

DYNAMIKA ZMIAN MORFOLOGICZNYCH KORYT POTOKÓW SUDECKICH W ZLEWNIACH INSTYTUTU BADAWCZEGO LEŚNICTWA

Zbigniew Poppek¹, Andrzej Boczoń²

¹ Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska,

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

² Pracownia Gospodarki Wodnej, Instytut Badawczy Leśnictwa w Warszawie

Wstęp

W latach 1993–2000 Instytut Badawczy Leśnictwa prowadził badania, których celem było określenie wpływu działalności antropogenicznej i zmian zachodzących w ekosystemach leśnych obszarów górskich w rejonie Sudetów na przebieg procesów hydrologicznych i erozyjnych. Badania prowadzono w zlewniach trzech potoków w rejonie Szklarskiej Poręby: Czerniawki, Płóczki i Ciekonia, w których klęska ekologiczna spowodowana kwaśnymi opadami doprowadziła do powstania znacznego ich wylesienia. W ramach tych badań dawna Katedra Budownictwa Wodnego SGGW (obecnie Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska) prowadziła w latach 1996–2000 badania intensywności procesów erozyjnych, w tym zmian cech morfologicznych koryt potoków. Dla potrzeb badań wybrano charakterystyczne odcinki potoków na których prowadzono systematyczne badania uziarnienia materiału korytowego oraz pomiary geodezyjne profilu podłużnego dna i kształtu przekrojów poprzecznych.

Ogólna charakterystyka procesu korytotwórczego

Kształtowanie koryt rzecznych jest wynikiem złożonego, wzajemnego oddziaływania przepływu wody i wywołanego nim przemieszczania się materiału stałego, tj. rumowiska wlezonego i unoszonego. Proces ten opisuje zależność Lane'a [LANE 1972]:

$$Q_b J \sim Q_r d_{50} \quad (1)$$

w której:

Q_b – natężenie przepływu przy maksymalnie napełnionym korycie głównym (jest to tzw. przepływ brzegowy),

J – spadek podłużny dna koryta,

Q_r – natężenie transportu rumowiska (wlezonego i unoszonego),

d_{50} – przeciętna średnica uziarnienia materiału korytowego.

Zależność Lane'a nie jest równaniem, lecz wyrażeniem o charakterze jakościowym, tzn. takim z którego bezpośrednio nie można obliczyć jaki będzie wpływ zmiany któregośkolwiek z parametrów na wielkość pozostałych. Natomiast istotną zaletą zależności Lane'a jest to, że pozwala zrozumieć zasadniczy mechanizm procesu kształtowania koryta, polegający na dążeniu do osiągnięcia stanu równowagi pomiędzy wielkościami natężeń przepływu wody i transportu rumowiska.

Ze względu na jakościowy charakter zależności Lane'a (1), w praktyce do oceny stabilności koryt wykorzystuje się szereg różnych wskaźników empirycznych, w których uwzględniane są różne parametry charakteryzujące warunki przepływu i geomorfologiczne koryta. Jednym z nich jest bardzo prosty współczynnik (wskaźnik) stabilności η Łochtina [CIEPIEŁOWSKI i in. 1986]:

$$\eta = \frac{d}{J} \quad (2)$$

w którym:

d – średnica charakterystyczna materiału tworzącego dno koryta (mm),

J – spadek dna koryta (‰).

Według Łochtina, na odcinkach potoków, których koryto zbudowane jest z odłamków skał i kamieni (odcinki wysokogórskie) stabilność jest zachowana gdy $\eta > 10$. Natomiast w korytach na odcinkach górskich, zbudowanych z drobnych kamieni i otoczków stabilność występuje gdy $\eta > 7$.

Profil podłużny potoków górskich bardzo często w sposób naturalny jest ukształtowany w postaci kaskady progów (stopni) utworzonych z głazów, kamieni i powalonych pni drzew i gałęzi. Niekiedy próg może stanowić odsłonięta lita skała podłoża. Naturalne progi w znacznym stopniu redukują podłużny spadek zwierciadła wody, a tym samym wpływają na zmniejszenie prędkości przepływu wody i możliwości transportowe rumowiska. Stopień redukcji spadku podłużnego koryta zależy od sumarycznej wysokości progów. Najczęściej progi mają niewielką wysokość i są położone stosunkowo blisko siebie tak, że efektywnie redukują spadek zwierciadła wody tylko przy przepływach średnich i niskich. W czasie wzbrań spadek zwierciadła znacznie wzrasta, dążąc do wartości średniego wyrównanego na odcinku spadku podłużnego dna. W ocenie stabilności bierze się więc najczęściej pod uwagę zarówno średnie spadki dna jak i spadki zredukowane przez stopnie.

Charakterystyka zlewni badawczych

Badania procesów erozyjnych prowadzono w zlewniach 3 potoków położonych w zachodniej części Sudetów na wysokości 400 do 1300 m n.p.m. Zlewnie Czerniawki i Płóczki leżą w zlewni rzeki Szklarki, natomiast potok Ciekonia jest dopływem rzeki Kamiennej. Sąsiadujące ze sobą zlewnie Czerniawki i Płóczki są do siebie podobne - ich powierzchnie wynoszą odpowiednio $A = 0,93 \text{ km}^2$ i $1,05 \text{ km}^2$, a średnie spadki zlewni $i = 0,44$ i $0,51$ ($i = \Delta h/A^{0.5}$). Zlewnia Ciekonia posiada większą powierzchnię $A = 3,16 \text{ km}^2$ i mniejszy spadek $i = 0,16$. Ważnym czynnikiem różnicującym zlewnie jest stan zagospodarowania leśnego, w tym wielkość powierzchni upraw i młodników oraz stopień zachowania drzewostanów starszych klas wieku. Lesistość zlewni przed klęską ekologiczną była bardzo wysoka - w zlewniach Czerniawki i Płóczki wynosiła prawie 98% oraz ponad 85% w

zlewni Ciekonia. W wyniku wylesień obszar lasów zmniejszył się: o 4% w zlewni Czerniawki, o 12% w zlewni Płóczki i o ponad 33% w zlewni Ciekonia. W zlewniach Czerniawki i Płóczki zachował się jeszcze w dużym stopniu stary drzewostan. W zlewni Płóczki prawie corocznie obserwuje się niewielkie wylesienia z powodu wiatrołomów, które są na bieżąco zagospodarowywane. W zlewni Ciekonia przeważają drzewostany w wieku 20–30 lat oraz uprawy i młodniki [IBL 2001].

Charakterystyka hydrologiczna

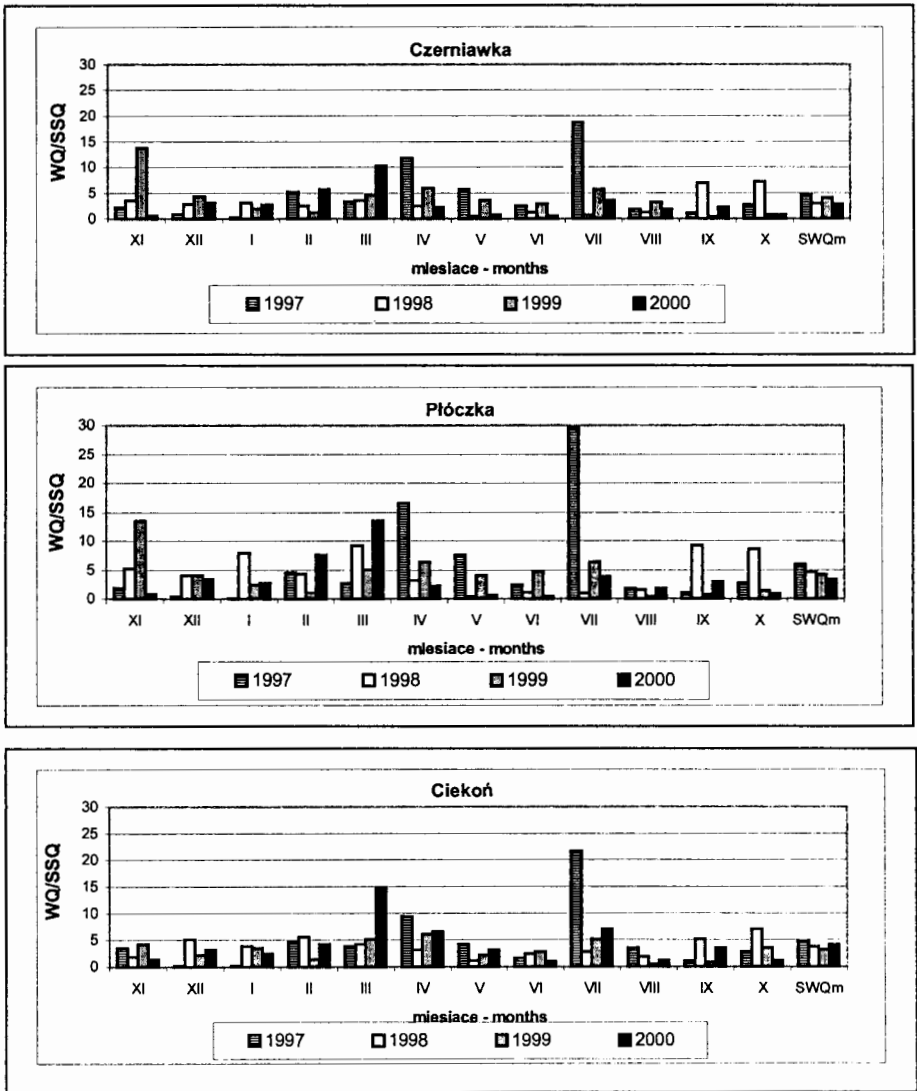
Średnie roczne odpływy jednostkowe (SSq) z lat 1993–2000 wykazują zróżnicowanie w zależności od stanu lesistości analizowanych zlewni i zawierają się w granicach 26,6–35,7 $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (tab. 1) [IBL 2001]. Najniższy odpływ jest ze zlewni Czerniawki, co należy tłumaczyć dużą zdolnością retencjonowania wody, wyższą transpiracją oraz intercepcją drzewostanów w warunkach prawie niezminionej lesistości, w mniejszym stopniu niższym położeniem zlewni co może wiązać się z nieco mniejszymi opadami. Podobne warunki odpływu jak z Czerniawki są ze zlewni Płóczki, jednak wartości jednostkowe są wyższe, co spowodowane jest występowaniem upraw w górnej i środkowej części zlewni w miejscach wylesień i wiatrołomów. Średni roczny odpływ jednostkowy ze zlewni Ciekonia pomimo niższych spadków jest wyższy niż ze zlewni Czerniawki i Płóczki, co wynika z ich większej lesistości. W podobny sposób kształtują się odpływy średnie wielkie (SWq) z analizowanych zlewni, przy czym zróżnicowanie wartości wskaźników jest większe, zwłaszcza w przypadku zlewni Czerniawki i Płóczki (tab. 1).

Tabela 1; Table 1

Charakterystyczne przepływy i odpływy jednostkowe w wieloleciu 1993–2000
Characteristic and specific discharges in period 1993–2000

Parametry Parameters		Przekrój kontrolowany Control cross-section		
		Czerniawka	Płóczka	Ciekonia
Średni przepływ (SSQ) Mean recorded discharge	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	0,025	0,035	0,113
Średni odpływ jednostkowy (SSq) Mean recorded specific discharge	$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$	26,6	33,6	35,7
Średni z najwyższych przepływów rocznych (SWQ) Mean of the annual highest recorded discharges	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	0,272	0,419	1,38
Średni z najwyższych odpływ jednostkowy (SWq) Mean of the annual highest recorded specific discharge	$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$	292	399	437

Na zmiany morfologiczne koryt potoków duży wpływ mają wezbrania i częstość ich występowania. Na rysunku 1 przedstawiono histogramy maksymalnych przepływów miesięcznych WQ w okresie 1997–2000, przedstawionych jako wartości względne, odniesione do średnich przepływów rocznych z wielolecia SSQ . Najwyższe wartości WQ/SSQ obserwowano w okresie katastrofalnych wezbrań w lipcu, a nieco mniejsze również w kwietniu 1997 roku [POPEK, BANASIK 1997].



Rys. 1. Porównanie względnych przepływów maksymalnych miesięcznych WQ/SSQ w zlewniach potoków

Fig. 1. Comparison of relative maximum monthly discharges WQ/SSQ in steams catchments

W dniach 3–9 i 18–23 lipca 1997 roku w rejonie Szklarskiej Poręby wystąpiły dwie fale wezbrań. Wezbrania te były spowodowane przez intensywne opady, których sumy dobowe wynosiły: w pierwszym okresie – 224,6 mm, w drugim okresie – 212,4 mm. Suma opadów w lipcu 1997 roku była około trzykrotnie większa od wieloletniej normy miesięcznej. Maksymalny opad dobowy $P = 165,5$ mm, który wystąpił w dniu 4 lipca, był większy od opadu o prawdopodobieństwie $p = 1\%$, którego wartość wynosi $P_{p=1\%} = 140\text{--}150$ mm. Prawdopodobieństwo przewyższenia obserwowanych przepływów kulminacyjnych WWQ oceniono na zbliżo-

ne do $p = 1\%$ [POPEK i in. 1998]. Odpowiadające tym przepływom wartości odpływów jednostkowych WWq podano w tabeli 2.

Tabela 2; Table 2

Wybrane parametry fal wezbrań w dniach 3–9 i 18–23 lipca 1997 roku
Parameters of flood events in days 3–9 and 18–23 of July 1997

Parametry Parameters		Przekrój kontrolowany Control cross-section			
		Płóczka		Ciekoń	
		3-9 07.1997	18-23 07.1997	3-9 07.1997	18-23 07.1997
Sredni przepływ SQ Mean recorded discharge	$m^3 \cdot s^{-1}$	0,376	0,358	0,523	0,718
Przepływ kulminacyjny WWQ Peak discharge	$m^3 \cdot s^{-1}$	1,49	1,54	2,89	3,49
Odpływ jednostkowy WWq Specific discharge	$m^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$	1416	1466	916	1106
Objętość fali wezbraniowej V Flood events volume	m^3	194918	185587	271123	372211

Tabela 3; Table 3

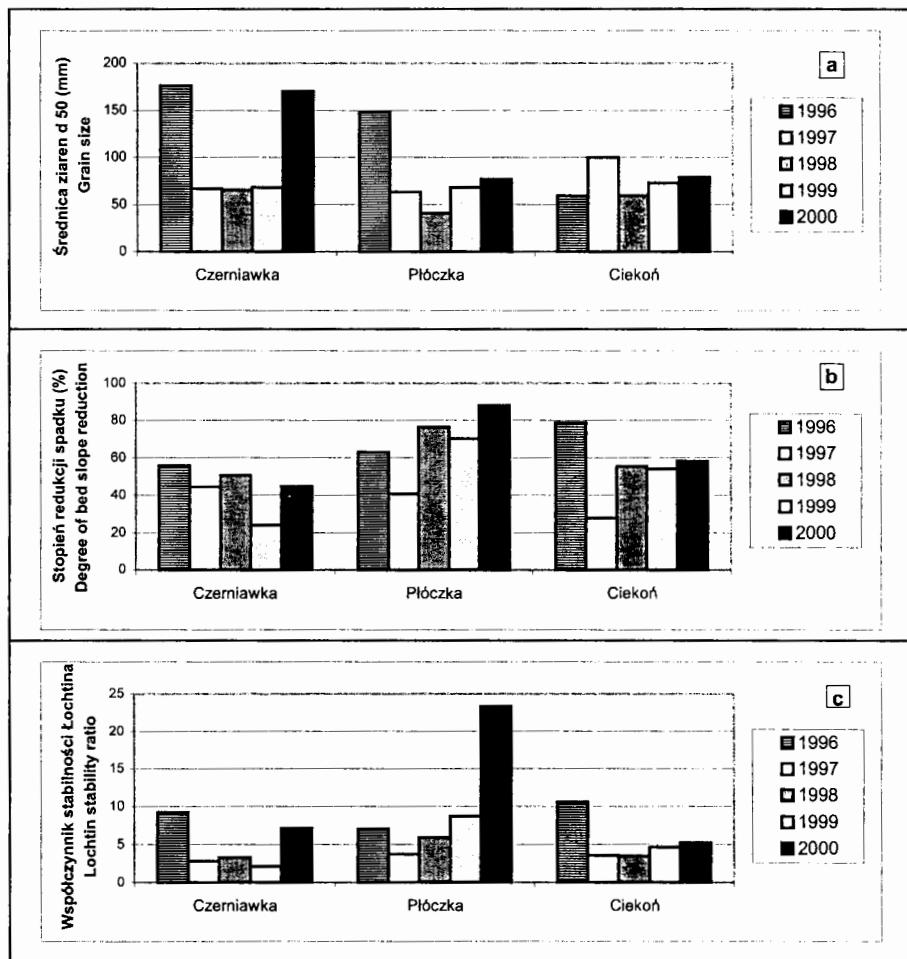
Najwyższe roczne przepływy (WQ) i odpływy jednostkowe (Wq) w latach 1997–2000
The highest annual discharges (WQ) and specific discharges (Wq) in the years 1997–2000

Przekrój kontrolowany Control cross-section	Najwyższe przepływy i odpływy jednostkowe w roku: The highest discharges and specific discharges in year:							
	1997		1998		1999		2000	
	WQ	Wq	WQ	Wq	WQ	Wq	WQ	Wq
	$m^3 \cdot s^{-1}$	$dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$	$m^3 \cdot s^{-1}$	$dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$	$m^3 \cdot s^{-1}$	$dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$	$m^3 \cdot s^{-1}$	$dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$
Czerniawka	0,468	503	0,180	194	0,345	371	0,257	276
Płóczka	1,04	990	0,324	309	0,472	450	0,472	450
Ciekoń	2,45	775	0,799	253	0,684	216	1,68	532

Podane w tabelach 2 i 3 wartości odpływów jednostkowych świadczą o tym, że w okresie wezbrań kształt i spadek zlewni oraz układ sieci potoków ma większe znaczenie niż stan zagospodarowania terenu, który przede wszystkim wpływa na wartość odpływu średniego rocznego SSq (tab. 1).

Wyniki badań i dyskusja

Badania morfologii koryt potoków prowadzono w latach 1996–2000 na 8 wybranych odcinkach potoków [POPEK 2000]. W niniejszej pracy przedstawiono jedynie wyniki badań wykonanych na 3 odcinkach potoków Czerniawka, Płóczka i Ciekoń, zlokalizowanych bezpośrednio powyżej przekrojów wodowskazowych. Pomiaru terenowe, wykonywane co rok we wrześniu, obejmowały niwelację profilu podłużnego dna potoków oraz wybranych przekrojów poprzecznych koryta, a także pomiary wielkości materiału korytowego tworzącego obrukowanie dna i odsypiska.

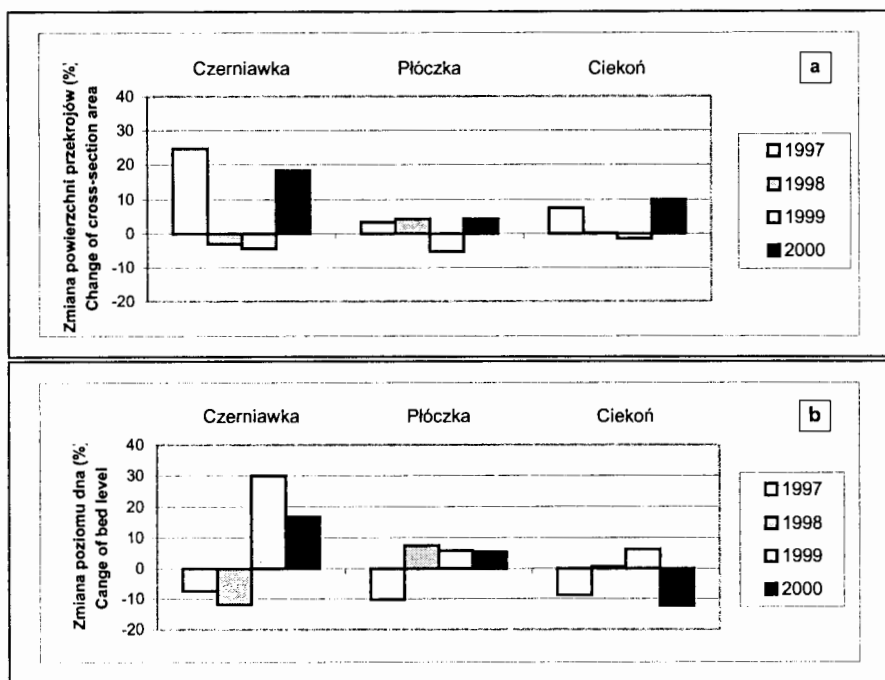


Rys. 2. Porównanie parametrów charakterystycznych dla poszczególnych potoków: a) średnice d_{50} ziaren materiału warstwy obrukowania dna, b) stopień redukcji spadku podłużnego dna, c) wartość współczynnika stabilności Łochtina

Fig. 2. Comparison of characteristic parameters in individual streams: a) the grain size d_{50} of armour bed layer material, b) the degree of longitudinal bed slope reduction, c) the values of Lochtin stability ratio

Na badanych odcinkach potoków stwierdzono dużą zmienność analizowanych cech morfologicznych. Na rysunku 2a pokazano zmiany wartości średnic d_{50} dla materiału tworzącego obrukowanie dna. Największe zmiany uziarnienia występowały w korycie Czerniawki ($d_{50} = 65 \div 176$ mm), nieco mniejsze w korycie Płóczki ($d_{50} = 41 \div 148$ mm), a najmniejsze w Ciekoniu ($d_{50} = 59 \div 100$ mm). W wyniku ekstremalnych wezbrań w 1997 roku obrukowanie dna Czerniawki i Płóczki zostało zniszczone (rys. 2a). W następnych latach obserwowano stopniowe tworzenie się nowego obrukowania o czym świadczą wzrastające wielkości średnic d_{50} .

Średnie wyrównane spadki podłużne dna na badanych odcinkach potoków były dość stabilne i wynosiły: Czerniawka – $J = 39,5 \div 43,3\%$, Płóczka – $J = 26,1 \div 30,5\%$, Ciekoiń – $J = 34,0 \div 38,4\%$. Jednakże w wyniku niszczenia naturalnych progów w okresach wezbrań a także powstawania nowych progów obserwowano znaczne zmiany wartości zredukowanych spadków podłużnych. Na rysunku 2b pokazano zmiany stopnia redukcji spadku podłużnego dna (wyrażone w %), określonego jako względny stosunek średniego wyrównanego i zredukowanego spadku dna koryta na odcinku. Na podstawie spadków zredukowanych i średnic d_{50} materiału tworzącego obrukowanie obliczono wartości współczynników stabilności Łochtina η wg równania 2, które przedstawiono w formie graficznej na rysunku 2c. W większości przypadków uzyskano wartości $\eta < 7$, co świadczy o braku stabilności koryt potoków.



Rys. 3. Porównanie względnych zmian w korytach potoków: a) powierzchni przekrojów poprzecznych, b) średniego poziomu dna w profilu podłużnym

Fig. 3. Comparison of relative changes in stream beds: a) the cross-sections area, b) the mean bed level in longitudinal profile

Potwierdzeniem braku stabilności koryt potoków są wyniki analizy zmian powierzchni wybranych przekrojów poprzecznych i średniego poziomu dna w profilu podłużnym. Zmiany te określano jako wartości względne (wyrażone w %) w stosunku do stanu koryta w roku poprzednim. Średnie wielkości zmian powierzchni w 3 przekrojach poprzecznych na każdym z odcinków potoków pokazano na rysunku 3a, natomiast na rysunku 3b – zmiany średniego poziomu dna w profilu podłużnym potoków.

Największe zmiany parametrów koryt potoków wystąpiły w 1997 roku i były związane z ekstremalnymi wezbraniem w analizowanych zlewniach (rys. 1). Jednakże wielkość tych zmian w dużym stopniu była uzależniona od stopnia redukcji spadku podłużnego (rys. 2b). Stosunkowo największe wezbrania w latach 1997–2000 występowały w zlewni Płóczki (rys. 1), ale jednocześnie na odcinku tego potoku spadek podłużny dna był najmniejszy i w największym stopniu zredukowany przez progi kamienne (rys. 2b). W wyniku istniejących warunków koryto Płóczki charakteryzowało się stosunkowo największymi wartościami wskaźnika Łochtina (rys. 2c) i jednocześnie w najmniejszym stopniu zostało zmienione. Biorąc pod uwagę roczne zmiany parametrów koryta stwierdzono, że w 2000 roku w stosunku do stanu w 1996 roku w korycie Płóczki powierzchni przekrojów poprzecznych powiększyła się nieznacznie o 6,3% z jednoczesnym podniesieniem się średniego poziomu dna o 8,5%.

Na analizowanych odcinkach potoków przeważały procesy erozji, w wyniku których powierzchnia przekrojów poprzecznych powiększyła się. Największy wzrost powierzchni przekrojów o 35,7% wystąpił w ciągu 5 lat na odcinku Czerniawki. Wzrost ten wynikał przede wszystkim z intensywnej erozji brzegowej, gdyż jednocześnie średni poziom dna podniósł się (rys. 3b) – w stosunku do stanu koryta Czerniawki w 1996 roku o 27,8%. Powodem stosunkowo dużych zmian koryta Czerniawki jest największy wyrównany średni spadek dna w porównaniu do pozostałych odcinków potoków, przy jednocześnie najmniejszej redukcji spadku na progach (rys. 2b). Największa erozja dna w ciągu roku wystąpiła na odcinku Ciekonia. W 2000 roku stwierdzono tam obniżenie się średniego poziomu dna o 12,3%, a w stosunku do roku 1996 o 14,2%. Powodem tych zmian w 2000 roku było znaczne wezbranie, drugie co do wielkości w zlewni Ciekonia w okresie 1997–2000 (rys. 1).

Wnioski

1. Wyniki badań morfologicznych wykonanych w latach 1996–2000 w zlewniach potoków Czerniawki, Płóczki i Ciekonia potwierdzają, że ich koryta są niestabilne. Świadczą o tym zmiany uziarnienia materiału korytowego oraz wymiarów koryta i średniego poziomu dna.
2. Na badanych odcinkach potoków występowała zarówno erozja jak i okresowa akumulacja rumowiska. Biorąc pod uwagę stan koryta w 1996 i 2000 roku we wszystkich potokach stwierdzono przewagę procesu erozyjnego. Największa erozja brzegowa wystąpiła w korycie Czerniawki, natomiast erozja wglębna dna – w korycie Ciekonia. Najmniejsze zmiany wystąpiły w korycie Płóczki.
3. Wskaźnik Łochtina pozwala na dość łatwe dokonanie oceny stabilności koryta. Należy jednak średni wyrównany spadek dna zastąpić spadkiem zredukowanym przez progi. Uzyskane wartości wskaźników dla badanych odcinków potoków są zgodne z obserwowanymi zmianami morfologicznymi ich koryt.

Literatura

CIEPIEŁOWSKI A., KICIŃSKI T., ŻELAZO J. 1986. *Podstawy regulacji rzek*, w: *Podstawy melioracji wodnych*. t. 1. Praca zbiorowa pod red. P. Prochala: 82–181.

IBL 2001. *Stałe obserwacje procesów hydrologicznych i erozyjnych w leśnych obszarach górskich*. Instytut Badawczy Leśnictwa, Warszawa, maszynopis: 66 ss.

LANE E.W. 1972. *Stable channels in erodible material*, w: *River Morphology*. Praca zbiorowa pod red. S. Schumm. DH&R Inc., Stroudsburg, Pensylwania: 97–116.

POPEK Z., BANASIK K. 1997. *Ocena intensywności erozji powierzchniowej w 3 zlewniach badawczych IBL na podstawie wezbrań w lipcu 1997 roku*. Katedra Budownictwa Wodnego SGGW Warszawa, maszynopis: 23 ss.

POPEK Z., GŁADECKI J., KALICKA M. 1998. *Ocena erozji w zlewniach badawczych IBL w rejonie Szklarskiej Poręby podczas wezbrań w lipcu 1997 roku*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 458: 139–149.

POPEK Z. 2000. *Badania zmian morfologicznych w korytach 3 potoków sudeckich w 2000 roku na tle wyników badań w latach 1996–1999*. Katedra Budownictwa Wodnego SGGW Warszawa, maszynopis: 11 ss.

Słowa kluczowe: morfologia rzeki, potok górski, dynamika zmian

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań zmian morfologicznych w korytach potoków, prowadzonych w latach 1996–2000 w 3 zlewniach badawczych Instytutu Badawczego Leśnictwa w rejonie Szklarskiej Poręby: Czerniawki, Płóczki i Ciekonia. Przedstawiono ogólną charakterystykę hydrologiczną zlewni ze szczególnym uwzględnieniem wezbrań, które odgrywają zasadniczą rolę w procesie kształtowania koryt rzecznych. Wyniki badań wskazują, że koryta potoków charakteryzują się małym stopniem stabilności. Świadczy o tym duża dynamika zmian cech morfologicznych potoków: uziarnienia materiału korytowego, kształtu i wymiarów przekrojów poprzecznych oraz średniego poziomu dna w profilu podłużnym. Obserwowane w poszczególnych potokach wielkości zmian morfologicznych są zgodne z wartościami współczynnika stabilności według Łochtina. Wyniki badań potwierdziły, że na stabilność koryt potoków ma istotny wpływ wielkość ziaren materiału tworzącego obrukowanie dna koryta oraz stopień redukcji spadku podłużnego dna przez naturalne progi kamienne.

DYNAMICS OF MORPHOLOGICAL CHANGES OF THE SUDETY MOUNTAIN STREAM BEDS IN CATCHMENTS OF THE FORESTRY RESEARCH INSTITUTE

Zbigniew Popek¹ Andrzej Boczoń²

¹ Department of Hydraulic Engineering and Environmental Recultivation, Warsaw Agricultural University

² Division of Water Management, Forestry Research Institute, Warsaw

Key words: river morphology, mountain stream, dynamics of changes

Summary

The paper presents results of investigations of morphological changes in the mountain streams, carried out during 1996–2000 in 3 research catchments of the Forestry Research Institute in Szklarska Poręba region: Czerniawka, Płóczka and Ciekoń. General hydrological characteristic of catchments with special regard to flood events which play important role in the river bed formation process is presented. Results of investigations show, that mountain streams are characterized by a small rate of stability. It is proved by large dynamics of morphological stream feature changes: bed material grain size, shape and dimensions of cross-sections and mean level of bottom in longitudinal profile. The observed in each stream values of morphological changes are compatible to values of stability ratio according to Lochtin. The investigation results confirm, the essential influence on stream stability is exert by the grain size of armour bed layer material and degree of longitudinal bed profile reduction by natural stone thresholds.

Dr inż. Zbigniew Popek

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego

ul. Nowoursynowska 166

02-787 WARSZAWA

e-mail: popek@alpha.sggw.waw.pl