INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH

Nr 4/2/2006, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 193–202
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

Tomasz Tekielak, Alicja Michalik, Łukasz Bąk

MORFOLOGICZNE SKUTKI WEZBRAŃ NA ODCINKU KORYTA RZEKI ŁOSOSINY

Streszczenie

Wezbrania wód, powodując okresowe zmiany warunków hydrodynamicznych w korycie rzecznym przyczyniają się do intensywnych jego przeobrażeń. Zachodzące wówczas procesy fluwialne mają decydujący wpływ na tworzenie form erozyjnych i depozycyjnych w korycie. Wielkość tych form zależy również od transportu rumowiska. W prezentowanej pracy pokazano wyniki badań wykonanych na rzece Łososinie, na zakolu o długości 400 m w latach 2004–2005. Zmiany morfologiczne koryta spowodowane przez 3 wezbrania skorelowano z materiałem archiwalnym. Oceniono wielkość erozji bocznej, która spowodowała istotne poszerzenie koryta. Określono zmieniające się warunki hydrauliczne oraz oceniono intensywność transportu rumowiska.

Słowa kluczowe: erozja boczna, transport rumowiska, zmiany morfologiczne

WSTĘP

Morfologiczna działalność fal wezbraniowych w korycie rzecznym związana jest z procesami erozyjnymi i transportem rumowiska. Ocena skutków tej działalności i odtworzenie mechanizmu tych procesów możliwe są po przejściu wezbrań. Ponieważ rozpoznanie tych procesów jest trudne, stosowane są badania laboratoryjne na modelach fizycznych [Odgaard, Bergs 1988] lub numerycznych [Odgaard 1989]. Nie prowadzi to jednak z reguły do ogólniejszych twierdzeń [Leopold. Wolman 1960; Kaszowski, Kotarba 1970; Odgaard 1987].

Prezentowany artykuł zawiera wyniki badań wybranego odcinka rzeki Łososiny prowadzonych w latach 2004–2005. Celem pracy była ocena zmian morfologicznych w korycie rzeki Łososiny wywołanych przez fale wezbraniowe. Na wybranym odcinku prowadzono pomiary geodezyjne w przekrojach poprzecznych, co umożliwiło określenie tych zmian. Ustalono warunki hydrologiczne i hydrauliczne towarzyszące wezbraniom. Pozwoliło to na obliczenie intensywności transportu rumowiska, do którego zastosowano zmodyfikowane równanie Meyera – Petera i Müllera [Michalik 1990].

CHARAKTERYSTYKA ZLEWNI RZEKI ŁOSOSINY

Rzeka Łososina jest lewobrzeżnym dopływem Dunajca, uchodzi do niego poniżej zapory wodnej w Rożnowie w cofce zbiornika Czchów. Wypływa na wysokości 760,00 m n.p.m. z północno-wschodnich stoków Jasienia. Całkowita powierzchnia zlewni wynosi A = 410,60 km^2, długość cieku od ujścia do źródeł 56,0 km. Przeciętny spadek cieku wynosi 9,5‰ [Stawnicka-Stolarska 1967].

Zlewnia rzeki Łososiny znajduje się w obrębie Beskidu Wyspowego. Najwyższe wzniesienia stanowiące część południowo-zachodniej granicy zlewni to przede wszystkim: Mogilenica 1170 m n.p.m., Ćwilin 1072 m n.p.m., Jasień 1062 m n.p.m. Obszar zlewni tworzą skały fliszowe płaszczowiny magurskiej wieku głównie kredowego i paleogeńskiego, którą reprezentują dwie podjednostki: brzeżna – raczańska północna i wewnętrzna – raczańska południowa [Cieszkowski 1992].

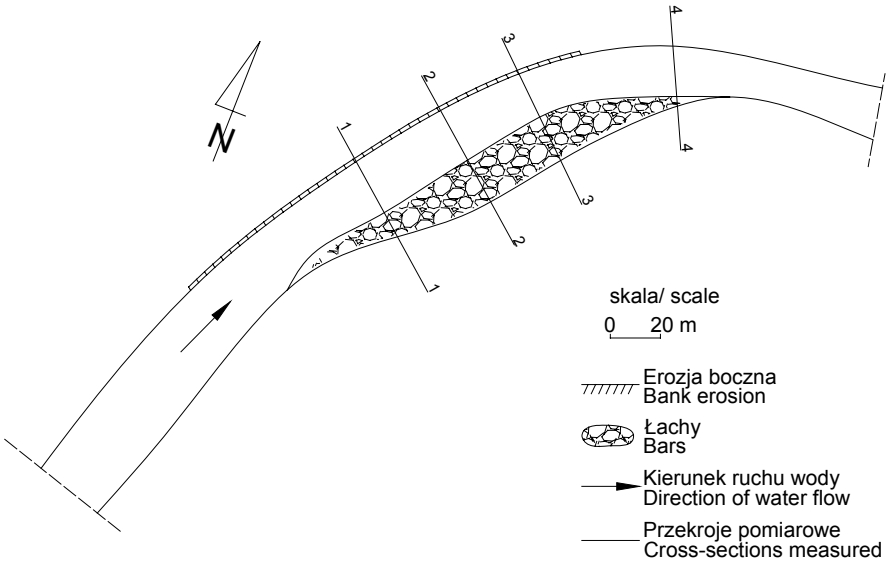
Dolne partie stoków o niewielkich nachyleniach zbudowane są z naprzemianległych warstw łupków i piaskowców serii podmagurskiej. Partie górne stoków o nachyleniu dochodzącym do 30° budują bardziej odporne gruboławicowe piaskowce serii magurskiej.

Cechą charakterystyczną dorzecza Łososiny jest obecność na stokach znacznej liczby osuwisk, przyczyniających się do współczesnego modelowania rzeźby, stanowiąc jednocześnie najbardziej efektywny czynnik kształtowania stoków Karpat fliszowych. Uaktywnienie starych osuwisk, jak również tworzenie nowych form wywołane są wysokimi opadami [Gorczyca 2004].

OPIS BADANEGO ODCINKA RZEKI ŁOSOSINY

Badany odcinek zlokalizowany jest między 27. i 28. kilometrem i obejmuje wyraźnie wykształcone zakole o długości 400 m, na którym rozmieszczono 4 przekroje poprzeczne w miejscach erozji bocznej brzegu zewnętrznego (rys. 1). Lokalizacja wybranych stanowisk

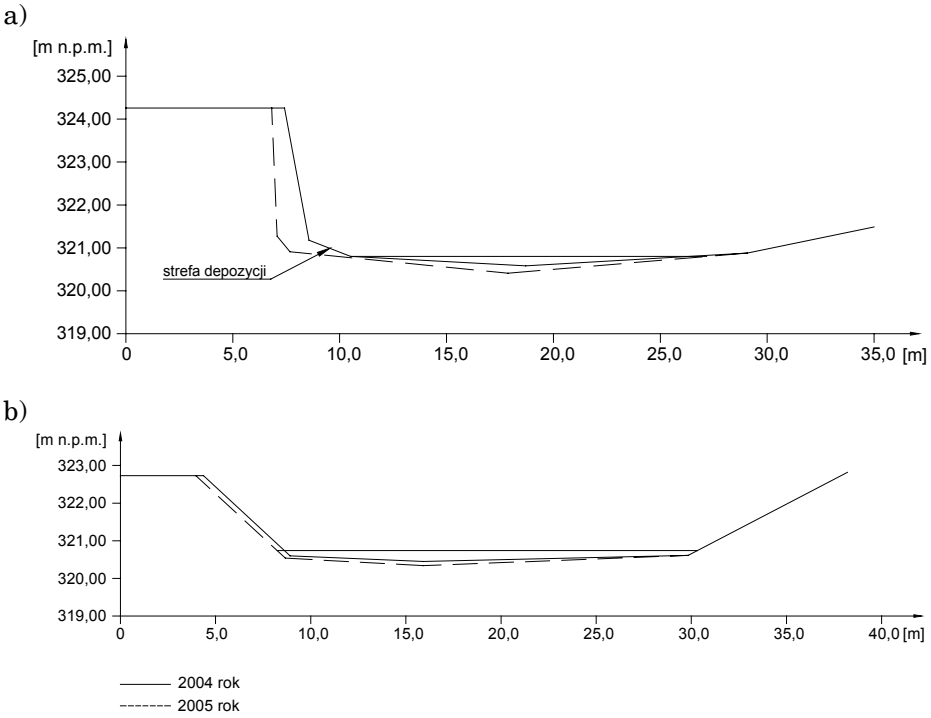
pomiarowych umożliwiła badanie i obserwację zmian zarówno na silnie erodowanym brzegu wklęsłym o wysokości 2–4 m, jak również analizę stabilności dna. Wyznaczone przekroje poprzeczne skorelowano z danymi archiwalnymi udostępnionymi przez Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Krakowie (2003). Dzięki temu możliwe było wnioskowanie o przebiegu procesów fluwialnych obejmujących brzeg wklęsły, na którym występowała erozja boczna oraz przeciwległy brzeg wypukły.



Rysunek 1. Zarys badanego odcinka rzeki Łososiny
Figure 1. Outline of the Łososina River studied section

Szerokość koryta przy napełnieniu np. h = 0,40 m wynosi w = 16–22 m (rys. 2a,b). Wyznaczone geodezyjnie przekroje poprzeczne są asymetryczne (tak jak przekrój na rys. 2a). Badane zakole zamyka przekrój o kształcie trapezowym (rys. 2b). Lokalny spadek uśredniony na tym odcinku równy jest i = 3,25 ‰. Miara aktywności, czyli szybkości migracji zakoli wyrażona stosunkiem promienia zakola (r) i szerokości koryta (w) wynosi dla analizowanego odcinka r/w = 6. Brzeg wypukły porastają krzewy i drzewa. Jest on wykształcony w sposób typowy dla odcinków zakolowych (meandrowych). Analizowany brzeg wklęsły zbudowany jest z materiału żwirowego. Krzywa uziarnienia

charakteryzująca materiał denny pokazuje, że 58% stanowią frakcje grube o średnicach d > 0,08 m. Natomiast zawartość frakcji o średnicach d < 0,02 m wynosi tylko 10%. Średnica nominalna d_{50} = 0,085 m, a odchylenie standardowe krzywej przesiewu σ = 1,86.



Rysunek 2. Przekroje poprzeczne rzeki Łososiny
Figure 2. Cross – sections of the Łososina river

CHARAKTERYSTYKA WEZBRAŃ W BADANYM OKRESIE

Ze względu na położenie odcinka pomiarowego w części niekontrolowanej zlewni, w celu oszacowania przepływów występujących w okresie badań, zdecydowano się na odtworzenie przepływów w przekroju Piekiełko zlokalizowanym w km 35+400, zamykającym zlewnię o powierzchni A = 155 km^2. Obecnie zlewnia kontrolowana jest przez IMGW jedynie w przekroju Jakubkowice, zlokalizowanym w km 6+800, zamykającym zlewnię o powierzchni A = 343,00 km^2.

W celu odtworzenia przepływów w przekroju Piekiełko zbadano korelację przepływów pomiędzy dwoma przekrojami Jakubkowice i Piekiełko z lat 1979–1983 dla przepływów $Q < 20$ m^3·s^{-1} oraz z lat 1969–1983 dla przepływów wyższych. Stosując opisaną metodę, uzyskano dla niskich przepływów zależność ($y = 0{,}5017x+0{,}0006$; $R^2 = 0{,}8634$). Natomiast dla wyższych przepływów związek pomiędzy przekrojami był następujący ($y = 0{,}417x+2{,}5832$; $R^2 = 0{,}6549$). Przedstawiona metoda pozwala osiągnąć szacunkowe wartości przepływów w przekroju powyżej badanego odcinka odległym o 7,6 km, dysponując tylko wartościami z przekroju Jakubkowice. Następnie, wykorzystując metodę zlewni różnicowej przeliczono wartości przepływu do badanego odcinka.

W okresie badań w roku 2004 zaobserwowano 2 wezbrania – wezbranie kwietniowe trwające 3 dni o przepływie kulminacyjnym $Q = 12{,}94$ m^3·s^{-1} oraz 5–dniowe wezbranie lipcowe z kulminacją przepływu $Q = 122{,}00$ m^3·s^{-1}. W marcu 2005 roku odnotowano morfologicznie aktywne wezbranie roztopowe o przepływie kulminacyjnym wynoszącym $Q = 67{,}46$ m^3·s^{-1} oraz wezbranie opadowe w czerwcu z przepływem kulminacyjnym $Q = 123{,}46$ m^3·s^{-1}. Znacznie mniejsze, nieaktywne morfologicznie podniesienie poziomu wody odnotowano w maju, podczas którego obliczony przepływ wynosił $Q = 24{,}00$ m^3·s^{-1}.

WYNIKI POMIARÓW I OCENA INTENSYWNOŚCI PROCESÓW FLUWIALNYCH

Obserwacje wyjściowe przeprowadzono w kwietniu 2004 roku. Stanowią one podstawę do interpretacji badanego odcinka pod względem zmian w geometrii, jak również w celu oszacowania natężenia procesów erozji bocznej i dennej oraz depozycji rumowiska. Cechą charakterystyczną odcinka pomiarowego była wyraźnie wykształcona strefa depozycji o szerokości 1–2 m, utworzona bezpośrednio przy stopie skarpy brzegu wklęsłego (rys. 2a). Materiałem tworzącym tę strefę depozycji był żwir przemieszany z drobniejszym materiałem piaszczystym, pochodzący z erodowanego brzegu i deponowany w momencie utraty zdolności transportowej strumienia. Opisywana strefa depozycji obejmowała odcinek badany na długości 80 m między przekrojami 1–1 do 3–3, co świadczy o erozji zachodzącej na znacznej długości brzegu, a nie tylko punktowo. Nie stwierdzono śladów lokalnej erozji bocznej w postaci nisz brzegowych czy wyrw powstałych z grawitacyjnego obrywu mas brzegowych do koryta. Dlatego należy

sądzić o sukcesywnym erodowaniu brzegu prowadzącym do poszerzania koryta oraz powodującym straty powierzchni użytkowanej rolniczo.

Obserwacje prowadzone na początku lipca 2004 roku nie wykazały zmian geometrycznych badanego brzegu. Rozwój roślinności trawiastej przy stopie skarpy brzegu lewego w obrębie strefy depozycyjnej sprzyjał stabilności zdeponowanego materiału. Porastająca tę strefę roślinność osiągała wysokość do kilkudziesięciu centymetrów. Na przestrzeni od kwietnia do początku lipca 2004 strefa depozycyjna brzegu wklęsłego nie uległa zniszczeniu, co może świadczyć o dojrzałej strukturze, w której ziarna żwiru scementowane zostały przez drobniejszy materiał oraz o dużej roli roślinności wzmacniającej strukturę omawianej formy. Wezbranie trwające od 28.07 do 03.08 spowodowało istotne zmiany w geometrii badanego brzegu. Strefa depozycyjna z roślinnością trawiastą u stopy skarpy brzegu wklęsłego została rozmyta na długości około 50 m. Zachował się jedynie fragment tej formy o długości 30 m w części środkowej badanego odcinka między przekrojami 2–2 i 3–3. Pozostała forma została również przemodelowana przez przepływy wezbraniowe. Jej szerokość zmniejszona została do około 0,50 m. Największe nasilenie procesów erozyjnych w rozpatrywanym zakolu miało więc miejsce w dolnej części brzegu zewnętrznego poniżej osi zakrętu (odcinek między przekrojami 1–1 do 3–3, rys. 1). Zwisające okapy darniowe oraz kąt nachylenia dolnej części brzegu zewnętrznego świadczą, że w okresie wezbrania badany brzeg został przesunięty o około 0,30–0,50 m. Na odsypisku utworzonym bezpośrednio przy brzegu wewnętrznym nie stwierdzono osadzania wyerodowanego materiału z brzegu wklęsłego. Zaobserwowano jedynie miejsca depozycji materiału piaszczysto-mułowego transportowanego w zawiesinie, deponowanego w okresie opadania wód wezbraniowych w wyniku zmniejszenia prędkości przepływu, na co istotny wpływ miała również roślinność porastająca strefę brzegu wypukłego. U wejścia do zakola przy brzegu wypukłym nie zaobserwowano również erozyjnego ścinania wierzchnich warstw łachy zakolowej. Można więc sądzić, że procesy erozyjne skupiły się na brzegu wklęsłym, osiągając swe maksimum w części dolnej brzegu poniżej osi zakrętu. Materiał pochodzący z erozji badanego odcinka, a także transportowany z górnej części cieku, mógł być deponowany na tworzącym się w odległości około 100 m poniżej obiektu badań odsypisku. Jest to typowa łacha zakolowa, której platformę stanowi materiał żwirowy. Badanie tej formy nie miało jednak większego sensu z powodu systematycznego wybierania żwirów przez miejscową ludność. Pobór żwirów obserwowano w okresie badań.

Pomiary terenowe wykonane w 2005 roku pozwoliły ustalić, że przesunięcie brzegu w 3 badanych przekrojach o około 0,70 m doprowadzają do poszerzenia koryta. Część materiału brzegowego porośniętego roślinnością w postaci pasów gruntowych o szerokości około 0,4 m po oberwaniu została zdeponowana w korycie przy stopie skarpy brzegu wklęsłego na długości 15 m między przekrojami 2–2 i 3–3. Widać więc, że tendencja do depozycji materiału brzegowego u stopy skarpy jest na tym odcinku cykliczna. Obserwacje i pomiary pozwoliły także ocenić stan brzegu wypukłego. Również w roku 2005 płasko wykształcona forma brzegu wewnętrznego nie uległa przekształceniu. Nie stwierdzono śladów erozji brzegu prawego. Pozostawione na krzewach i drzewach porastających brzeg wewnętrzny przedmioty niesione przez wodę pokazały wysokość stanów wody w trakcie przepływów wezbraniowych, którą oszacowano na h = 2,0 m. Szacunkowa objętość wyerodowanego materiału z badanego brzegu zewnętrznego wynosiła V = 250 m^3.

Analiza dna cieku prowadzona zarówno w badanych przekrojach poprzecznych, jak i na długości odcinka pozwoliła ocenić wielkość erozji dennej związanej z rozmywaniem i transportem materiału aluwialnego budującego badany odcinek. Stwierdzono obniżenie dna cieku w przekrojach 2–2 i 3–3 maksymalnie o 0,19 m. Spadek podłużny badanego odcinka nie uległ większym zmianom, osiągając w roku 2005 wartość i = 3,17 ‰ (pomiary wyjściowe wykazały spadek dna rzędu i = 3,25 ‰). Występujący w czasie wezbrań transport rumowiska dennego powodujący erozyjne rozcinanie dna osiągnął największe wartości w nurcie. W trakcie badań w korycie obserwowano miejsca widocznej imbrykacji ziaren o średnicach d = 0,20–0,30 m. Na badanym odcinku zaobserwowano również występowanie ziaren o średnicach około d = 0,40 m (a więc znacznie większych niż d_{50}) zwanych ponadwymiarowymi, za którymi tworzyły się żwirowe cienie sedymentacyjne. Cechą charakterystyczną materiału gromadzącego się za tymi ziarnami było dobre ich wysortowanie. Ziarna te można traktować jako formy depozycji za przeszkodą.

Postępująca systematycznie w czasie wezbrań erozja brzegu lewego spowodowała konieczność ochrony terenów użytkowanych rolniczo. Dla zabezpieczenia omawianego brzegu zaprojektowano umocnienie o długości około 250 m w postaci opaski brzegowej wykonanej z grubego narzutu kamiennego o szerokości w koronie 1,0 m. Narzut kamienny po ułożeniu zasypano gruntem miejscowym i obsiano trawą [Hydromax 2003].

WARUNKI HYDRODYNAMICZNE NA BADANYM ODCINKU

Warunki hydrodynamiczne w korycie rzeki Łososiny w okresie prowadzonych badań ulegały zmianie stosownie do przepływów wody jakie występowały podczas wezbrań. W celu ich określenia wyznaczono takie wielkości, jak: napełnienie h, promień hydrauliczny R_h, spadek hydrauliczny i, moc strumienia ω, naprężenia styczne τ, prędkość średnią v i intensywność transportu rumowiska g_s. Uzyskane w obliczeniach wyniki zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Dane hydrodynamiczne dla różnych przepływów wody
Table 1. Hydrodynamic data for different water discharges

		Q_{gr} = 43,07 m^3·s$^-$	Q_1 = 67,46 m^3·s^{-1}	Q_2 = 123,46 m^3·s^{-1}
h		1,42	1,76	2,35
R_h		1,092	1,361	1,793
i		3,25	3,25	3,25
$v = c\sqrt{R_h \cdot i}$	[m·s^{-1}]	1,387	1,606	1,929
$\tau = \gamma \cdot h \cdot i$	[N·m^{-2}]	45,32	56,11	74,95
$\omega = \tau \cdot v$	[N·m^{-1}·s$^-$	62,78	90,15	144,50
g_s dla d_{50}	[N·m^{-1}·s^{-1}]		9,18	42,00
g_s	[N·m^{-1}·s^{-1}]		11,15	44,97

W kolumnie pierwszej dla Q_{gr} zamieszczono warunki określające początek ruchu rumowiska obliczony dla średnicy d_{50}, natomiast w pozostałych dwóch kolumnach ujęto wielkości hydrodynamiczne odpowiadające przepływom morfologicznie aktywnym. Nawiązując do oszacowanej objętości wyerodowanego z brzegu materiału wynoszącej V = 250 m^3 można pokazać, że gdyby maksymalny przepływ Q_2 trwał 2 godziny i transport rumowiska odbywałby się na szerokości koryta w = 20 m z intensywnością równą g_s = 44,97 N·m^{-1}·s^{-1} to transportowana objętość rumowiska wyniosłaby V_1 = 249 m^3. Obliczone warunki hydrodynamiczne są spójne z próbą odtworzenia przebiegu procesu erozji.

PODSUMOWANIE

Oceniając skutki morfologiczne wezbrań na badanym odcinku rzeki Łososiny, można stwierdzić cykliczną depozycję materiału brzegowego u stopy skarpy. Depozycja ta występuje, gdy duże bloki

gruntowe (względnie bloki o znacznej długości) grawitacyjnie odpadają z podcinanego brzegu, a aktualna zdolność transportowa strumienia jest niewystarczająca do przetransportowania zdeponowanych mas. Tworząca się żwirowo-piaszczysta forma depozycyjna może rozwinąć się i osiągnąć stabilność dzięki roślinności wzmacniającej jej strukturę. W ten sposób chroni dolną część brzegu przed erozją. Moc strumienia podczas wezbrań przewyższa opory stawiane przez te formy, czego efektem jest zarówno szybko postępująca erozja form depozycyjnych nagromadzonych przy stopie skarpy brzegu wklęsłego jak również silna erozja samego brzegu. Ochronne działanie tych stref depozycji ograniczone jest więc do względnie niskich przepływów. Ze względu na złożoność erozji bocznej, która jest kompozycją procesów związanych z przepływem wody, jak również procesów stokowych dostarczających materiał w wyniku wietrzenia i grawitacyjnego odpadania, trzeba liczyć się z tym, że formy te nadbudowywane są również w okresie stanów niskich.

Transport rumowiska na badanym odcinku występujący podczas wezbrań jest równie intensywny jak procesy erozyjne. Jego intensywność świadczy o niestabilności dna, a ilość wyniesionego materiału zależy nie tylko od czasu trwania fali wezbrania, ale również od rodzaju materiału dennego i jego struktury.

BIBLIOGRAFIA

Cieszkowski M. *Płaszczowina magurska i jej podłoże na północ od Kotliny Sądeckiej*. Przegląd Geologiczny, 1992, 7, s. 410–416.

Gorczyca E. *Przekształcanie stoków fliszowych przez procesy masowe podczas katastrofalnych opadów (dorzecze Łososiny)*. Wyd. Uniw. Jagiellońskiego, 2004.

Hydromax *Projekt techniczny. Konserwacja koryta potoku Łososina w km 27+750 – 28+050 w miejscowości Laskowa*. 2003.

Kaszowski L., Kotarba A. *Wpływ katastrofalnych wezbrań na przebieg procesów fluwialnych.* Prace Geogr. IG PAN, 1970, 80.

Leopold L.B., Wolman, M.G. *River Meanders*. Bull. Geol. Soc. Am., 1960, 71, s. 769–794.

Michalik A. *Badania intensywności transportu rumowiska wleczonego w rzekach karpackich*. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, 1990, roz., 138.

Odgaard A. J. *Streambank Erosion along Two Rivers in Iowa*. Water Resour. Res., 1987, 23, s. 1225–1236.

Odgaard A.J., Bergs M.A. *Flow Processes in a Curved Alluvial Channel*. Water Resour. Res., 1988, 24, s. 45–56.

Odgaard A. J. *River-Meander Model. I: Development.* Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 1989, 115, s. 1433–1450.

Stawnicka – Stolarska A. *Odpływ z dorzecza Łososiny podczas dwóch kolejnych wezbrań w czerwcu i lipcu 1958 r*. Prace Instytutu Gospodarki Wodnej, 1967, 4, s. 31–53.

Mgr inż. Tomasz Tekielak*
Mgr inż. Łukasz Bąk*
doktoranci przy Katedrze Inżynierii Wodnej*
Dr hab. inż. Alicja Michalik
Katedra Inżynierii Wodnej
Akademia Rolnicza w Krakowie

Recenzent: *Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Parzonka*

Tomasz Tekielak, Alicja Michalik, Łukasz Bąk

MORPHOLOGICAL EFFECTS OF FRESHETS IN SECTION OF THE ŁOSOSINA RIVER CHANNEL

SUMMARY

Freshets, by the periodical changes of the hydrodynamic conditions in the river channel, cause its intensive changes. At the time, the occuring fluvial processes have the decisive influence on creation of erosive and cumulative forms in the channel. Dimensions of these forms depend also on sediment transport. This paper presents the results of investigations carried on the Łososina River meander for years 2004–2005. Morphological changes in the channel, created by the 3 freshets, have correlation with the archival data. The bank erosion estimation shows that a cross section of channel has become wider. The changing hydraulic conditions were determined and the sediment transport intensity was estimated.

Key words: bank erosion, sediment transport, morphological changes