

MAŁGORZATA MAZUREK

## DOSTAWA MATERIAŁU KLASTYCZNEGO DO TRANSPORTU FLUWIALNEGO NA OBSZARACH MŁODOGLACJALNYCH (ZLEWNIA KŁUDY NA POMORZU ZACHODNIM)

### ZARYS TREŚCI

W oparciu o przeprowadzone kartowania geomorfologiczne w zlewni Kłudy (Pomorze Zachodnie) stwierdzono, że w zlewni młodoglacjalnej procesy erozyjne w obrębie koryta stanowią najważniejsze źródło dostawy materiału wleczonego i unoszonego transportowanego przez wody rzeczne. Strefa, z której dostarczony jest materiał klastyczny do transportu fluwialnego w badanej zlewni, obejmuje system korytowy, odcinki przełomowe sieci dolinnej oraz obszary podmokłe o wysokim poziomie wód gruntowych, na których w okresach opadowych czy roztopowych powstają warunki do występowania spływu powierzchniowego nasyczonego. Wymienione obszary zajmują ok. 10,9% powierzchni zlewni włączonej do odwodnienia powierzchniowego, a w tym 0,8% stanowi system korytowy. Wielkość dostawy materiału klastycznego i zmienność transportu zawiesiny wzdłuż biegu Kłudy wynika również ze zróżnicowanego charakteru kontaktu systemu stokowego z korytowym, który można rozpatrywać w 4 układach morfologicznych:

- wysoczyzna → zbocza doliny → dno doliny → koryto rzeczne,
- wysoczyzna → zbocza doliny → koryto rzeczne,
- wysoczyzna → krawędzie wysoczyzny → dna wytopisk → koryto rzeczne,
- wysoczyzna → krawędzie wysoczyzny → koryto rzeczne.

### WPROWADZENIE

Na materiał zawieszony i wleczony przemieszczany w korycie rzeczonym składają się osady pozakorytowe dostarczane z obszaru zlewni przez transport stokowy, eoliczny i podziemny, osady transportowane przez dopływy, materiał budujący krawędzie brzegowe oraz rozmywane osady podłoża i aluwia korytowe. Tylko część materiałów uruchamiana przez procesy denudacyjno-erozyjne w systemie stokowym dociera do koryta rzecznoego i jest odprowadzana ze zlewni (m.in. BRIZGA, FINLAYSON 1994; FROEHLICH 1982; KOSTRZEWSKI 1975; KRZEMIENI, ŚWIĘCHOWICZ 1992; ŁAJCZAK-1989; MARUSZCZAK et al. 1992; PHILLIPS

1992; REID, DUNNE 1996; STARKEL 1972; WALLING 1983, 1990; ZWOLIŃSKI 1989).

Wskaźnik dostawy osadów (*sediment delivery ratio*) zależy od wielkości i położenia stref zasilania koryta, energii rzeźby terenu, rozwinięcia i gęstości sieci rzecznej, pokrycia i użytkowania ziemi. Według WALLINGA (1983, 1990) na ilość odprowadzanego materiału istotny wpływ ma wielkość powierzchni zlewni. Ale nawet w zlewni I rzędu wielkość ładunku odprowadzanego przez rzekę nie stanowi bezpośredniej miary natężenia denudacji mechanicznej, gdyż w dostawie materiału do transportu fluwialnego bierze udział tylko niewielka część zlewni, która zmienia swoją powierzchnię w zależności od wielkości i natężenia

nia opadów atmosferycznych, stanu wilgotności gruntu, rozwoju roślinności (FROEHLICH 1982, 1992; COLLINS 1981). Ponadto z przyrostem dorzecza zmniejsza się znaczenie bezpośredniej dostawy ze stoków do koryta. W dużych dolinach, o szerokim dnie rolę stoków w dostawie przejmuje dno doliny, w obrębie którego zaznacza się etapowość przemieszczania osadów (BURT, HAYCOCK 1996; STARKEL 1972). Należy wnioskować, że w takich przypadkach dostawa do koryta rzecznego następuje głównie ze strefy przykorytowej oraz przez sieć dopływów.

Samo koryto rzeczne stanowi zarówno źródło, jak i drogę transportu materii, ale także ważne miejsce czasowej depozycji osadów. W obrębie koryta następuje również modyfikacja przemieszczanego materiału przez procesy fizykochemiczne, jak i biologiczne (DE BOER, CROSBY 1995).

W ostatnich latach znacząco wzrosła liczba prac podejmujących zagadnienie określenia źródeł, z których dostarczany jest do koryta rzecznego materiał klastyczny. Część badań nad strefami dostawy opiera się na prowadzonych równocześnie pomiarach procesów denudacyjno-erozyjnych w zlewni i w korycie rzeczonym (m.in. DUYSINGS 1986, 1987; FROEHLICH 1982, 1992; SMOLSKA 1996). Wiadomości o udziale zlewni w kształtowaniu ładunku materiału unoszonego dostarcza również analiza krótko- i długoterminowych efektów histereicznych (KLEIN 1984; KOSTRZEWSKI, ZWOLIŃSKI 1992; RIEGER et al. 1988). Liczne są badania oparte na porównaniu właściwości czy cech materiału w korycie rzeczonym z parametrami charakteryzującymi potencjalne źródła na obszarze zlewni. Metody znacznikowe (*fingerprinting technique*) stosowane są z różnym skutkiem w zależności od warunków geologicznych, glebowych, obiegu wody czy pokrycia terenu w zlewni. O znaczeniu tego typu metod badań w geomorfologii i hydrologii świadczy chociażby po-

więcone tej problematyce sympozjum Międzynarodowej Asocjacji Nauk Hydrologicznych w 1993 roku (PETERS et al. 1993).

Do metod jakościowych stosowanych do określenia zasięgu obszarów mających udział w kształtowaniu transportu rzecznego należy kartowanie geomorfologiczne (m.in. BIERNAT 1985; COLEMAN, SCATENA 1986; KASZOWSKI, KOTARBA 1970; KOSTRZEWSKI et al. 1994).

Problem dostawy materiału ze zlewni do koryta rzecznego był stosunkowo często podejmowany dla obszaru gór i wyżyn Polski (BIERNAT 1985; BIERNAT, CIUPA 1992; FROEHLICH 1982, 1992; KOSTRZEWSKI 1975; KOTARBA, KASZOWSKI, KRZEMIEN 1987; KRZEMIEN 1991; MARUSZCZAK et al. 1992), natomiast niewiele prac dotyczy obszaru Niżu Polskiego. Dla strefy pojeziernej, objętej fazą pomorską ostatniego zlodowacenia, źródła dostawy materiału klastycznego do koryta rzecznego analizują m.in. KOSTRZEWSKI et al. (1994), RACHOCKI (1974), SMOLSKA (1996) czy ZWOLIŃSKI (1989).

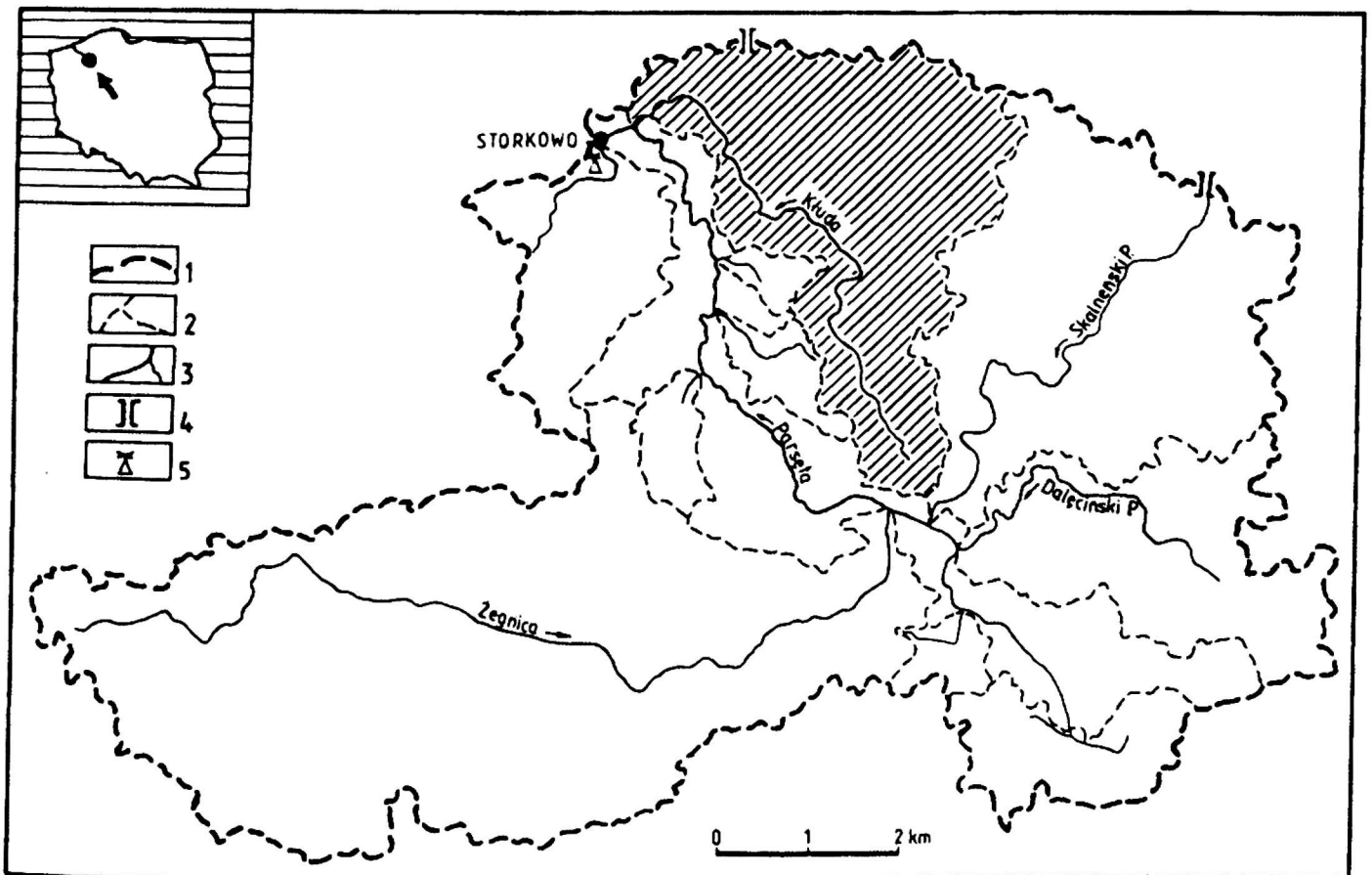
Charakter i rytm rzeźby, zróżnicowanie litologiczne, stan rozwoju sieci rzecznej oraz użytkowanie terenu to czynniki, które mogą wpływać na wielkości i rozkład źródeł materiału klastycznego na obszarach młodoglacjalnych. Z punktu widzenia dostawy wody i materiału ze zlewni do koryta istotną cechą dolin rzecznych tych obszarów, jest włączenie w drogę odpływu wód form sukcesyjnych (PIASECKI 1982; RACHOCKI 1974), o wymiarach często nie odpowiadających możliwościom rzeźbotwórczym rzeki. Morfologia elementów odziedziczonych, jak i odcinków „własnych” doliny wykształconych przez działalność rzeki, jest jednym z czynników decydujących o powiązaniu koryta rzecznego z systemem stokowym. Wyniki badań SMOLSKIEJ (1996) w zlewni Szeszupy dowodzą ograniczonego zasięgu przestrzennego dostawy materiału

klastycznego do koryta rzeczno-  
go i wskazują wg autorki na „...niezależ-  
ność podsystemów fluwialnego i stoko-  
wego w systemie denudacyjnym zlewni  
obszaru młodoglacjalnego”. Na niewiel-  
ką bezpośrednią łączność systemu sto-  
kowego z systemem transportu fluwial-  
nego górnej Parsęty, nawet podczas eks-  
tremalnych zjawisk pogodowych, zwrac-  
ali uwagę KOSTRZEWSKI et al. 1992.

W świetle dotychczasowych prac  
przedstawiających problem dostawy  
materiału do koryta rzeczno-  
go w strefie młodoglacjalnej nasuwa się potrzeba  
dalszych opracowań uszczegółwiają-  
cych, łączących zmienność czasową  
i przestrzenną transportu fluwialnego  
wraz z rozmieszczeniem obszarów zasi-  
lania i źródeł dostawy materiału klasty-  
cznego. Badania te stanowią podstawę

dla określenia aktywności systemu  
denudacyjnego, decydującego o współ-  
czesnym rozwoju rzeźby w zlewni.  
Aktualny stan badań w tym zakresie  
skłonił do podjęcia próby rozpoznania  
potencjalnych obszarów dostawy mate-  
riалу do koryta rzeczno-  
go i ich porów-  
niania z wielkością transportowanego  
materiału zawieszono-  
go w profilu pod-  
łużnym rzeki oraz analizy istniejących  
powiązań między systemem stokowy  
i korytowym w zlewni młodoglacjalnej.

Do przeprowadzenia badań tereno-  
wych wybrano Kłudę, ciek 4. rzędu (wg  
klasyfikacji Hortona-Strahlera) o długo-  
ści niespełna 7 km, odwadniający zlewnię  
o powierzchni 10,7 km<sup>2</sup>. Wybrana zlewnia  
Kłudy położona jest na obszarze Po-  
jezierza Drawskiego i należy do systemu  
hydrograficznego górnej Parsęty (rys. 1).



Rys. 1. Lokalizacja zlewni Kłudy (zaszrafowana) w systemie hydrograficznym zlewni górnej Parsęty  
1 – wododział zlewni górnej Parsęty, 2 – wododziały zlewni częściowych, 3 – sieć rzeczna, 4 – brama w wododziale,  
5 – posterunek meteorologiczny w Storkowie

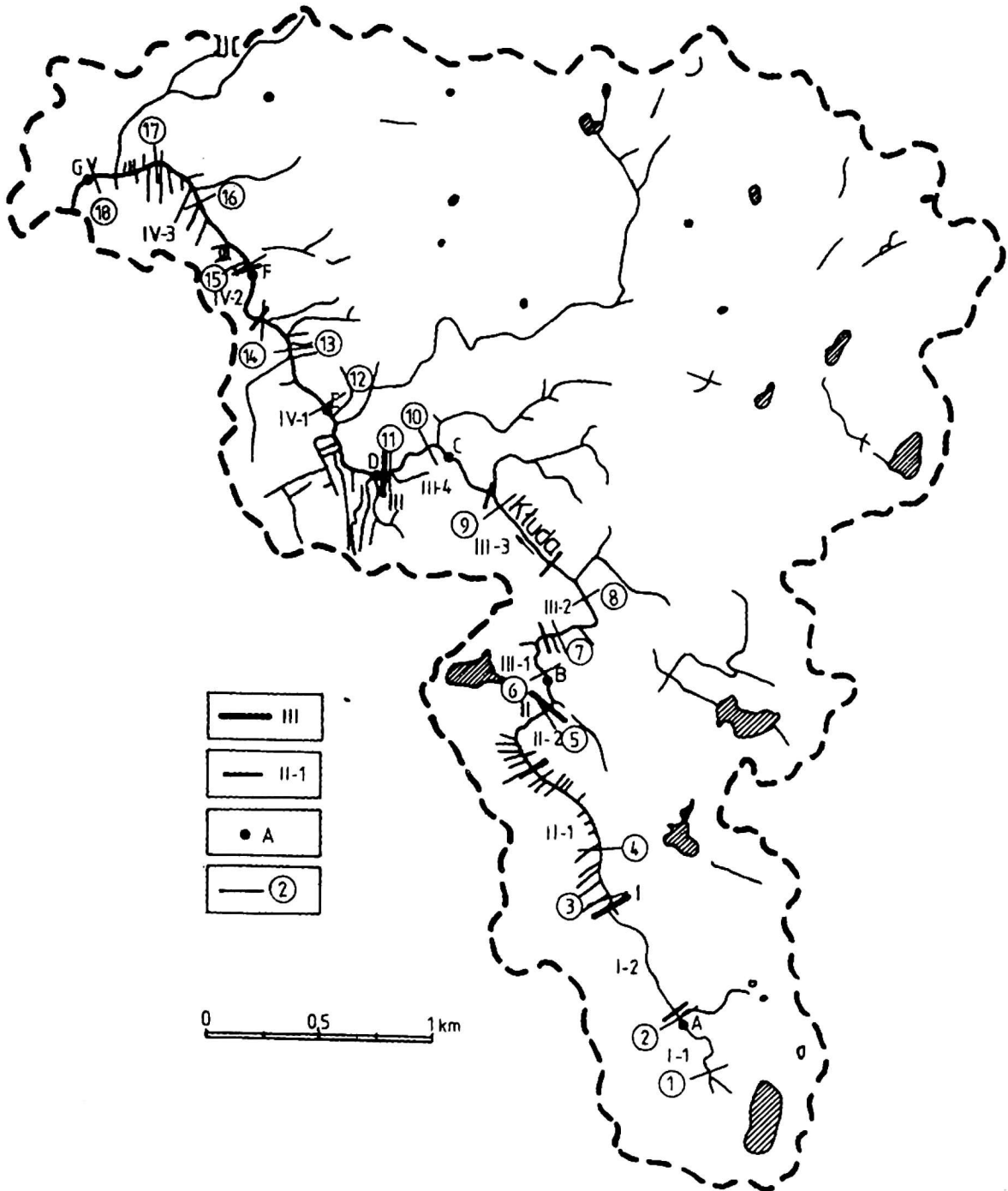
Fig. 1. Location of the Kuda catchment (shaded) in the upper Parsęta hydrographic system  
1 – watershed of the Parsęta catchment, 2 – watersheds of subcatchments, 3 – river network,  
4 – gate in the watershed,  
5 – weather station at Storkowo

## METODY BADAŃ

Dla przedstawienia charakteru strefy brzegowej koryta Kłudy i potencjalnych obszarów dostawy materiału do koryta rzeczno-geomorfologicznego (ZWOLIŃSKI 1988). Przed przystąpieniem do kartowania dokonano podziału 7-kilometrowego koryta Kłudy na

podstawie zróżnicowania morfologii doliny i obszarów sąsiadujących oraz użytkowanie terenu na 4 segmenty. Następnie w obrębie segmentów, w oparciu o kryterium morfologii i układu koryta rzeczno-geomorfologicznego wydzielono łącznie 11 odcinków (rys. 2).

W dniach 24–25 czerwca 1992 i 7–8 lipca 1993 roku przeprowadzono karto-



Rys. 2. Stratyfikacja koryta Kłudy

1 – granice segmentów, 2 – granice odcinków, 3 – stanowiska pomiarowe i miejsca poboru prób materiału dennego (A-G), 4 – lokalizacja przekrojów poprzecznych koryta

Fig. 2. Stratification of the Kłuda channel

1 – limits of segments, 2 – limits of reaches, 3 – measurement sites and sampling points of bed material (A-G), 4 – channel cross-sections

wania wzdłuż biegu Kłudy, które miały na celu:

1. określenie zmienności parametrów morfometrycznych koryta rzecznego,
2. rozpoznanie morfologiczno-litologiczne strefy brzegowej i dna koryta rzecznego,
3. poznanie źródeł dostawy materiału klastycznego do koryta rzecznego w obrębie segmentów i odcinków.

W obserwacjach strefy brzegowej koryta Kłudy wykorzystano elementy z sygnatury kartowania morfologicznego brzegów koryt rzecznych zaproponowanej przez KOSTRZEWSKIEGO i ZWOLIŃSKIEGO (1985) oraz ZWOLIŃSKIEGO (1988), a zastosowanej dla kartowania koryta górnej Parsęty (KOSTRZEWSKI et al. 1994).

W trakcie badań, w latach hydrologicznych 1990–1994, przeprowadzono 41 okresowych pomiarów transportu fluwialnego na 7 stanowiskach pomiarowych A–G (rys. 2). Obserwacje te obejmowały pomiary przepływu wody metodą konduktometryczną (STACH 1992) oraz pobór próbek wody w strefie nurtu, batometrem butelkowym. Koncentrację cząstek zawieszonych oznaczano metodą wagową (BRAŃSKI 1968), używając sączków ilościowych twardych, natomiast zawartość substancji organicznej w materiale zawieszonym określano poprzez straty prażenia w temperaturze 550°C.

## OBSZAR BADAŃ

Zlewnia Kłudy reprezentuje młodoglacjalny geosystem obszaru nizinnego, położony w obrębie Pomorza Zachodniego. Obszar badań rozpościera się na północnym skłonie środkowopomorskiego ciągu czołowomorenowego, w obrębie tzw. lobu Parsęty. Jego rzeźba jest efektem deglacjacji podczas vistuliańskiej fazy pomorskiej oraz procesów holocenńskiego cyklu morfogenetycznego (KARCZEWSKI 1985, 1989; MAKSIAK, MRÓZ

1978). Charakterystycznym elementem morfologicznym we wschodniej i północno-wschodniej części zlewni Kłudy są zagłębienia bezodpływowe, które odegrały znaczącą rolę w rozwoju rzeźby badanego obszaru, stanowiąc lokalne bazy denudacyjno-akumulacyjne. W litologii dominują osady glacyfluwialne i ablacyjna glina morenowa, silnie spiaszczona. Najmłodsze serie osadowe powstały w wyniku akumulacji fluwialnej i organogenicznej.

Współczesna sieć hydrograficzna zlewni Kłudy wykazuje związek z rzeźbą polodowcową i jej przeobrażeniami w późnym vistulianie i holocenie, w tym również z działalnością człowieka. Jej cechą charakterystyczną jest istnienie jednego głównego ciek, który przecina całą zlewnię i jest nieproporcjonalnie długi w stosunku do dopływów. W systemie odwodnienia powierzchniowego włączone jest 76,4% powierzchni zlewni. W związku z funkcjonowaniem cieków okresowych i epizodycznych wielkość obszaru wyłączonego z odwodnienia powierzchniowego wzrasta z 23,6% do 38,8% w okresach suchych, a gęstość naturalnej sieci rzecznej w okresie głębokiej niżówki latem 1992 z 1,8 km·km<sup>-2</sup> spadła do wartości 1,5 km·km<sup>-2</sup>.

Warunki przyrodnicze występujące w zlewni Kłudy można uznać za reprezentatywne dla strefy młodoglacjalnej. Zróżnicowana budowa geologiczna, pionowa i pozioma zmienność właściwości fizykochemicznych osadów i gleb oraz wykształcenie i organizacja sieci rzecznej to czynniki decydują o obiegu wody, a zarazem o tempie i wielkości dostawy substancji klastycznych do systemu korytowego oraz zmienności transportu fluwialnego.

Okres badań charakteryzował się stosunkowo wyrównanym reżimem przepływu wody, o średnim rocznym odpływie jednostkowy 8,9 dm<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>, który mieści

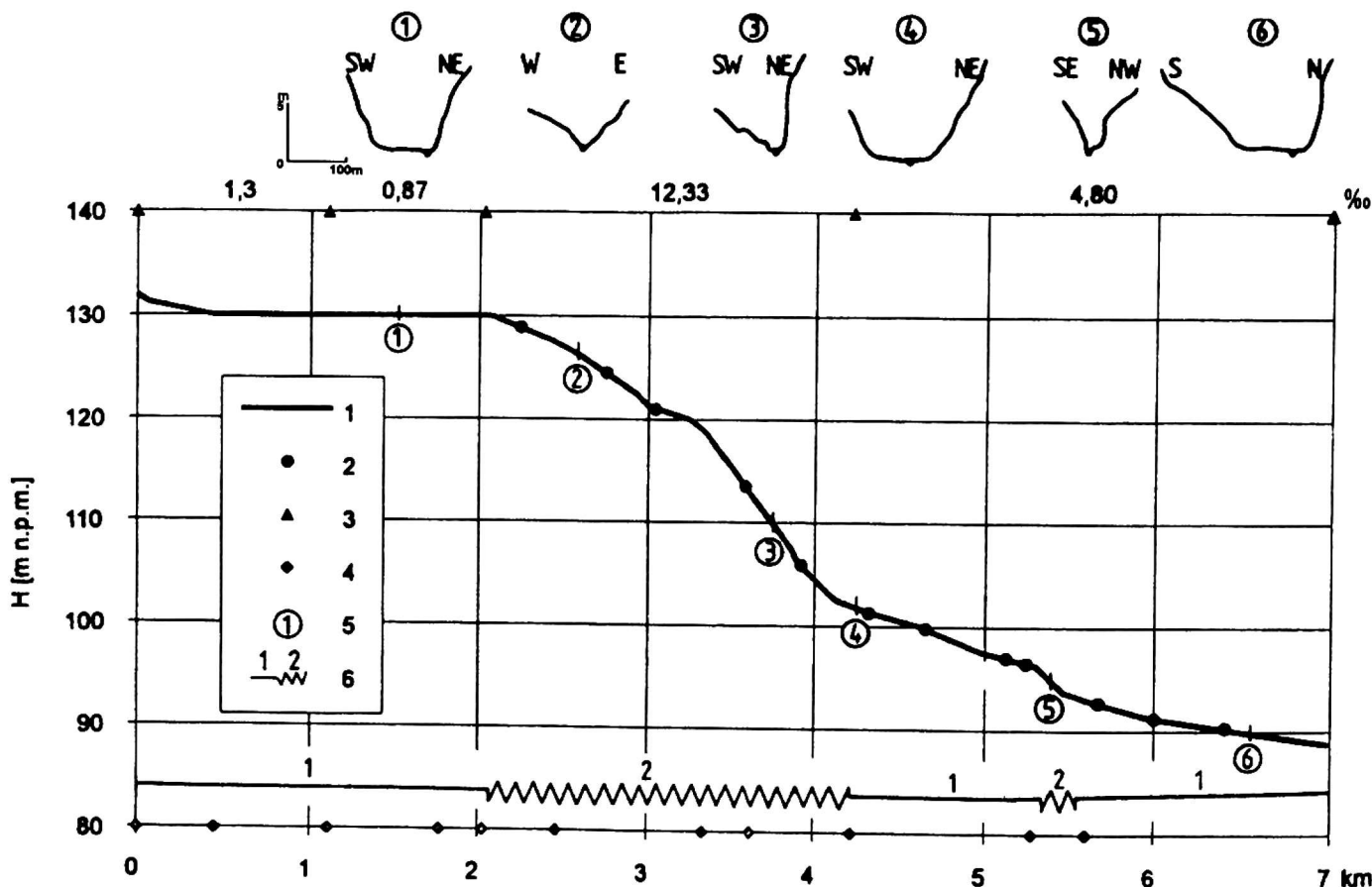
się w zakresie wartości charakterystycznych dla małych i średnich zlewni przy-morskich. Analiza warunków hydro-meteorologicznych (MAZUREK 1996) wskazuje, że były to lata o sekularnym działaniu procesów fluwialnych. Przeprowadzone pomiary transportu rzeczno-go mogą więc stanowić podstawę analizy zmienności przestrzennej i dynamiki odprowadzania materiałów denudowanych dla zakresu niskich i średnich przepły-wów w korycie Kłudy.

### CHARAKTERYSTYKA DOLINY I KORYTA KŁUDY

Kłudę można zaliczyć do rzek młodych bez ostatecznie ukształtowanej doliny (FALKOWSKI 1971), w której dominujący wpływ na rozwinięcie koryta rzeczno-go miały inicjalne uwarunkowania geologi-

czne poszczególnych odcinków doliny. Sieć dolinna w zlewni charakteryzuje się asymetrią i niskim stopniem zhierar-chizowania. Charakterystyczne dla doliny Kłudy jest występowanie wąskich odcinków przełomowych modelowa-nych przez procesy fluwialne oraz kot-linowatych rozszerzeń o genezie wyto-piskowej, w obrębie których działalność rzeki nakłada się na elementy rzeźby odziedziczonej (rys. 3). Profil podłużny doliny Kłudy cechuje się znacznie wyższymi spadkami w części środkowej i ujściowej niż w części źródłiskowej.

Pod względem morfologicznym jak i litologicznym zarówno dno doliny, jak i dno koryta Kłudy, nawiązują do ukła-du głównych jednostek geomorfologicz-nych w zlewni. W górnym odcinku (segment I i II) dolina ma charakter płas-kodennego rozszerzenia o niewielkim

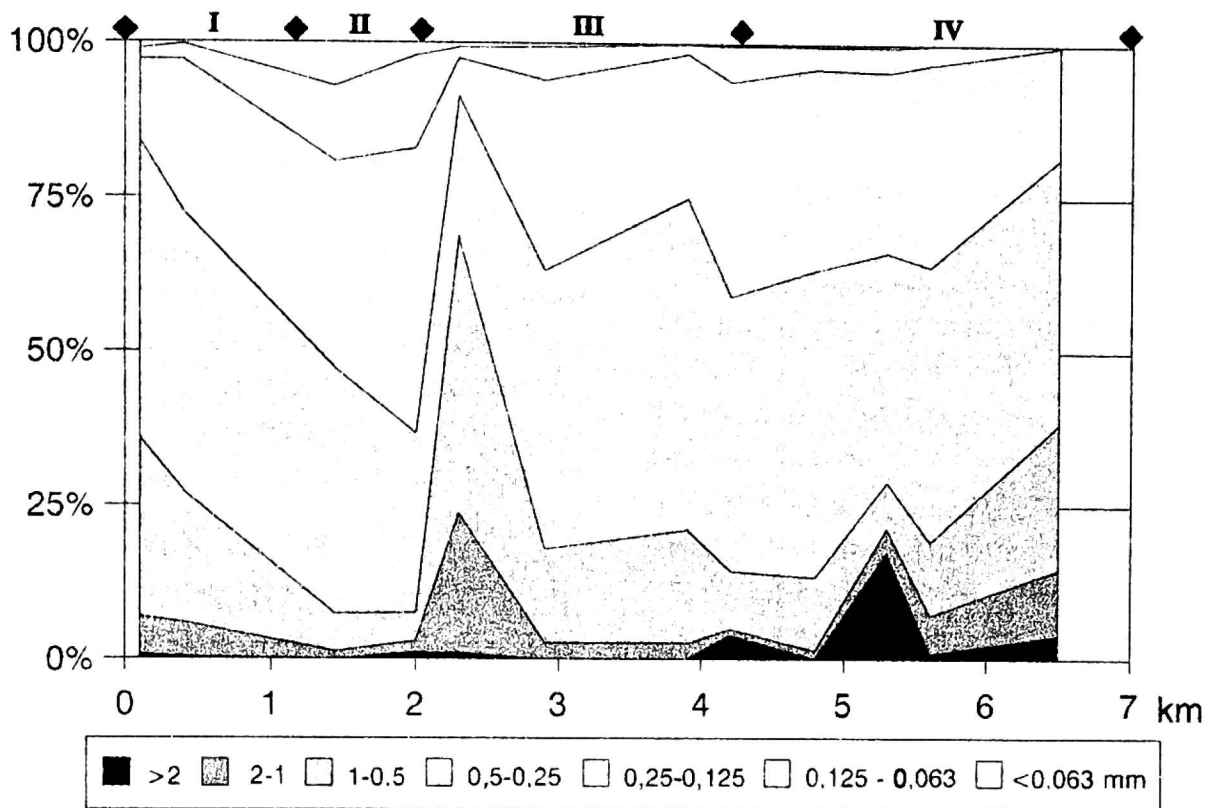


Rys. 3. Profil podłużny doliny Kłudy

1 – profil podłużny doliny, 2 – ujścia ważniejszych dopływów, 3 – granice segmentów z odpowiadającymi im wartościami spadków, 4 – granice odcinków, 5 – profile poprzeczne doliny, 6 – odcinki wytopiskowe (1), odcinki przełomowe doliny (2)

Fig. 3. Longitudinal profile of the Kłuda valley

1 – longitudinal profile of the valley, 2 – mouths of the main tributaries, 3 – limits of segments with their gradients, 4 – limits of reaches, 5 – cross-profiles of the valley, 6 – melt-out basins (1), river gaps (2)



Rys. 4. Uziarnienie materiału dennego (facja nurtowa) wzdłuż biegu Kłudy  
Zaznaczono granice segmentów

Fig. 4. Grain-size of bed material (current facies) along the Kłuda channel  
Limits of segments have been marked

spadku (rys. 3) Kłuda płynie w wąskim uregulowanym korycie, które rozcina wypełnione materiałem organiczno-mineralnym (torfy, gytie) dno wytopiska, a w materiale budującym dno wzrasta udział mułków (rys. 4).

Środkowy bieg doliny (segment III) o największym zróżnicowaniu morfologicznym, obejmuje zwężenia doliny o charakterze przełomowym i niewielkie rozszerzenie. Dno doliny na tym odcinku zwęża się do kilku metrów, osiągając w dolnej części odcinka przełomowego głębokość ponad 10 metrów. Piaszczysto-żwirowe koryto Kłudy ma kręty przebieg, z położonymi na przemian odcinkami erozyjnymi i akumulacyjnymi.

Poniżej odcinka przełomowego dolina obejmuje dwa rozległe rozszerzenia o szerokości do 400 m (segment IV). Odcinki rozszerzeń przedzielone są niewielkim przełomem Kłudy (rys. 3) przez formę szczelinową zbudowaną z osadów fluwioglacjalnych. Rzeka płynie

w głębokiej dolinie nacinając osady piaszczysto-żwirowe (rys. 4).

W odległości 250 m od ujścia Kłudy zaznacza się oddziaływanie zbiornika młyńskiego na Parsęcie, który wpływa na zmianę bazy erozyjnej, prędkość przepływu wody i wymusza akumulację materiału zawieszzonego.

Zmienność morfologiczna między segmentami koryta pociąga za sobą jednocześnie zmianę parametrów hydraulicznych, co w efekcie decyduje o przebiegu procesów fluwialnych. Warto natomiast zwrócić uwagę, że od 2,46 km biegu rzeki (od 2 odcinka, III segment, rys. 2) w przekrojach poprzecznych koryta stosunek szerokość/średnia głębokość jest większy od 10. Świadczy to o większej dostępności materiału podłoża i dennego do transportu aniżeli osadów budujących krawędzie brzegowe koryta, z tym, że relacje te mogą ulegać zmianie podczas wzrostu przepływu wody.

## ŹRÓDŁA DOSTAWY MATERIAŁU KLASTYCZNEGO DO TRANSPORTU FLUWIALNEGO

W trakcie kartowań geomorfologicznych wzdłuż profilu podłużnego Kłudy zarejestrowano 4 główne grupy źródeł materiałów mineralnych i organicznych dostarczanych do koryta rzecznego (tab. 1). Dostawa ta następuje poprzez sieć hydrograficzną, z obwodu zwilżonego koryta (dostawa z dna i brzegów koryta) i ze źródeł biogenicznych oraz antropogenicznych. Wyniki rejestracji występujących źródeł dostawy cząstek stałych w skali jakościowej dla segmentów i odcinków przedstawiono w tabeli 1.

Przeprowadzone w obrębie segmentów i odcinków kartowanie źródeł dostawy materiału klastycznego wskazuje, że najważniejszą strefę dostawy stanowi obwód zwilżony koryta, a szczególnie erozyjne dno koryta i krawędzie brzegowe. Mniejsze znaczenie mają rozmywane formy akumulacji dennej: łachy śródkorytowe i przybrzeżne. W czasie podnoszenia się stanów wody, odsłonięte uprzednio fragmenty dna koryta dostarczają do koryta materiał, który podczas niskich i ustabilizowanych przepływów podlegał oddziaływaniu czynników zewnętrznych (m.in. wiatr, wysychanie). W okresie wysokich wodostanów obszar dostawy powiększa się o wysokość krawędzi brzegowych koryta.

Na wielu odcinkach krawędzi koryta Kłudy wykazują ślady erozyjnego cofania: rozmywania lub podcinania. Towarzyszą im małe zerwy i osuwiska, które rozmywane są ważnym źródłem dostawy materiału do koryta rzecznego. Częściowo ruchy masowe są również uaktywniane przez wysięki i wycieki wód gruntowych, a ich występowanie nie zawsze powiązane jest z aktualnymi zjawiskami hydrologicznymi. W odcinkach przełomowych rzeka podcina bezpośrednio zbocza doliny, w miejscach

gdzie stanowią one zarazem brzeg koryta rzecznego. W obrębie pozostałych odcinków szerokie, płaskie dno doliny ogranicza bezpośrednią dostawę materiału ze stoków.

Przeprowadzone kartowanie strefy brzegowej wskazuje, że materiał z jej obrębie uruchamiany jest przez procesy erozji bocznej, ruchy masowe, spływ powierzchniowy i rozbryzg. W okresie zimowym czynnikiem inicjującym i przyspieszającym erozję boczną może być lód gruntowy. RACHOCKI (1974) i TEISSEYRE (1984) przypisują duże znaczenie udziałowi lodu gruntowego w cofaniu się brzegów koryta rzecznego, a zarazem w dostawie materiału do transportu.

Udział systemu korytowego Kłudy w dostawie materiału klastycznego do kształtowania transportu fluwialnego uzależniona jest również czynnika biogenicznego. Na odcinkach o użytkowaniu łąkowym w obrębie segmentu II i IV, roślinność trawiasta o gęstym systemie korzeniowym spełnia ważną rolę w umacnianiu brzegów i zmniejszeniu wielkości dostawy. Na obszarach leśnych, drzewa, tworząc ostrogi biogeniczne, wpływają na warunki spływu wód, uruchamianie erozji bocznej i zmianę geometrii koryta (por. KELLER, SWANSON 1979, THORNE 1990). Makroszczątki organiczne: liście, gałęzie i fragmenty krzewów występujące w korycie również istotnie oddziałują na energię przepływu wody wymuszając lokalnie akumulację transportowanego materiału (por. TERNAN, MURGATROYD 1984 i THOMSON 1995).

Dostawa materiału zawieszzonego z pozostałych, wydzielonych źródeł nie jest zasadniczo związana ze stanami wody. Źródła powiązane z działalnością człowieka są mało efektywne i oddziałują epizodycznie. Udział dróg polnych w dostawie materiału klastycznego rozpatrywano wielokrotnie dla obszarów górskich i wyżynnych (BIERNAT,



T a b e l a 1. Źródła dostawy materiału klastycznego do koryta rzeczno-

T a b l e 1. Sources of delivery of clastic material into the river channel

Segment – Segment Odcinek – Reach	I		II		III				IV		
	1	2	1	2	1	2	3	4	1	2	3
Źródła dostawy – Delivery sources	1. Sieć hydrograficzna – Hydrographic network										
	a) wody powierzchniowe – surface water										
z poprzedzającego odcinka cieku – from preceding reach	-	=	=	=	=	+	+	+	+	+	+
z dopływów – from tributaries	-		-		=	=	=	+	+		+
z rowów melioracyjnych – from irrigation canals	-	#	=	+			-		+		+
	b) wody gruntowe – ground water										
z drenów – from drainage ditches									+		+
z wysięków, wycieków i źródeł – from springs etc.				-	=	+	=	+	+		+
z obszarów nasyconych – from saturated areas	+	+	=	=	-	+	-	+	+		+
	2. Obwód zwilżony koryta – Channel perimeter										
z erozyjnego dna koryta – from eroded channel bed					+	+	-	+	+	+	
z podwodnych form akumulacyjnych – from underwater accumulation forms	=	-			+	+	+	+	+	=	=
z wynurzonych fragmentów dna koryta – from exposed fragments of river bed			+	+		=	-	-	+	+	+
z krawędzi brzegowych – from bank edges	=	-	=	=	+	=	=	+	+	-	+
	3. Elementy biogeniczne – Biogenic elements										
	obumarła roślinność – dead plants										
korytowa – channel	-	=	=	+							
brzegowa – bank	-	+	-	+				-			
	żywa roślinność – living plants										
korytowa – channel	+	-	=	-	-		+	=	+		=
brzegowa – bank	+	=		+	=	-	+	-	=	+	+
działalność zwierząt w wodzie – activity of animals in water	-	-	-			-		-			
dojścia zwierząt do koryta terasy zwierzące – watering places animal terraces	=	=	-	=	=	+	=	=	+		+
	4. Dostawa antropogeniczna – Man-made delivery										
zrzuty ścieków – sewage								-			
odpady – waste materials								-			
drogi polne i ścieżki – field road and paths	#		#				#		#	-	
dojścia do koryta – watering places			#		#	#	-	#	#	#	#
brody – fords					#				#		#
	urządzenia hydrotechniczne – hydraulic-engineering facilities										
mosty – bridges	#		#	#	#		#	#			#
stopnie i jazy – stages and weirs				#				#			
	umocnienia brzegowe – bank consolidation										
faszynowe – fascine	#	#	#	#	#						
kamienne – stone					#	#		#			#
betonowe – concrete								#			

Skala natężenia (intensity): + – duża (high), = – średnia (average), - – mała (low), # – stwierdzono występowanie (occurrence observed)

CIUPA 1992; FROEHLICH 1982; FROEHLICH, SŁUPIK 1986; KRZEMIEN, ŚWIĘCHOWICZ 1992), a także młodoglacjalnych (SMOLSKA 1996). W przypadku zlewni Kłudy nie stwierdzono dostawy materiału drogami polnymi, co spowodowane jest małą ilością dróg dochodzących bezpośrednio do koryta oraz niewielkim ich nachyleniem w kierunku koryta, co nie sprzyja organizacji spływu wody. Istotną natomiast, na niektórych odcinkach, jest modyfikacja procesów fluwialnych przez zabudowę hydrotechniczną. Zabudowa ta w obrębie strefy brzegowej koryta utrudnia dostawę materiału do rzeki. Poza tym funkcjonowanie zastawki (zamykającej segment II) oraz istnienie jazu w Przeradzi (segment III, odcinek 3) wpływa na wielkość transportu w dół rzeki. Cofka zbiornika młyńskiego na Parsęcie wywołuje sedymentację drobnych osadów w obrębie odcinka ujściowego Kłudy, ograniczając dostawę materiału zawieszonoego do Parsęty.

Rozpoznane źródła dostawy materiału klastycznego dla koryta Kłudy funkcjonują również ze zmiennym natężeniem w przypadku pozostałych strumieni w zlewni.

Uzyskanie kompletnego obrazu dostawy materiału klastycznego ze zlewni do koryta Kłudy i określenie ilościowego udziału dostawy z poszczególnych źródeł wymaga przeprowadzenia pomiarów wielu procesów kształtujących koryto rzeczne i stoki doliny. Dla takiego rozpoznania konieczne jest jednak zorganizowanie specjalnego systemu pomiarowego (por. DUYSINGS 1986, 1987).

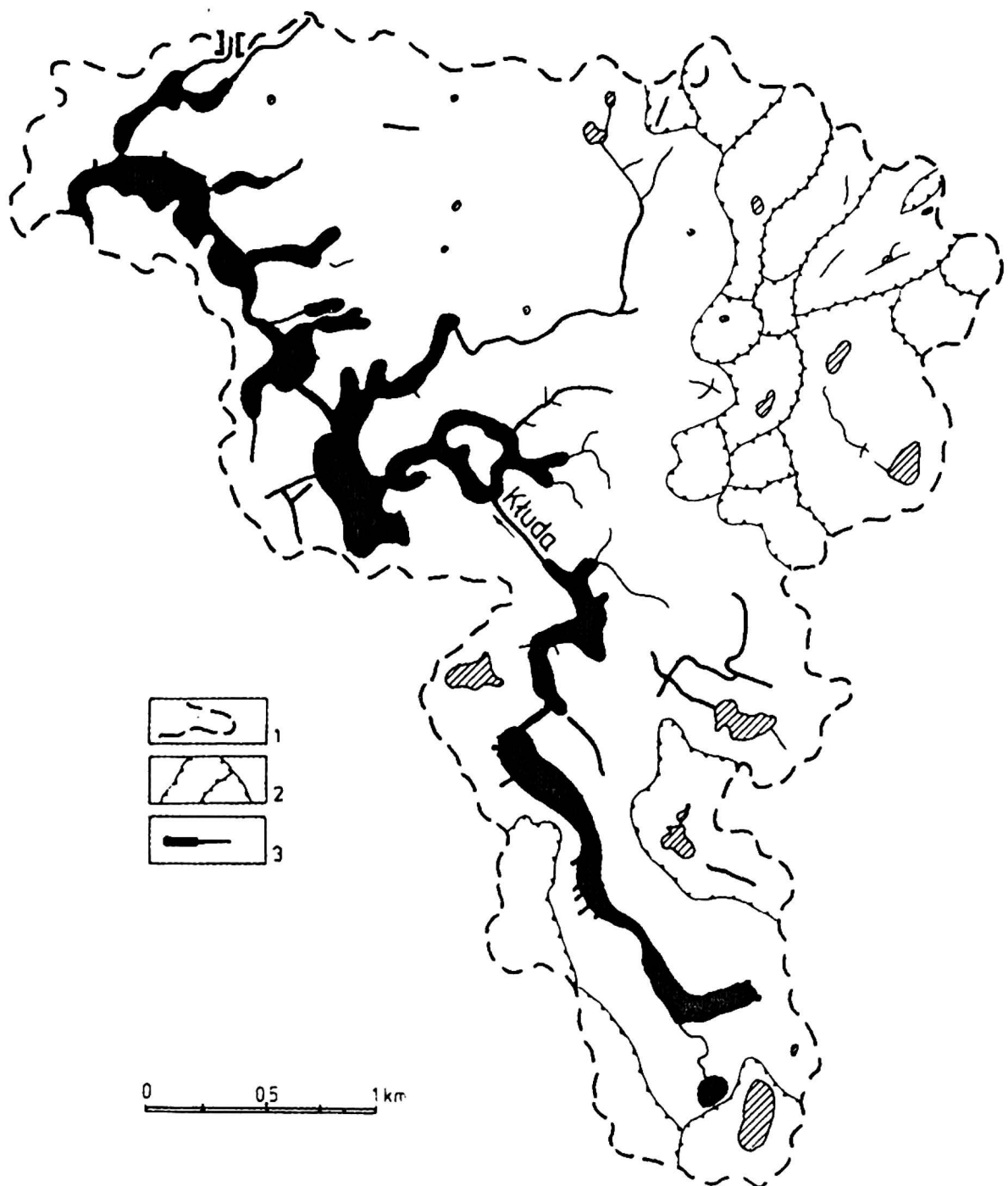
#### OBSZARY DOSTAWY MATERIAŁU KLASTYCZNEGO DO TRANSPORTU FLUWIALNEGO

Wyniki kartowań geomorfologicznych stały się podstawą wyznaczenia najczęściej obserwowanego w okresie badań zasięgu strefy, z której dostarczany był

materiał do koryta Kłudy (rys. 5). Strefa ta obejmuje system korytowy, odcinki przełomowe sieci dolinnej oraz obszary podmokłe o wysokim poziomie wód gruntowych, na których, w okresach opadowych czy roztopowych, powstają warunki spływu powierzchniowego nasyconego. Wymienione źródła obejmują około 10,9% powierzchni zlewni włączonej do odwodnienia powierzchniowego, a w tym 0,8% stanowi powierzchnia systemu korytowego.

Na bardziej ograniczony zasięg dostawy materiału klastycznego wskazują badania przeprowadzone przez SMOLSKĄ (1996) na Pojezierzu Suwalskim. Autorka podaje, że materiał transportowany w korycie rzeczonym Szeszupy pochodzi maksymalnie z około 3–5% powierzchni zlewni, a dostawa ograniczona jest do koryta rzecznoego i tylko w odcinkach przełomowych pochodzi ze zboczy doliny. Należy jednak zaznaczyć, że w obliczeniach tych nie zostały uwzględnione prawdopodobnie obszary bezodpływowe, które stanowią około 48% powierzchni zlewni Szeszupy.

Bardzo trudne wydaje się być ustalenie dynamiki zasięgu stref dostawy materiału klastycznego do koryta rzecznoego. Ich ekspansja i kurczenie się zależy od natężenia i długości trwania opadu, warunków wilgotnościowych podłoża oraz okresu wegetacyjnego (por. FROEHLICH 1982, 1992; SŁUPIK 1981; WALLING 1983). W zlewni Kłudy wzrost obszarów zasilania, jak i dostawy materiału do transportu fluwialnego jest następstwem okresowego charakteru funkcjonowania sieci hydrograficznej w zlewni oraz zmian długości i powierzchni systemu korytowego. Istotną jest również dostawa z rozszerzającej się wzdłuż koryta w okresie opadów, strefy saturacji. Strefa ta obejmuje tereny stale nasycone wodą w odcinkach przełomowych Kłudy i jej dopływów, młaki, nisze źródlis-



Rys. 5. Obszary dostawy materiału klastycznego do koryt rzecznych w zlewni Kłudy  
 1 - wododział, 2 - obszary bezodpływowe powierzchniowo, 3 - obserwowane obszary uruchamiania materiału klastycznego

Fig. 5. Areas contributing clastic material to rivers in the Kłuda catchment

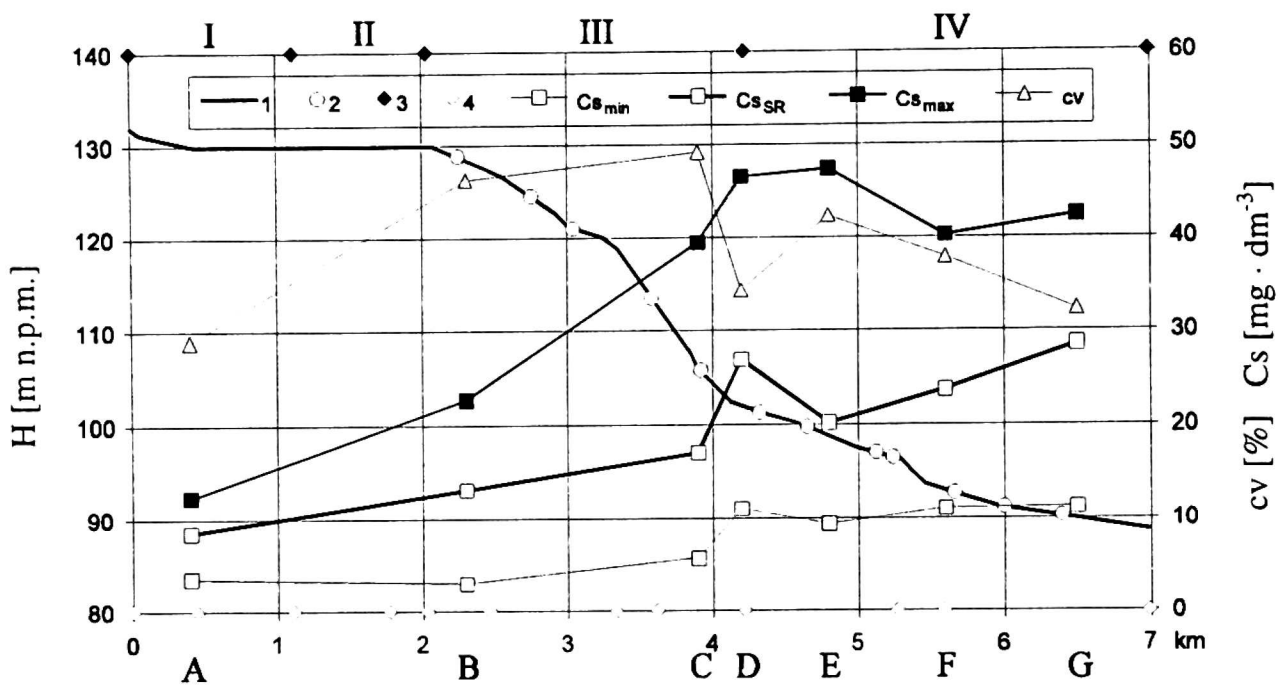
1 - watershed, 2 - basins without surface outlet, 3 - observed source areas of clastic material

kowe oraz obszary podmokłe stale i okresowo w obrębie odcinków wytopiskowych doliny.

#### ZRÓŻNICOWANIE TRANSPORTU ZAWIESINY W PROFILU PODŁUŻNYM KŁUDY

Wyniki pomiarów koncentracji zawiesiny prowadzone dla stanowisk A-G

(rys. 6) wskazują na wyraźne jej zróżnicowanie wzdłuż biegu Kłudy, które wynika z epizodycznego charakteru transportu suspensyjnego oraz związanej z tym okresowej, lokalnej depozycji materiału zawieszonego w systemie korytowym. Istotny wpływ na zmiany koncentracji zawiesiny, która składa się w 37-63% z części mineralnych, mają warunki spływu wody oraz skład mechaniczny osadów dennych



Rys. 6. Zróznicowanie koncentracji materiału zawieszzonego w profilu podłużnym Kłudy, lata hydrologiczne 1990–1993

1 – profil podłużny, 2 – ujścia dopływów, 3 – granice segmentów (I–IV), 4 – granice odcinków;  $C_{s_{min}}$  – minimalne wartości koncentracji zawiesiny,  $C_{s_{SR}}$  – średnie wartości koncentracji zawiesiny,  $C_{s_{max}}$  – maksymalne wartości koncentracji zawiesiny,  $cv$  – współczynnik zmienności koncentracji zawiesiny; A–G – stanowiska pomiarowe

Fig. 6. Differences in suspended sediment concentration along the Kłuda channel, hydrological years 1990–1993

1 – longitudinal profile, 2 – mouths of tributaries, 3 – limits of segments (I–IV), 4 – limits of reaches;  $C_{s_{min}}$  – minimum suspended sediment concentration,  $C_{s_{SR}}$  – mean suspended sediment concentration,  $C_{s_{max}}$  – maximum suspended sediment concentration,  $cv$  – coefficient of variation of suspended sediment concentration; A–G – measurement sites

w korycie Kłudy. Bez względu na warunki meteorologiczne i hydrologiczne najniższe wartości koncentracji  $C_s$  notowano w odcinku źródłiskowym i w obrębie pierwszego rozszerzenia wytopiskowego (stanowisko A i B, rys. 6). Pomimo, że dno koryta w tych segmentach buduje głównie materiał drobnopiaszczysty i mułkowy (rys. 4), mały spadek i powolny odpływ decydują o niewielkim natężeniu transportu. Proces uruchamiania materiału dennego hamuje dodatkowo roślinność występująca w korycie. Najwyższe wartości koncentracji zawiesiny związane są z dolnym odcinkiem przełomowym w obrębie segmentu III, który cechuje się dużym spadkiem i znaczną prędkością spływu wody. Głównym źródłem dostawy materiału jest dno koryta, a w okresie wzrostu przepływu odsłonięte uprzednio fragmenty dna. Lokalnie wyższe koncentracje zawiesiny

mogą być związane z dostawą z obszarów nasyconych występujących wzdłuż koryta oraz z podcinanych zboczy doliny. Niższe koncentracje notowane u wylotu małego przełomu w obrębie IV segmentu, wynikają z ograniczenia dostawy z krawędzi brzegowych wskutek umocnienia strefy brzegowej opaską kamienną oraz roślinnością. Rozmywanie dna koryta na tym odcinku jest natomiast utrudnione przez znaczny udział frakcji żwirowej z kamieniami w materiale dennym. Poniżej odcinka przełomowego (segment IV, odcinek 1), w miejscu rozszerzenia doliny i zmiany energii rzeki wywołanej zmianą spadku koryta, zmniejsza się transport zawiesiny (stanowisko E). Okresowej depozycji na tym odcinku sprzyja również roślinność występująca na dnie koryta. Wzrost koncentracji materiału zawieszzonego notowano na stanowisku G, co

związane jest z rozmywaniem piaszczystego dna koryta (rys. 2) oraz z dostawą do koryta, poprzez system rowów melioracyjnych, frakcji ilastych oraz koloïdów organicznych i żelazistych.

Na zmianę ilości materiału transportowanego w Kłudzie mają wpływ dopływy, które stanowią drogi dostawy z obszarów poza główną doliną rzeczną. Można przypuszczać, że podczas niskich i średnich przepływów dostawa przez cieki uchodzące do Kłudy na obszarach wytopiskowych jest ograniczona, wskutek małego spadku koryt w odcinkach ujściowych, jak i znacznego zarosnięcia koryt. Większy udział w dostawie materiału zawieszono mogą mieć dopływy w odcinkach przełomowych (segment III).

Okresowość funkcjonowania części cieków w zlewni Kłudy może również wpływać na sezonowe zmiany wielkości dostawy materiału klastycznego, gdy po opadach i wznowieniu odpływu następuje szybkie uruchomienie i odprowadzanie dostępnego w korycie materiału. Podobne obserwacje przedstawiają m.in. COLEMAN i SCATENA (1986).

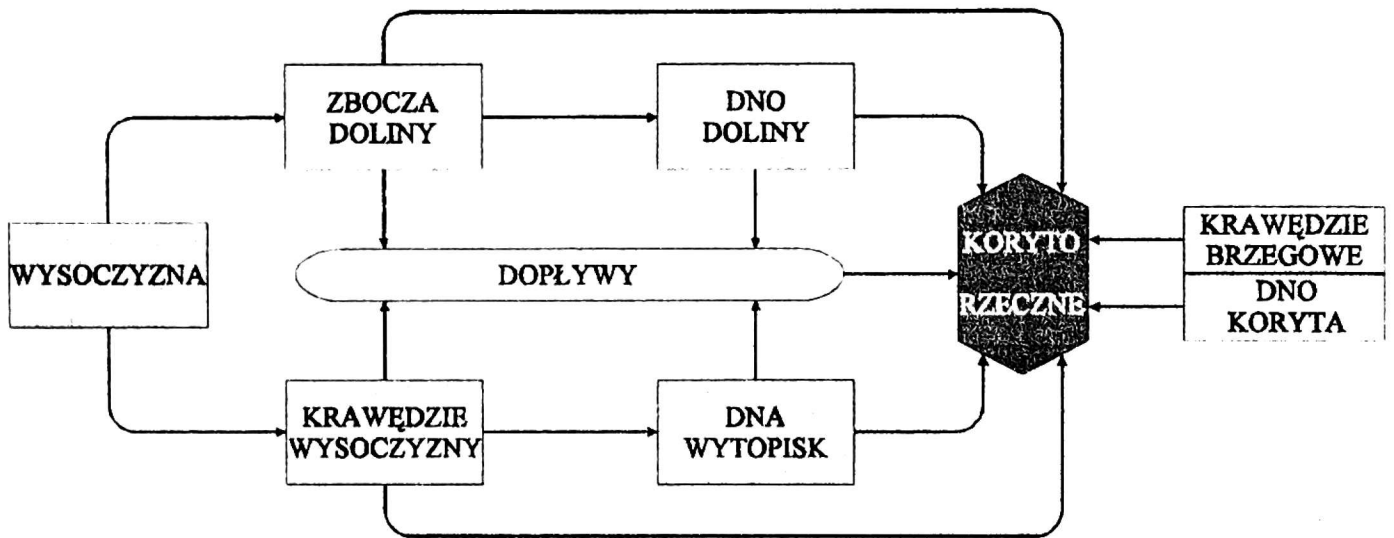
Wzrost koncentracji zawiesiny generalnie łączony jest ze wzrostem przepływu (m.in. FINLAYSON 1978; FROELICH 1975, 1982; KRZEMIEN, ŚWIĘCHOWICZ 1992; WEBB, WALLING 1982; ZWOLIŃSKI 1989). Maksymalne wartości koncentracji zawiesiny w Kłudzie związane były z występowaniem najwyższych przepływów. Ze wzrostem przepływu powiększa się strefa dostawy materiału klastycznego, a jej zasięg zależny jest od natężenia opadów czy roztopów i warunków wilgotnościowych gleby. Duży wzrost koncentracji zawiesiny w okresie wysokich stanów, ma miejsce w segmencie przełomowym (III), gdzie obserwowane jest włączanie do transportu materiału z systemu stokowego.

Zmiany wielkości zawiesiny przy wzroście przepływu obserwowane w po-

szczególnych stanowiskach pomiarowych wzdłuż Kłudy wskazuje również na problem dostępności materiału do transportu fluwialnego i jego wyczerpywania się. Zróznicowanie czasowe i przestrzenne możliwości dostawy materiału klastycznego jest przyczyną trudności w znalezieniu prostych zależności między przepływem wody  $Q$  a koncentracją zawiesiny  $C_s$ , szczególnie w zlewniach niższego rzędu. Przeprowadzone obserwacje potwierdzają wnioski wysunięte przez FINLAYSONA i WANGA (1982) oraz IMESONA i VISA (1984), że relacje uzyskane podczas badań w małych zlewniach nie mogą być wprost ekstrapolowane na inne obszary. Pomiarzy prowadzone wzdłuż Kłudy wskazują także, że położenie przekroju hydrometrycznego w zlewni warunkuje otrzymane wartości natężenia transportu fluwialnego. FROELICH (1982, 1992) podkreśla, że znajomość tego faktu jest szczególnie istotna przy ekstrapolacji wyników z jednego przekroju hydrometrycznego na powierzchnię całej zlewni.

#### POWIĄZANIA MIĘDZY SYSTEMEM STOKOWYM I SYSTEMEM KORYTOWYM

Wzajemne relacje między stokiem a korytem rzeczonym stanowią ważny czynnik o charakterze ponadregionalnym, warunkujący krążenie wody i materiału klastycznego, a zarazem są wg CAINE'A i SWANSONA (1989) „krytyczną granicą” dla przepływu energii i materii w geosystemie. Dno doliny, w zależności od swojej rzeźby, budowy litologicznej, pojemności infiltracyjnej, szorstkości czy roślinności, pełni funkcję regulatora czy strefy buforowej dla wody i osadów pochodzących ze stoków, jak i osadów z przepływów pozakorytowych. Poznanie relacji między stokiem a korytem rzeczonym jest podstawą do interpretacji krótkoterminowych zmian w zlewni, jak i jej ewolucji w dłuższej skali czasu.



Rys. 7. Model morfosystemów kaskadowych w zlewni Kłudy

Fig. 7. Model of cascade morphosystems in the Kłuda catchment

Szczegółowa analiza stref dostawy materiału klastycznego w obrębie kolejnych segmentów koryta Kłudy pozwala rozpatrywać kontakt systemu stokowego (strefa I zasilania wg SCHUMMA 1977) z systemem korytowym (strefa II przemieszczania) w następujących układach morfologicznych (rys. 7):

- A. wysoczyzna → zbocza doliny → dno doliny → koryto rzeczne,
- B. wysoczyzna → zbocza doliny → koryto rzeczne,
- C. wysoczyzna → krawędzie wysoczyzny → dna wytopisk → koryto rzeczne,
- D. wysoczyzna → krawędzie wysoczyzny → koryto rzeczne.

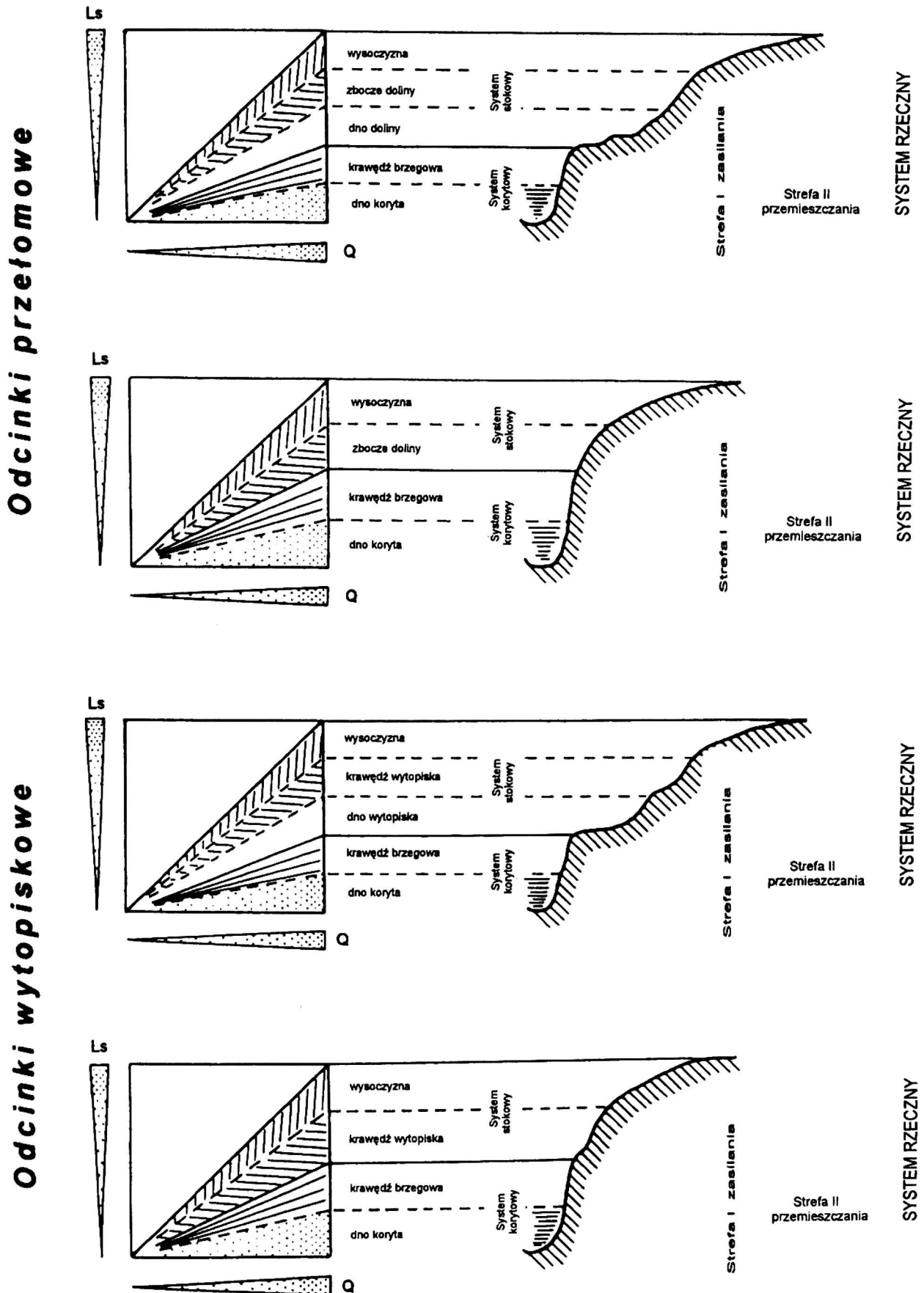
Każdy z tych układów morfologicznych stanowi system kaskadowy, którego elementy są powiązane ze sobą przepływem wody i materiału klastycznego. Wyróżnione układy, jak i ich elementy, różnią się potencjałem energetycznym rzeźby, tempem i charakterem krążenia wody, a w konsekwencji mechanizmem dostawy materiału do koryta rzeczno-ego. Należy zaznaczyć, że każdy z wymienionych układów morfologicznych może być modyfikowany przez występowanie dopływów, które przestrzennie wydłużają drogi krążenia wody i mate-

rii, natomiast pod względem czasowym znacznie je skracają.

Funkcjonowanie czterech układów morfologicznych w dolinie Kłudy wskazuje, że model zależności: ładunek zawiesiny – przepływ wody (rys. 8), wzorowany na diagramie COLLINSA (1981), powinien uwzględniać:

1. hydraulikę spływu wody w korycie rzeczno-ym, która decyduje o zdolności transportowej jak i o możliwości uruchamiania materiału, głównie aluwialnego w obrębie systemu korytowego,
2. czynniki hydrologiczne i ruchy masowe odpowiedzialne za dostawę materiału z procesów denudacyjnych przebiegających w systemie stokowym.

W odcinkach przełomowych, stanowiących 31,8% długości doliny Kłudy występuje zamienna przestrzennie i czasowo dostawa materiału klastycznego w układach morfologicznych A i B. W przypadku funkcjonowania układu A dostawa materiału klastycznego ze zlewni i zboczy następuje poprzez dno doliny (rys. 8). W okresie opadów, w zależności od warunków wilgotnościowych gruntu i rozwoju szaty roślinnej, następuje ekspansja strefy saturacji w dnie doliny i materiał dostarczany jest do koryta rzeczno-ego poprzez rozbryzg, spływ powierzchniowy nasycony czy spływ



Rys. 8. Diagramy relacji między ładunkiem zawiesziny  $L_s$  a przepływem wody  $Q$  w zależności od stref dostawy denudowanego materiału do koryta rzecznego dla morfosystemów kaskadowych w zlewni Kłuda  
 Fig. 8. Diagrams of relations between the suspended load  $L_s$  and water discharge  $Q$  depending on the zones supplying eroded material to the river channel for cascade morphosystems in the Kłuda catchment

powrotny. Migracja koryta rzecznego powoduje, że wody rzeczne zaczynają bezpośrednio kształtować zbocza doliny. W układzie następuje wyeliminowanie dna doliny, a dostawa materiału do transportu następuje na skróconej drodze: zbocze doliny → koryto rzeczne. Materiał do transportu z podcinanych zboczy doliny dostarczany jest poprzez erozję boczną, ruchy masowe i spłukiwanie.

Ze względu na znaczny udział odcinków o charakterze wytopiskowym (57,8% długości doliny) w dolinie Kłudy wydzielono układy morfologiczne C i D. W przypadku układu C elementem łączącym koryto rzeczne ze zlewnią jest krawędź wysoczyzny i dno wytopiska (rys. 8). Trwałe użytki zielone w obrębie odcinków wytopiskowych doliny, powodują transformację odpływu powierzchniowego w podpowierzchniowy oraz wywołują czasową akumulację dostarczanych ze stoków materiałów. Jednocześnie obszary te charakteryzują się znacznym stopniem nawilgotnienia strefy aeracji i wysokim poziomem wód gruntowych, co powoduje że w okresie opadów czy roztopów mają one duży udział w zasilaniu koryta rzecznego (odpływ z obniżen wg KANIECKIEGO 1994). Ważną rolę spełnia sieć rowów melioracyjnych, które przyspieszają obieg wody na tym terenie i dostarczają do koryta frakcji ilastych i części organicznych. W układzie D następuje modelowanie krawędzi wysoczyzny przez płynącą wodę i przekształcanie obniżen sukcesyjnych w dolinę rzeczna.

Porównanie układów morfologicznych A i C oraz B i D pozwala wnioskować o konwergencji morfosystemowej tych układów. Funkcjonowanie układów B i D jest podobne, pomimo ich odmierności morfogenetycznej. Styl krążenia wody i materii jest zbliżony i uwarunkowany tymi samymi czynnikami. W przypadku układów A i C

oprócz różnic morfogenetycznych den wytopiskowych i dolinnych należy zwrócić uwagę na odmienne wypełnienie litologiczne, a mianowicie organiczno-mineralne dla wytopisk i mineralne dla dna dolinnego. Zróżnicowanie to powoduje odmienny sposób dostawy materiału do koryta rzecznego, a równocześnie wyznacza odrębny charakter współczesnego modyfikowania koryta rzecznego.

Niezależnie od wydzielonych układów morfologicznych ważna rola przypada systemowi korytowemu, który w głównej mierze odpowiedzialny jest za wielkość wynoszenia materiału poza obręb badanej zlewni rzecznej. W obrębie koryta rzecznego można wyróżnić dwa zasadnicze źródła dostawy materiału do transportu fluwialnego, a mianowicie krawędzie brzegowe i dno koryta (rys. 7).

Zarówno krawędzie brzegowe, jak i dno koryta rzecznego są kształtowane w warunkach subakwalnych, a okresowo subaerycznych. Przemienność tych warunków rozwoju koryta rzecznego powoduje, iż system korytowy jest najbardziej efektywny w dostawie materiału do transportu.

#### PODSUMOWANIE

W skali zlewni Kłudy uwarunkowania lokalne wynikające z morfologii, litologii, wykształcenia i organizacji sieci rzecznej oraz użytkowania terenu mają pierwszorzędne znaczenie dla przebiegu i natężenia transportu zawiesiny w korycie rzeczonym. Badania wskazują, że każdy z wydzielonych segmentów i odcinków koryta Kłudy charakteryzuje się zmiennymi w czasie strefami zasilania i dostawami materiału klastycznego do transportu fluwialnego. Zmienność obszarów dostawy materiału klastycznego w analizowanej zlewni powoduje brak wyraźnych zależności między



powierzchnią zlewni a ładunkiem transportowanego materiału oraz między przepływem wody a koncentracją zawiesiny.

Zróźnicowanie wielkości dostawy materiału klastycznego wzdłuż biegu Kłudy wynika również z charakteru kontaktu systemu korytowego i stokowego. W zlewni Kłudy bezpośredni udział stoków w dostawie do koryta rzecznoego możliwy jest jedynie w odcinkach przełomowych doliny. Powiązania między systemem stokowym i korytowym stanowią czynnik o charakterze ponadregionalnym decydujący o ładunek materiału zawieszonoego odprowadzonego ze zlewni. Relacje te znajdują swe odbicie w krótkoterminowych zjawiskach histereicznych (por. KLEIN 1984; RIEGER et al. 1988). Można spodziewać się, że kształt i kierunek pętli histerezy będzie miał odmienny przebieg w profilu podłużnym Kłudy ze względu na zróźnicowanie przestrzenne źródeł dostawy materiału i czas ich dostawy do systemu korytowego w obrębie wydzielonych układów morfologicznych, a także ze względu na wyczerpywanie się osadów dostępnych do transportu fluwialnego.

## LITERATURA

- BIERNAT T., 1985: Areas supplying weathered material and the mechanism of transportation of the suspended material in the Łososina catchment area (Holy Cross Mountain, central Poland). *Quaest. Geogr., Spec. Issue*, 1, s. 61–73.
- BIERNAT T., CIUPA T., 1992: Denudacja mechaniczna i chemiczna we wschodniej części pasa wyżyn południowopolskich. [w:] KOTARBA A. (ed.) *System denudacyjny Polski*, Pr. Geogr. IGPZ PAN, 155, s. 133–148.
- BRAŃSKI J., 1968: Oznaczanie ilości unosin metodą wagową bezpośrednią przy użyciu sączków. *Pr. PIHM*, 94, s. 13–21.
- BRIZGA S. O., FINLAYSON B. L., 1994: Interactions between upland catchment and lowland rivers: an applied Australian case study. *Geomorphology*, 9, s. 189–201.
- BURT T. P., HAYCOCK N. E., 1996: Linking hillslopes to floodplains. [w:] ANDERSON M. G., WALLING D. E., BATES P. D. (ed.) *Floodplain processes*, John Wiley & Sons Ltd., s. 461–492.
- CAINE N., SWANSON F. J., 1989: Geomorphic coupling of hillslope and channel systems in two small mountain basins. *Z. Geomorph. N. F.*, 33, 2, s. 189–203.
- COLEMAN D. J., SCATENA F. N., 1986: Identification and evaluation of sediment sources. *IAHS Publ.*, 159, s. 3–18.
- COLLINS M. B., 1981: Sediment yield studies of headwater catchments in Sussex, S. E. England. *Earth Surf. Proc. and Landf.*, 6, s. 517–539.
- DE BOER D. H., CROSBY G., 1995: Evaluating the potential of SEM/EDS analysis for fingerprinting suspended sediment derived from two contrasting topsoils. *Catena*, 24, s. 243–258.
- DUYSINGS J. J. H. M., 1986: The sediment supply by streambank erosion in a forested catchment. *Z. Geomorph., Suppl.-Bd.*, 60, s. 233–244.
- DUYSINGS J. J. H. M., 1987: A sediment budget for a forested catchment in Luxembourg and its implications for channel development. *Earth Surf. Proc. and Landf.*, 12, s. 173–184.
- FALKOWSKI E., 1971: Historia i prognoza rozwoju układu koryta wybranych odcinków rzek nizinnych Polski. *Biul. Geol., UW*, 12.
- FINLAYSON B. L., 1978: Suspended solids transport in a small experimental catchment. *Z. Geomorph.*, 22, s. 192–210.
- FINLAYSON B. L., WONG N. R., 1982: Storm runoff and water quality in an undisturbed forested catchment in Victoria. *Aust. For. Res.*, 12, s. 303–315.
- FROELICH W., 1975: Dynamika transportu fluwialnego Kamienicy Nawojowskiej. *Pr. Geogr. IGPZ PAN*, 114.
- FROELICH W., 1982: Mechanizm transportu fluwialnego i dostawy zwietrzelin w górskiej zlewni fliszowej. *Pr. Geogr. IGPZ PAN*, 143.
- FROELICH W., 1992: Mechanizm erozji i transportu fluwialnego w zlewniach beskidzkich. [w:] A. KOTARBA (ed.) *System denudacyjny Polski*, Pr. Geogr. IGPZ PAN, 155, s. 171–189.
- FROELICH W., SŁUPIK J., 1986: Rola dróg w kształtowaniu spływu i erozji w karpaczkich zlewniach fliszowych. *Przeegl. Geogr.*, 58, s. 67–87.
- IMESON A. C., VIS M., 1984: The output of sediments and solutes from forested and cultiva-

- ted clayey drainage basins in Luxembourg. *Earth Surf. Proc.*, 9, s. 585–594.
- KANIECKI A., 1994: Charakterystyka hydrologiczna górnej Parsęty. [w:] KOSTRZEWSKI A. (red.) *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, Stacja Bazowa Storkowo, *Bibl. Monitor. Środ.*, Warszawa, s. 97–104.
- KARCZEWSKI A., 1985: Spatial arrangement of morainic plateau levels of the northern sloping surface in Pomerania as a result of varying deglaciation. *Quaes. Geogr., Spec. Iss.*, 1, s. 99–107.
- KARCZEWSKI A., 1989: Morfogenezę strefy marginalnej fazy pomorskiej na obszarze lobu Parsęty w vistulianie (Pomorze Środkowe). *UAM, Poznań, Geografia*, 44.
- KASZOWSKI L., KOTARBA A., 1970: Wpływ katastrofalnych wezbrań na przebieg procesów fluwialnych (na przykładzie potoku Kobylanka na Wyżynie Krakowskiej). *Pr. Geogr. IG PAN*, 80, s. 5–87.
- KELLER E. A., SWANSON F. J., 1979: Effects of large organic material on channel form and fluvial processes. *Earth Surf. Proc.*, 4, s. 361–380.
- KLEIN M., 1984: Anti-clockwise hysteresis in suspended sediment concentration during individual storms: Holbeck catchment, Yorkshire, England. *Catena*, 11, s. 251–257.
- KOSTRZEWSKI A., 1975: Granulometria zwietrzelin granitowych obszarów górskich Europy. *UAM, Geografia*, 9.
- KOSTRZEWSKI A., KLIMCZAK R., STACH A., ZWOLIŃSKI Z., 1992: Wpływ procesów katastrofalnych na funkcjonowanie współczesnego systemu denudacyjnego obszarów młodoglacjalnych – Pomorze Zachodnie. *Bad. Fizjogr. Pol. Zach.*, 43, s. 55–82.
- KOSTRZEWSKI A., MAZUREK M., ZWOLIŃSKI Z., 1994: Dynamika transportu fluwialnego górnej Parsęty jako odbicie funkcjonowania systemu zlewni. *Stow. Geomorf. Polskich*, Bogucki Wyd. Nauk., Poznań.
- KOSTRZEWSKI A., ZWOLIŃSKI Z., 1985: Kartowanie morfologiczne brzegów koryt rzecznych na przykładzie Parsęty: propozycja sygnatury. *Spraw. PTPN*, 101, s. 32–41.
- KOSTRZEWSKI A., ZWOLIŃSKI Z., 1992: Udział denudacji chemicznej i mechanicznej we współczesnym systemie geomorficznym górnej Parsęty (Pomorze Zachodnie). [w:] KOTARBA A. (red.) *System denudacyjny Polski*, *Pr. Geogr. IGPZ PAN*, 155, s. 11–45.
- KOTARBA A., KASZOWSKI L., KRZEMIEŃ K., 1978: High-mountain denudation system of the Polish Tatra Mountains. *Pr. Geogr. IG PAN, Spec. Iss.* 3.
- KRZEMIEŃ K., 1991: Dynamika wysokogórskiego systemu fluwialnego na przykładzie Tatr Zachodnich. *Wyd. UJ, Rozpr. Habil.* 215.
- KRZEMIEŃ K., ŚWIĘCHOWICZ J., 1992: Zróżnicowanie i zmienność koncentracji zawiesiny w zlewni Starej Rzeki. *Z. Nauk. UJ, Pr. Geogr.*, 88, s. 71–86.
- ŁAJCZAK A., 1989: Zróżnicowanie transportu zawiesiny w karpackiej części dorzecza Wisły. *Dok. Geogr.*, 5.
- MAKSIĄK S., MRÓZ W. J., 1978: Czwartorzęd środkowej części Pojezierza Pomorskiego. *Biul. Inst. Geol.*, 300, s. 97–152.
- MARUSZCZAK H., RODZIK J., ŚWIECA A., 1992: Denudacja mechaniczna i chemiczna we wschodniej części pasa wyżyn południowopolskich (rzeczny odpływ zawieszin i roztworów). [w:] KOTARBA A. (red.) *System denudacyjny Polski*, *Prace Geogr. IGPZ PAN*, 155, s. 105–131.
- MAZUREK M., 1996: Zmienność transportu fluwialnego jako przejaw charakteru funkcjonowania współczesnego systemu denudacyjnego strefy młodoglacjalnej (zlewnia Kłudy, Pomorze Zachodnie). *Arch. ZGD, Poznań*.
- PETERS N. E., HOEHN E., LEIBUNDGUT Ch., TASE N., WALLING D. E. (ed.), 1993: Tracers in hydrology, *IAHS Publ.*, 215.
- PHILLIPS J. D., 1992: Delivery of upper-basin sediment to the lower Neuse River, North Carolina, U.S.A. *Earth Surf. Proc. Landf.*, 17, s. 699–709.
- PIASECKI D., 1982: Ewolucja dolin rzek Przymorza. *Przegl. Geogr.*, LIV, 1–2, s. 49–68.
- RACHOCKI A., 1974: Przebieg i natężenie współczesnych procesów rzecznych w korycie Raduni. *Dok. Geogr.*, 4.
- REID L., M., DUNNE T., 1996: Rapid evaluation of sediment budgets. *Catena Verl.*
- RIEGER W. A., OLIVE L. J., GIPPEL C. J., 1988: Channel sediment behaviour as a basis for modelling delivery processes. *IAHS Publ.*, 174, s. 541–548.
- SCHUMM S. A., 1977: *The fluvial system*. John Wiley & Sons, New York.
- SŁUPIK J., 1981: Rola stoku w kształtowaniu odpływu w Karpatach Fliszowych. *PAN, IGZP, Pr. Geogr.* 142.

- SMOLSKA E., 1996: Funkcjonowanie systemu korytowego w obszarze młodoglacjalnym na przykładzie górnej Szeszupy (Pojezierze Suwalskie). UW WGiSR, Warszawa.
- STACH A., 1992: Pomiar przepływu wody metodą konduktometryczną w profilach nieustabilizowanych małych cieków nizinnych. [w:] KOSTRZEWSKI A., PULINA M. (red.) Metody hydrochemiczne w geomorfologii dynamicznej. Wybrane problemy, Prace Nauk. UŚ, 1254, s. 84–105.
- STARKEL L., 1972: Charakterystyka rzeźby Polskich Karpat (i jej znaczenie dla gospodarki ludzkiej). Probl. Zagosp. Ziem Gór., 10, s. 75–150.
- TEISSEYRE A. K., 1984: Procesy fluwialne i rozwój koryta górnego Bobru na odcinku badawczym w Błazowej (1967–1982). Geol. Sudetica, 19, 1, s. 7–71.
- TERNAN J. L., MURGATROYD A. L., 1984: The role of vegetation in baseflow suspended sediment and specific conductance in granite catchments, S.W. England. Catena, Suppl., 5, s. 51–62.
- THOMPSON D. M., 1995: The effects of large organic debris on sediment processes and stream morphology in Vermont. Geomorphology, 11, s. 235–244.
- THORNE C. R., 1990: Effects of vegetation on riverbank erosion and stability. [w:] THORNES J. B. (ed.) Vegetation and erosion, John Wiley & Sons, Chichester, s. 125–144.
- WALLING D. E., 1983: The sediment delivery problem. J. Hydrol., 65, s. 209–237.
- WALLING D. E., 1990: Linking the field to the river: sediment delivery from agricultural land. [w:] BOARDMAN J., FOSTER I. D. L., DEARING J. A. (ed.) Soil erosion on agricultural land, John Wiley & Sons, Chichester, s. 129–152.
- WALLING D. E., WEBB B. W., 1982: Sediment availability and the prediction of storm-period sediment yields. IAHS Publ., 137, s. 327–337.
- ZWOLIŃSKI Z., 1988: Metody badań erozji bocznej w korytach rzecznych: przegląd i zastosowane techniki na Parsęcie. Bad. Fizjogr. Pol. Zach., 38, s. 179–212.
- ZWOLIŃSKI Z., 1989: Geomorficzne dostosowywanie się koryta Parsęty do aktualnego reżimu rzeczno. Dok. Geogr., 3–4.

*Instytut Badań Czwartorzędu  
Uniwersytet im. A. Mickiewicza  
w Poznaniu*

## DELIVERY OF CLASTIC MATERIAL FOR FLUVIAL TRANSPORT IN A POSTGLACIAL ENVIRONMENT (KŁUDA CATCHMENT, EAST POMERANIA)

### Summary

The character and rhythm of the postglacial relief, lithological diversity, density of the river network, development of the river valley and channel, and land-use pattern are factors determining the magnitude and distribution of the supply of clastic material to the river channel. The aim of the present study was to identify potential areas supplying the material to the river channel, to compare them in terms of the amount of suspended material transported in the long profile of the river, and to analyse the relationship between the slope and channel systems in a postglacial catchment.

The field research was conducted for the Kłuda, a quaternary stream (according the Horton-Strahler classification), less than 7 km long, draining a catchment of 10.7 km<sup>2</sup> in (area). The catchment has natural conditions representative

of a postglacial zone that determine not only the water cycle, but also the rate and magnitude of delivery of clastic substances to the channel system and the variability of fluvial transport.

On the basis of geomorphological mapping, erosional processes were found to be the most important factor supplying material for the bedload and suspended load transported by the Kłuda waters. The zone from which the clastic material for fluvial transport in the Kłuda catchment is delivered, embraces the channel system, river gaps in the valley network, and waterlogged areas with a high groundwater table in which a saturated overland flow is likely to occur in periods of rainfall or snowmelt. All these zones occupy about 10.9% of the catchment area in which surface drainage takes place, including 0.8% of the channel system area.

The suspension concentration is clearly diversified along the Kłuda course, which is a result of an episodic and pulsating character of suspension transport and its consequence in the form of seasonal local deposition of suspended material in the channel system. The conditions of water flow and the mechanical composition of bed deposits in the Kuda channel have a significant influence on the changing concentration of the suspension, in which mineral parts constitute from 37% to 63%.

The magnitude of the supply of clastic material along the Kuda depends on the kind of contact between the slope system and the channel system, which can be considered in four morphological patterns:

- A. plateau → valley slopes → valley floor → river channel,
- B. plateau → valley slopes → river channel,

- C. plateau → plateau scarps → bottoms of melt-out basins → river channel,

- D. plateau → plateau scarps → river channel.

A comparison of the morphological patterns A and C as well as B and D justifies a conclusion about their morpho-systemic convergence. The operation of patterns B and D is similar, and the differences are morphogenetic. The circulation of water and matter is similar and controlled by the same factors. In the case of patterns A and C, apart from morphogenetic differences between bottoms of melt-out basins and valley floors, there are differences in the lithological infilling: organic-mineral of the melt-out basins and mineral of the valley floors. This accounts for the various ways of delivery of water and clastic material to the river channel, and also for the individual forms of present-day channel modification.