż jest ona efektem zmian naprężeń stycznych i mocy strumienia [Odgaard 1984; Leopold i in. 1960; Bartholdy, Billi 2002]. Pojawiają się formy denne typu przemiał-płoso, zmienia się również szorstkość dna.

Jako przykład ilustrujący przebieg procesu intensywnej erozji oraz jego wpływ na kształtowanie koryta w prezentowanym artykule przedstawiono wyniki badań odcinka potoku Słomka.

CEL I METODYKA BADAŃ

Celem badań jest analiza procesu erozji na potoku Słomka po przejściu dwóch fal wezbraniowych. Badania obejmowały zmiany morfologiczne koryta oraz warunków hydrodynamicznych panujące podczas wezbrań. Wykonano następujące badania:

– pomiary geodezyjne przekroji poprzecznych koryta oraz profilu podłużnego. Zmiany profili pomierzono wykorzystując metodę prętów wbitych prostopadle w skarpy brzegów, których odsłonięcie mogło pokazać wielkość cofnięcia brzegu,

– metodą konwencjonalną określono skład uziarnienia materiału dennego oraz obliczono wskaźniki charakteryzujące ten materiał [Gradziński i in. 1976; Dąbkowski i in. 1982].

Na podstawie danych z IMGW obliczono wielkość wezbrań przy zastosowaniu modelu geomorfologicznego [Ozga-Zielińska, Brzeziński 1997], oraz wielkości parametrów hydrodynamicznych przepływu takich jak: naprężenia styczne $\tau = \gamma \cdot h \cdot I$, moc strumienia $\omega = \tau \cdot v$, prędkość średnia $v = C \cdot \sqrt{R_h \cdot I}$ oraz intensywność transportu rumowiska wlezonego zgodnie z równaniem Bagnolda (1980).
gdzie:

c – współczynnik do wzoru na średnią prędkość przepływu wg Chézy'ego,

h – napelnienie, i – spadek zwierciadła wody [m],

R_h – promień hydrauliczny dla przekroju cieku [m],

γ – ciężar właściwy wody [N m^{-3}].

CHARAKTERYSTYKA OBSZRU BADAŃ

Potok Słomka jest lewobrzeżnym dopływem rzeki Dunajec o całkowitej długości $l = 25,20$ km, płynie on w kierunku południowo-wschodnim. Partie źródłowe położone są na wysokości 888 m n.p.m. W górnym biegu potok tworzy zwarte i wcięte koryto. W biegu środkowym i dolnym dno doliny stopniowo się rozszerza, potok płynie korytem o niskich brzegach, wykazując tendencję do meandrowania. Całkowita powierzchnia zlewni wynosi $69,90$ km², położona jest ona w przedziale wysokości 375–888 m n.p.m., przy czym strefą dominującą są wzniesienia w granicach 4007–00 m n.p.m. Przeciętna roczna suma opadów wynosi 710 mm. Badany odcinek o długości 367 m znajduje się poniżej mostu w miejscowości Siekierzyna (rys. 1).

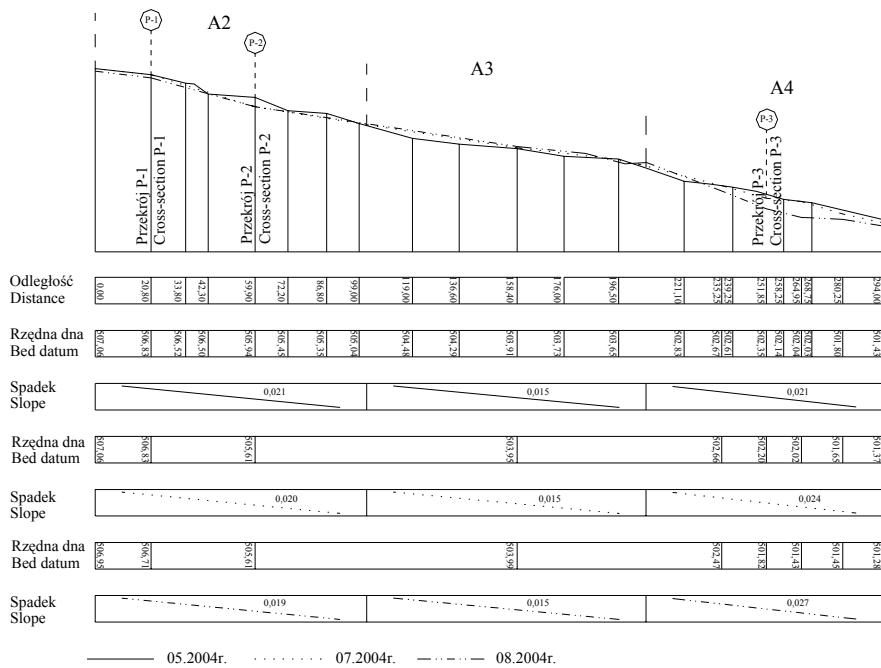


Rysunek 1. Fragment badanego odcinka
Figure 1. Part of studied section

W okresie badań zaobserwowano dwa wezbrania o natężeniu przepływu $Q = 8,20$ m³·s⁻¹ i $Q = 28,60$ m³·s⁻¹. Po każdym wezbraniu wykonano pomiary geodezyjne profilu podłużnego, przekroji poprzecznych oraz składu granulometrycznego rumowiska.

ZMIANY W PROFILU PODŁUŻNYM

Badany odcinek podzielono na trzy części związane z układem poziomym cieku to jest: sekcja A₃ o przebiegu prostoliniowym o długości 105 m oraz sekcje o przebiegu krzywoliniowym A₂, A₄. Stwierdzono lokalne zmiany spadku dna w granicach od $I = 1,5\%$ (sekcja A₃) do $I = 2,7\%$ (sekcja A₄). Najmniejsze zmiany spadku podłużnego były obserwowane w sekcji A₃ i wyniosły one 0,1% podczas pomiarów. Największa zmiana widoczna była w sekcji A₄ i wyniosła ona około 0,6%. W obrębie tej sekcji można zauważyć lokalne obniżenie rzędnej dna o 0,80 m (rys. 2).



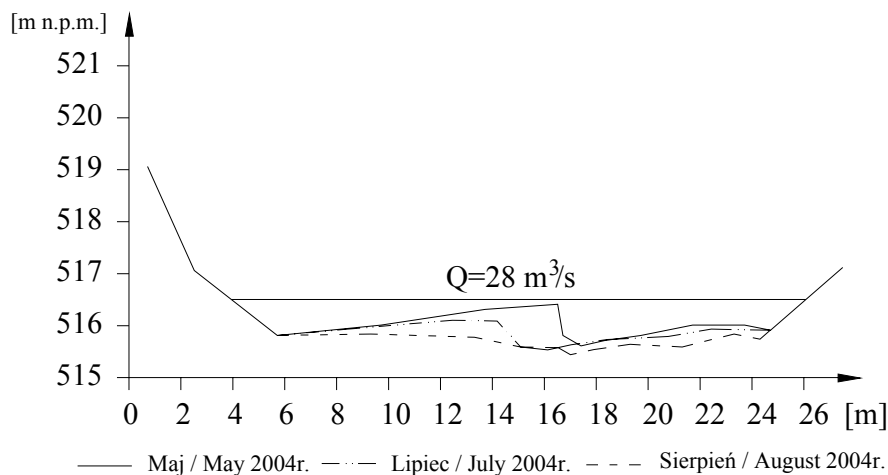
Rysunek 2. Profil podłużny potoku Słomka
 Figure 2. Longitudinal profile of the Słomka stream

ZMIANY EROZYJNE W PRZEKROJACH POPRZECZNYCH

Z przeprowadzonych pomiarów wynika, że w sekcjach A₂ i A₄ silnie rozmywany był brzeg wklęsły. Odcinek A₃ posiadał kształt koryta zbliżony do trapezowego o stromo opadających obu skarpach i szerokości koryta od 25 m do

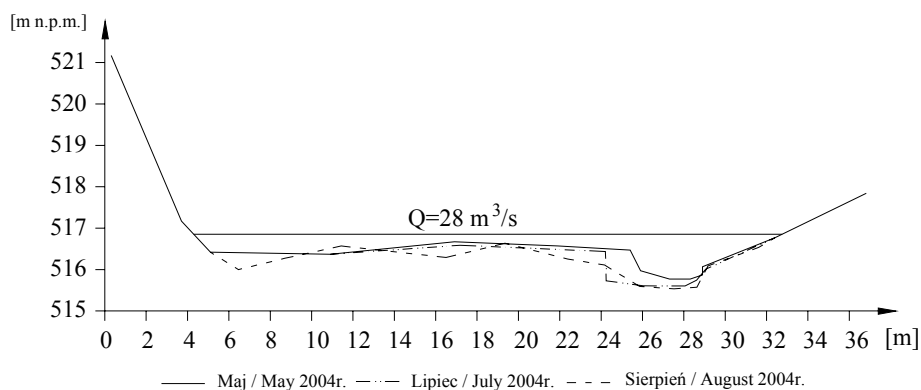
30 m. W obrębie odcinka występowały łachy środkowe o długości od 10 m do 30 m i szerokości nie przekraczającej 2,0 m. Odcinek A_2 odznaczał się maksymalną szerokością około 35 m i nieregularnym profilem poprzecznym. Prawa skarpa posiadała profil wklęsły z widocznymi przewieszkami darniny o szerokości dochodzącej do 0,50 m i długości od 1,5 m do 2,0 m. W jej pobliżu przebiegał główny nurt potoku poprzedzielany ławicami środkowymi ułożonymi skośnie w stosunku do brzegu wypukłego. Takie położenie łach powodowało odchylenie głównego nurtu w kierunku skarpy powodując jej rozmywanie. Lewa skarpa miała wysokość od 3,0 m do 5,0 m a jej nachylenie do $2/3$ wysokości wynosiło około 70° , licząc od niwelety dna, pozostała część nachylona była pod kątem 90° . Odcinek A_4 był odcinkiem zamykającym obszar objęty pomiarami. Jego brzeg wklęsły był erodowany na całej długości. Rozmywana skarpa miała wysokość dochodzącą do 4,5 m. U jej podstawy była wyraźnie wykształcona „stopa skarpy” o szerokości mierzonej przy podstawie od 2,0 m do 3,0 m i wysokości od 1,5 m do 2,3 m. Powyżej skarpa przyjmowała prawie pionowe nachylenie. Na całej długości obserwowanego brzegu występowały nawisy darniowe o szerokości dochodzącej do 0,3 m. Szerokość koryta wynosiła około $B = 20\text{--}30$ m. Skarpa przeciwległego brzegu miała bardzo łagodne nachylenie i wysokość nieprzekraczającą 1,5 m. W pobliżu brzegu wypukłego znajdowała się łacha zakolowa o wymiarach: 40,0 m x 22,0 m x 0,5 m, natomiast główny nurt płynął przy brzegu wklęsłym. Cechą charakterystyczną dla całego 367 metrowego odcinka było naprzemiangle występowanie form dennych typu plosoprzemiał. Największe zagęszczenie tych form występowało na odcinku A_2 , gdzie wystąpiły trzy zespoły plosoprzemiał oddalone od siebie średnio o wartość równą trzem szerokościom koryta. Na pozostałych odcinkach odległość między tymi formami uległa wydłużeniu i wynosiła około $l = 4B\text{--}5B$.

Wezbranie zaobserwowane w lipcu 2004 r. o natężeniu przepływie równym $Q = 8,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ spowodowało następujące zmiany koryta potoku Słomka. W sekcji A_2 na długości 102 m w wyniku intensywnego podcinania znacznemu przemieszczeniu uległ brzeg wklęsły. Wartość cofnięcia wynosiła od 0,10 m do 2,30 m w części środkowej (rys. 3). Kubatura odspojonego materiału została oszacowana na $V_E = 35,60 \text{ m}^3$. Pręty zamontowane w skarpie znajdujące się powyżej zwierciadła wody wezbraniowej zostały nieznacznie odsłonięte od 0,0 m do 0,03 m (objętości materiału odspojonego $V_E \approx 0,04 \text{ m}^3$ jest nieporównywalnie mniejsza w tym przypadku od objętości materiału wyerodowanego przez ciek).



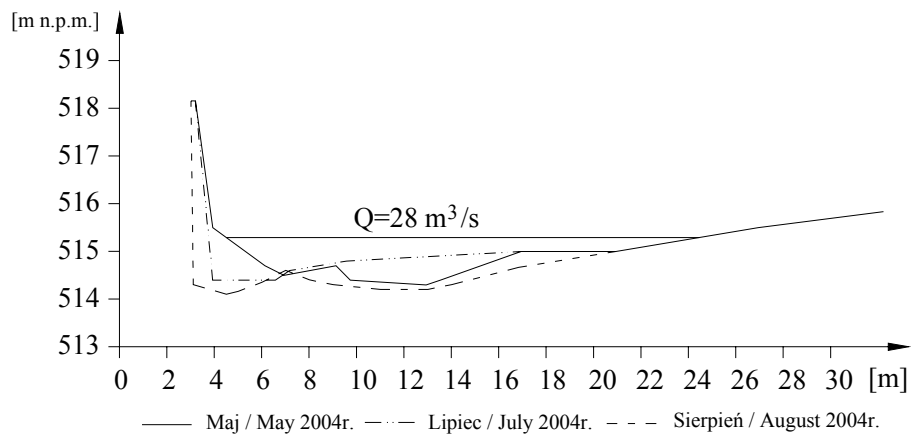
Rysunek 3. Przekrój poprzeczny nr P-1.
Pomierzony na potoku Słomka – odcinek pomiarowy A₂
Figure 3. Cross-section No. P-1.
Measured on the Słomka stream – measuring length A₂

Prawy brzeg nie uległ tak znacznemu rozmyciu. Jedyne lokalnie powstały niewielkie wcięcia, usytuowane powyżej pni drzew zwisających z brzegu. Całkowita objętość tych form została oszacowana na $V = 2,50 \text{ m}^3$. Maksymalna wartość obniżenia niwelety dna na tym odcinku jaka została zaobserwowana była równa $h_d = 0,25 \text{ m}$ (rys. 4).



Rysunek 4. Przekrój poprzeczny nr P-2. Pomierzony na potoku Słomka – odcinek pomiarowy A₂
Figure 4. Cross-section No. P-2. Measured on the Słomka stream – measuring length A₂

Odcinek A_3 pełnił funkcję akumulacyjną. Nadbudowaniu uległa łacha usytuowana wzdłuż lewego brzegu, oraz zaobserwowano nowe zgrupowania łach środkowych. Na tym odcinku dno uległo nadbudowaniu o około 0,10 m. Szacunkowa ilość zdeponowanego materiału była równa $V_A = 28,0 \text{ m}^3$. W stosunku do danych wyjściowych nie zauważono powstania podcięć skarp brzegowych w obrębie tej sekcji. Podczas trwania wezbrania materiał zalegający przy brzegu wklęsłym (sekcja A_4) w części centralnej łuku został rozmyty (rys. 5). Dno uległo obniżeniu średnio o 0,08 m oraz nastąpiło przesunięcie nurtu w pobliże lewego brzegu. Cofnięcie skarpy wynosiło maksymalnie 0,20 m do wysokości około 1,0 m ponad rzędną dna. Powyżej tej wartości nie przekroczyło 0,10 m. Łacha znajdująca się przy brzegu wypukłym została nadbudowana. Objętość zakumulowanego w tej części materiału wyniosła $V_A = 18,50 \text{ m}^3$. Poniżej ławicy nurt uległ odbiciu w kierunku przeciwległej skarpy usuwając znajdujący się tam materiał o objętości $V_D = 14,85 \text{ m}^3$.



Rysunek 5. Przekrój poprzeczny nr P-3. Pomierzony na potoku Słomka – odcinek pomiarowy A_4

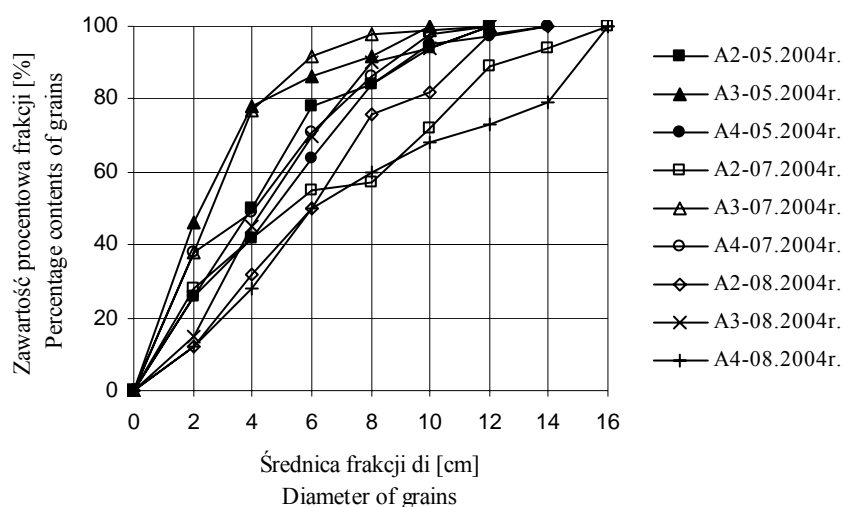
Figure 5. Cross-section No. P-3. Measured on the Słomka stream – measuring length A_4

Wezbranie zaobserwowane w sierpniu 2004 r. o natężeniu przepływu około $Q = 28,60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ spowodowało w obrębie sekcji A_2 lokalne pogłębienie koryta. Obniżenie rzędnej dna wynosiło maksymalnie 0,20 m w górnej części odcinka, a w środkowej dochodziło nawet do 0,50 m. W obrębie tej sekcji koryto uległo rozgałęzieniu. Przy napełnieniu nie przekraczającym 0,25 m woda przepływała przy brzegu wypukłym. Po przekroczeniu tej wartości główny nurt uległ przemieszczeniu i przebiegał nowo powstałym zagłębieniem o przekroju trójkątnym, wyciętym wzdłuż brzegu wklęsłego. W obrębie tej sekcji został osadzony rumosz drzewny, przed którymi tworzyły się zagłębienia o eliptycz-

nym kształcie. Były one wypełnione materiałem drobnoziarnistym (miąższość wypełnienia dochodziła do 0,20 m), o widocznym zróżnicowaniu uziarnienia w pionie (największe średnice znajdowały się najniżej wraz ze zbliżaniem się do powierzchni średnica ziaren ulegała zmniejszeniu). Podobne zjawisko było obserwowane w zagłębieniach powstałych w dnie, które nie były stowarzyszone z żadną przeszkodą. Średnica ziaren materiału wypełniającego obserwowane zagłębienia była mniejsza od 0,02 m. Proces zamulania zachodził podczas opadania zwierciadła wody w końcowej fazie wezbrania. W wyniku lokalnych zaburzeń w przepływie powodowanych przez materiał organiczny zalegający na dnie, prędkość strumienia gwałtownie malała co sprzyjało sedymentacji materiału transportowanego w danych warunkach hydrodynamicznych. Analizując uzyskane wyniki obliczeń proces ten musiał zachodzić przy wysokości napelnienia nie przekraczającym $h = 0,20$ m, przy danym spadku. Objętość materiału pochodzącego z erozji skarp i dna koryta wyniosła około $V_{EB} = 93,0$ m³, z tego $V_A = 28,0$ m³ została zdeponowana w granicach sekcji. Odcinek A₃ uległ przeobrażeniu z prostoliniowego w krzywoliniowy. Nurt uległ przemieszczeniu w kierunku brzegu prawego powodując jego podcinanie na długości $l = 18,0$ m. Przy brzegu wypukłym powstała łacha o wymiarach 27,0 m x 15,0 m x 0,4 m. Objętość zdeponowanego materiału wynosiła około $V_A = 45,0$ m³ i była zdecydowanie większa od objętości materiału odspojonego od skarpy wklęsłej $V_E = 6,40$ m³. W sekcji A₄ stroma skarpa tworząca lewy wklęsły brzeg nie była równomiernie rozmywana. W jej górnej części na odcinku o długości około 10 m maksymalne odsłonięcie prętów pomiarowych wyniosło 0,11 m, w pozostałych części pionu pomiarowego wielkości odsłonięcia zamontowanych sond nie przekroczyła 0,07 m. W odległości około 1,0 m od rozmywanego brzegu, na koronie bystrzyka nastąpiła akumulacja materiału dennego, w wyniku której powstała łacha żwirowa o wymiarach 12 m x 3 m x 0,5 m, trójkątnym kształcie przekroju poprzecznego z maksymalną wysokością przesunięta w kierunku lewego brzegu. Wierzchnia warstwa łachy składała się z ziaren o średnicy przekraczającej $d_i = 0,06$ m, poukładanych dachówkowato względem siebie w kierunku zgodnym z prądem strumienia. W części środkowej łuku skarpa uległa znacznemu rozmyciu. Wielkość przemieszczenia wynosiła od 0,76 m do 0,97 m. W dnie została wycięta rynna erozyjna o długości, szerokości i głębokości 12,0 m x 0,70 m x 1,5 m (rys. 5), o maksymalnym zagłębieniu zlokalizowanym przy podcinanej skarpie lub w centralnej części przekroju poprzecznego rynny. Łacha meandrowa znajdująca się przy brzegu wypukłym została rozmyta w jej górnej części, zaś w pozostałej nastąpiła akumulacja materiału mineralnego. Objętość materiału dostarczonego ze skarp do cieku na tym odcinku wyniosła $V_{EB} = 42,8$ m³, wyeorodowanego z dna była równa $V_D = 7,80$ m³. Szacunkowa objętość rumowiska zakumulowanego $V_A = 8,50$ m³. Poniżej badanego przekroju zaobserwowano powstanie nowej formy akumulacyjnej powstałej przy brzegu wypukłym na której została zdeponowana znaczna ilość materiału organicznego jak również mineralnego (bloki darniny o objętości dochodzącej do 0,015 m³).

SKŁAD GRANULOMETRYCZNY RUMOWISKA

Rumowisko denne (w obrębie badanego odcinka) charakteryzowało się bardzo słabym wysortowaniem i dużą różnoziarnistością (rys. 6). Świadczyły o tym wartości stopnia wysortowania oraz wskaźnika różnoziarnistości zawierające się w granicach $u = 5,2$ do $u = 12$ (stopień wysortowania) oraz od $\varepsilon = 17$ do $\varepsilon = 47$ (wskaźnik różnoziarnistości).



Rysunek 6. Krzywa uziarnienia materiału dennego
Figure 6. Grain-size distributions

Materiał gruboziarnisty pochodzi głównie ze skarp brzegowych, a w małej ilości z dopływów bocznych (wynika to z braku charakterystycznych dla tego procesu stożków napływowych powstających u wylotu dolin). Podcinane skarpy brzegowe zbudowane są ze żwirów o różnej frakcji i stopniu obróbki jak również z ostrokrawędzistych okruchów skalnych należących do frakcji kamienistej i żwirowej. Różnice w składzie uziarnienia rumowiska w poszczególnych częściach badanego odcinka są potwierdzeniem zmian szorstkości, które są również efektem zmian naprężeń stycznych i prędkości przepływu.

WARUNKI HYDRODYNAMICZNE I TRANSPORT RUMOWISKA

Warunki hydrodynamiczne panujące w cieku przy przepływie $Q = 8,20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (jest to przepływ mniejszy od $Q_{50\%}$), były wystarczające do uruchomienia transportu materiału dennego (tab. 1).

Tabela 1. Parametry hydrodynamiczne charakterystyczne dla wezbrań
Table 1. Hydrodynamic data characteristic for the freshets

Odcinek Section	Q [m ³ ·s ⁻¹]	U [m·s ⁻¹]	Re [10 ⁶]	Fr [-]	τ [N·m ⁻²]	ω [N·m ⁻¹ ·s ⁻¹]	Σi _b [kg·m ⁻¹ ·s ⁻¹]
A ₂	8,20	1,81	0,37	1,24	51,30	92,80	0,52
	28,60	2,74	1,11	1,45	100,60	275,70	2,18
A ₃	8,20	1,46	0,28	0,87	32,50	47,40	0,24
	28,60	2,24	0,81	1,09	61,00	136,70	1,09
A ₄	8,20	2,01	1,35	0,47	175,80	353,40	3,03
	28,60	2,87	2,83	0,65	257,80	739,80	5,91

Obliczone maksymalne wartości naprężeń stycznych zawierały się w przedziale od $\tau_o = 32,50 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$, na odcinku A₃ do $\tau = 175,80 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$, na odcinku A₄ co stanowiło od 104% do 560% wartości naprężeń krytycznych przy których następuje ruch frakcji d₅₀. Maksymalna wartość mocy strumienia dla poszczególnych odcinków pomiarowych wahała się w zakresie $\omega = 47,4\text{--}353,4 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$. Maksymalna intensywność transportu obliczona dla sekcji A₄ wyniosła $i_b = 3,30 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$.

Przy przepływie około $Q = 28,60 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ prędkości średnie obliczone dla poszczególnych sekcji zawierały się w przedziale $v = 2,24\text{--}2,87 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ i były znacznie większe od prędkości krytycznej, która dla frakcji $d_i = 0,09 \text{ m}$ wynosi około $v_k = 1,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Maksymalne naprężenia styczne panowały w sekcji A₄ i były równe $\tau_o = 257,80 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$. W sekcjach scharakteryzowanych jako redepozycyjno-erozyjne wartość naprężeń stycznych nie przekraczała $\tau_o = 61,00 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$ i stanowiły one około 24% wartości naprężeń stycznych obserwowanych w sekcji A₄. Moc strumienia dla przepływu kulminacyjnego zmieniała się w granicach $\omega = 136,70\text{--}739,80 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ w poszczególnych sekcji pomiarowych. Maksymalna intensywność transportu zawierała się odpowiednio w przedziale od $i_b = 1,09 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ (sekcja A₃) $i_b = 5,91 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ (sekcja A₄).

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Badany odcinek potoku Słomka ma niestabilne koryto na całej długości, co jest spowodowane przede wszystkim lokalnymi zmianami spadku i intensywnym procesem erozji. Dominującym dla przeobrażeń koryta okazał się proces erozji bocznej, który wraz z materiałem pochodzącym z podcięć brzegów opadającym na dno potoku powoduje lokalne zmiany nie tylko szorstkości ale również wielkości hydrodynamicznych takich jak: naprężenia styczne, moc strumienia, prędkość średnia. Zmiany te w sytuacji tak dużych spadków jakie występują na badanym odcinku ($I = 1,5\%\text{--}2,7\%$) sprzyjają powstawaniu takich form dennych jak płoso-przemiał. Tego typu formy występują naprzemianlegle na całej długo-

ści i prowadzą do zwiększenia się zmian nie tylko szorstkości ale również lokalnych zmian uziarnienia.

Analizując wyniki badań na silnie erozyjnym odcinku potoku Słomka można stwierdzić że transport materiału dennego występuje już przy przepływie mniejszym od $Q_{50\%}$.

Naprężenia styczne podczas kulminacji wezbrań wyniosły $\tau_0 = (1,04 - 5,6)\tau_k$, przekraczając krytyczne naprężenia styczne dla frakcji rumowiska o średnicy d_{50} . Wraz ze wzrostem przepływu obserwowano przyrost transportu co prowadziło do nasilenia procesów erozji bocznej. Gruboziarnisty materiał pochodzący z obsunięć skarp był przetransportowany i akumulowany w obrębie sekcji położonych poniżej silnie erodowanych odcinków.

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, 42, 2002, s. 293–310.
- Dąbkowski L., Skibiński J., Żbikowski A. 1982. *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., 10, 1976, s. 87–122.
- Krzemień K. *Współczesne zmiany modelowania koryt potoków w Gorcach*. Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 59, 1984, s. 83–96.
- Leopold L. B., Bagnold R. A., Wolman M. G., Brush L. M. *Flow resistance in sinuous or irregular channels*. US. Geol. Surv. Prof. Paper, 282-D, 1960, s. 111–134.
- Odgaard A. J. *Flow and bed topography in an alluvial channel bend*. J. Hyd. Eng., 110(4), 1984, s. 521–536.
- Ozga-Zielińska M., Brzeziński J. *Hydrologia stosowana*. PWN, Warszawa 1997.

prof. dr hab. inż. Alicja Michalik
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