

Jolanta Świąchowicz

Uniwersytet Jagielloński, Instytut Geografii

ROLA STOKÓW I DEN DOLIN W ODPROWADZANIU ZAWIESINY ZE ZLEWNI POGÓRSKIEJ

Zarys treści: W artykule scharakteryzowano rolę stoków i den dolin w odprowadzaniu materiału zawiesinowego ze zlewni pogórskiej na podstawie badań wielkości spłukiwania w katenie stokowej oraz pomiarów odprowadzania zawiesiny w korycie Starej Rzeki i Dworskiego Potoku na Pogórzu Wiśnickim. Stwierdzono, że system zlewni pogórskiej charakteryzuje się słabym powiązaniem subsystemów: stokowego i korytowego. Sprzężenie następuje epizodycznie i najczęściej lokalnie. Jedynie podczas największych zdarzeń hydrometeorologicznych ma miejsce ograniczony przepływ materiału ze stoków do koryt, gdyż większość materiału deponowana jest w obrębie podstokowych równin proluwialnych lub zatrzymuje się w – zajętych przez trwałe użytki zielone – dnach dolin. Równiny proluwialne i płaskie dna dolin tworzą trzeci subsystem zlewni stanowiący barierę, oddzielającą subsystemy – stokowy i korytowy.

Słowa kluczowe: obieg materii w zlewni, spłukiwanie, Pogórze Karpackie.

Key words: matter circulation in a catchment, slope-wash, Carpathian Foothills.

1. Wstęp

Jednym z ważnych problemów badawczych podejmowanych w geomorfologii jest obieg materii w zlewni, który dokonuje się od działu wodnego poprzez stoki do den dolin i koryt potoków. Określenie prawidłowości odprowadzania materiału ze zlewni wymaga poznania mechanizmu i tempa transportu materiału zarówno na stokach, jak i w korytach oraz mechanizmu dostawy materiału ze stoków do koryt rzecznych, które pełnią rolę głównych dróg transportu materii w obrębie systemu zlewni rzecznej.

Literatura geomorfologiczna z tego zakresu zarówno polska, jak i zagraniczna, jest bogata, a jej przegląd zawierają między innymi prace W. Froehlicha (1975, 1982,

1992); K. Krzemienia (1976, 1991), T. Biernata (1985, 1988), A. Łajczaka (1989), T. Biernata, T. Ciupy (1992), A. Kostrzewskiego, M. Mazurek, Z. Zwolińskiego (1994), E. Smolskiej (1996). Większość prac koncentruje się na określeniu wielkości i poznaniu mechanizmu transportu materiału w samym korycie lub też na poznaniu natężenia procesów morfogenetycznych na stokach. Stosunkowo mało jest prac wyjaśniających mechanizm dostawy materiału do koryt rzecznych. Jest to zagadnienie ważne, ale i trudne, co wielokrotnie podkreślano (Froehlich, 1982, 1992; Kostrzewski i in., 1994); wymaga bowiem równoczesnych długotrwałych stacjonarnych pomiarów zarówno w korytach, jak i na stokach.

Ocenę wielkości dostawy zwietrzelin do koryt potoków przeprowadzano najczęściej na podstawie porównania ładunku zawiesiny transportowanej w korycie potoku z wielkością spłukiwania na stokowych poletkach doświadczalnych lub w całej katenie stokowej (Gil, Słupik, 1972; Welc, 1972; Gerlach, 1976; Gil, 1976, 1998b; Smolska, 1996). Dokonywano też porównywania koncentracji zawiesiny w korycie potoków z koncentracją zawiesiny transportowanej drogami polnymi (Froehlich, 1975; Froehlich, Słupik, 1980a; Froehlich, Słupik, 1986; Biernat, 1985; Biernat, Ciupa, 1992; Soja, Prokop, 1995) lub też porównywano koncentrację zawiesiny w wodach spływu powierzchniowego roz-proszonego u podnóża stoku i koncentrację na kontakcie dna doliny z korytem (Froehlich, 1982). Z kolei A. Kostrzewski i in. (1994) ocenę roli strefy przykorytowej w dostawie materiału przeprowadzili poprzez identyfikację obszarów dostawy materiału w wydzielonych przez siebie segmentach koryta oraz pomiary koncentracji materiału zawieszonego w profilu podłużnym koryta. Podejmowano również próby określenia dostawy zawiesiny do koryta poprzez porównanie koncentracji zawiesiny (Froehlich, 1982; Krzemień, Święchowicz, 1992) lub całkowitego ładunku odprowadzanego w korycie cieku głównego i dostarczanego przez jego dopływy (Krzemień, 1976, 1991, 1995, 1996; Lach, 1984; Welc, 1988; Kostrzewski, Zwoliński, 1988; Gil, 1994; Smolska, 1996; Drużkowski, 1998; Krzemień, Sobiecki, 1998).

Mechanizm transportu oraz dostawy zawiesiny do koryt potoków, zwłaszcza w beskidzkiej części Karpat oraz na pograniczu Beskidów i Pogórzy, są stosunkowo dobrze poznane. Na szczególną uwagę zasługują liczne opracowania powstałe w ramach programów badawczych Stacji Naukowej IGiPZ PAN w Szymbarku (Gil, Słupik, 1972; Welc, 1972, 1973, 1988; Gil, 1974, 1976, 1986, 1994, 1998a,b; Gil, Starkel, 1979; Soja, Prokop, 1995; Bochenek, Gil 1998) oraz Frycowej (Froehlich, 1972, 1975, 1978, 1982, 1992; Froehlich, Słupik, 1980, 1986). Z kolei szczegółowe informacje na temat dynamiki transportu zawiesiny, obszarów oraz mechanizmu dostawy w Tatrach Zachodnich zawierają prace K. Krzemienia (1984, 1986, 1991). Dotychczasowe badania odnoszące się do Pogórza Karpat, a zwłaszcza strefy jego progu, koncentrowały się głównie na różnicowaniu i zmienności koncentracji zawiesiny w korytach potoków oraz obliczeniu całkowitego jej ładunku odprowadzanego poza zlewnię (Lach, 1984; Krzemień, Święchowicz, 1992; Krzemień, 1995, 1996; Święchowicz, 1995, 1998, 2000; Drużkowski, 1998; Krzemień, Sobiecki, 1998). Mimo, że na rolę stoków i den dolin w dostawie zawiesiny w obszarze pogórskim zwracano wielokrotnie uwagę (Starkel, 1972b, 1979, 1986; Krzemień, Święchowicz, 1992; Krzemień, 1995, 1996), to nadal mało

jest danych ilościowych potwierdzających dedukcyjne modele mechanizmu dostawy materiału ze stoków do koryt.

Celem artykułu jest poznanie roli stoków i den dolin w dostawie zawieszony do koryta rzecznej w oparciu o badania procesu spłukiwania na stoku oraz pomiary odprowadzania materiału zawieszony w zlewni Starej Rzeki (22,4 km²) i jej zlewni cząstkowej – Dworskiego Potoku (0,3 km²).

2. Obszar badań

Zlewnia Starej Rzeki położona jest w obrębie progów Karpat między Rabą a Uszwiąc – w strefie przejściowej pomiędzy Karpatami i Kotliną Sandomierską. Granica pomiędzy tymi dwiema jednostkami sytuowana jest różnie. Skomplikowana budowa geologiczna polegająca na przenikaniu się struktur fliszu i utworów miocenu oraz występowanie na powierzchni obszaru mięjszych pokryw lessopodobnych utrudniają jednoznaczne zaklasyfikowanie tego obszaru do jednej z wyżej wymienionych jednostek (Kaszowski, 1995).

Według podziału geomorfologicznego Polski Południowej (Starkel, 1972a) zlewnia Starej Rzeki leży w obrębie Pogórza Wiśnickiego wydzielonego w obrębie Pogórza Wielickiego. L. Starkel (1988) wyróżnia ponadto w tym obszarze dwie jednostki regionalne niższego rzędu: Przedgórze Brzeskie i Garb Okocimski.

3. Metoda

Praca została wykonana w oparciu o badania transportu materiału zawieszony w korycie Starej Rzeki i Dworskiego Potoku w latach hydrologicznych 1987-1991. Wykorzystano też wyniki pomiarów spłukiwania w katenie stokowej (Świąchowicz, 1998, 2000) oraz wyniki kartowania skutków katastrofalnych opadów.

Zastosowano podejście systemowe, w którym zlewnia traktowana jest jako otwarty system dynamiczny składający się z dwóch subsystemów (stoki i koryta potoków) oraz relacji pomiędzy nimi. Polegają one na dostawie materiału ze stoków do koryta i jego odprowadzaniu poza zlewnię. Zlewnia jest równocześnie systemem, składającym się z subsystemów, którymi są zlewnie cząstkowe różnego rzędu. Poprzez nie dokonuje się obieg materiału i dostarczanie go dopływami do koryta rzeki głównej.

Analizą objęto warunki morfodynamiczne w zlewni Starej Rzeki oraz w zlewniach cząstkowych (Świąchowicz, 1992), warunki klimatyczne oraz warunki odpływu.

Pomiary spłukiwania prowadzono przy użyciu rynien Gerlacha (1966) w okresie od sierpnia 1989 do października 1990 w obrębie stoku eksperymentalnego na sześciu stanowiskach pomiarowych usytuowanych odpowiednio 35, 58, 75, 98, 115 i 127 m od działu wodnego (Świąchowicz, 1998; Świąchowicz, 2000). Zastosowano również metodę Cs-137 jako wskaźnika procesów stokowych (Chełmicki, Świąchowicz, 1992; Chełmicki, Świąchowicz, Araszkiewicz, 1992).

Pomiary wielkości transportu zawiesiny w korytach potoków prowadzono w profilach hydrometrycznych Starej Rzeki i Dworskiego Potoku w latach hydrologicznych 1987-1991. W profilach mierzone były stany wody i pobierane 1-litrowe próby wody, w celu określenia koncentracji zawiesiny. W okresach międzywezbraniowych pobór prób odbywał się co 4 dni; w okresie wezbrań był odpowiednio częstszy. W odniesieniu do dni, kiedy pomiary koncentracji zawiesiny nie były wykonywane, jej wartości były interpolowane na podstawie najbliższych czasowo danych pomiarowych. W celu określenia przestrzennego zróżnicowania dostawy zawiesiny podczas spływów epizo-dycznych pobierano próby z dróg oraz rozcięć erozyjnych. Ładunki zawiesiny określano kolejno dla poszczególnych dni całego pięcioletnia jako iloczyn koncentracji zawiesiny, natężenia przepływu i czasu. Następnie sumując wartości w odniesieniu do poszczególnych dni określano miesięczne i roczne ładunki zawiesiny.

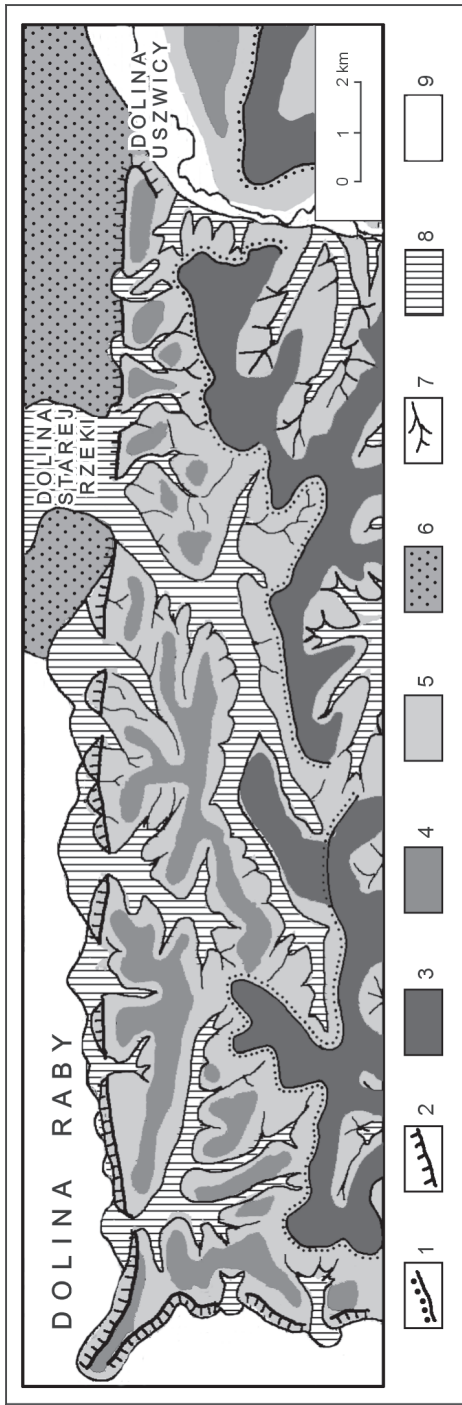
4. Charakterystyka rzeźby zlewni Starej Rzeki

Zlewnia Starej Rzeki leży w obrębie dwóch jednostek morfologicznych, charakteryzujących się dojrzałą rzeźbą fluwialno-denuacyjną. Przedgórze Brzeskie stanowi piętro o typie rzeźby pogórzy niskich, Garb Okocimski stanowi zaś piętro wyższe charakteryzujące się typem rzeźby pogórzy średnich (Starkel, 1972a, 1988). Powierzchnia wierzchowinowa pogórzy średnich oddzielona jest od poziomu pogórza niskiego stromym progiem, założonym na czole nasunięcia płaszczowiny śląskiej (ryc. 1).

W północnej części zlewni stoki zbudowane są z grubej pokrywy utworów lessopodobnych, okrywających starsze miocenijskie podłoże, w części południowej zaś – z utworów fliszowych okrytych pyłowymi utworami lessopodobnymi i zwietrzelinami nafliszowymi. Wyrównane garby przechodzą głównie wypukło-wklęsłymi a rzadziej wypukłymi stokami w płaskie i nieckowate dna dolin. Przeważają jednak stoki złożone, w znacznej mierze przeobrażone antropogenicznie, z krawędziami i terasami rolnymi, nawiązującymi do podziału stoków na działki rolnicze. Ich profile podłużne przeważnie są nieregularne, schodkowe z wieloma segmentami wklęsłymi, wypukłymi i prostymi (Świąchowicz, 1991, 1992; Kaszowski, Świąchowicz, 1995; Pietrzak, 1995). W części północnej (Przedgórze Brzeskie) dominują stoki o nachyleniach 4-9°, w części południowej udział stoków o nachyleniach powyżej 9° jest większy (Tutaj, 1995).

Dno doliny Starej Rzeki podobnie jak innych potoków pogórskich położonych w strefie progu między Rabą a Uszwią, poza odcinkami źródłowymi, szerokie do 50-250 m, zbudowane jest z pokryw aluwialnych, rozciętych do kilku metrów rynnami erozyjnymi z korytem rzeczonym. Koryta w większości mają przebieg kręty, meandrowy, nieregularny, a w górnych i środkowych biegach dolin są zmienione wskutek zabiegów melioracyjnych (Świąchowicz, 1991, 1992; Kaszowski, Świąchowicz, 1995).

Większość stoków przechodzi w dna dolin łagodnie, bez wyraźnego załomu. Pod-stokowe równiny proluwialne są powszechnym elementem rzeźby.



Ryc. 1. Rzeźba progu Pogórze Karpackiego między Rabą a Uszwiącą (Źródło: Kaszowski, Święchowicz, 1995)

1 – próg fliszowy, 2 – próg fliszowo-mioceni, 3 – poziom pogórze średniego, 4 – poziom pogórze niskiego, 5 – stoki, 6 – wysoczyzny kotlin, 7 – młode wciosisy i wąwozy, 8 – akumulacyjne dna dolin pogórszkich i stożki napływowe, 9 – dna doliny Raby i Uszwicy

Fig. 1. Land forms at the edge of the Carpathian foothills between Raba and Uszwica (Source: Kaszowski, Święchowicz, 1995)

1 – flesch edge, 2 – flesch-miocene edge, 3 – medium hills level, 4 – low hills level, 5 – basin elevations, 6 – slopes, 7 – young V-shaped valleys and gullies, 8 – valley bottoms and alluvial fans, 9 – Raba and Uszwica valley bottoms

5. Rola stoków i den dolin w odprowadzaniu zawiesiny ze zlewni

5.1. Obszary dostawy materiału do koryta

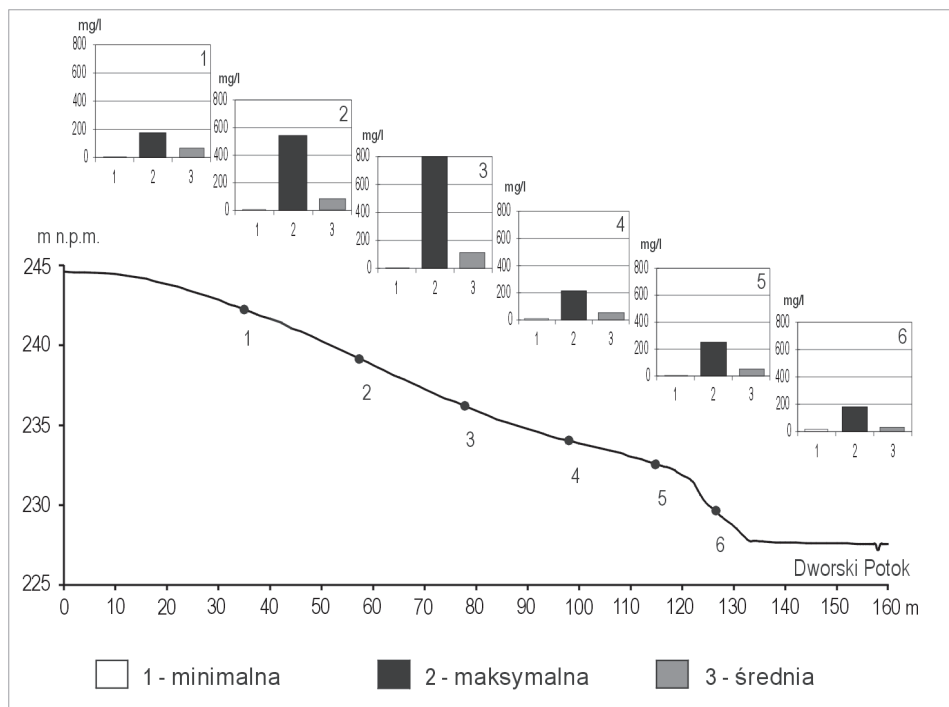
Zawiesina transportowana przez cieki może być dostarczana ze stoków dzięki spłuki-waniu, może pochodzić z rozmywania aluwii w korytach rzecznych wskutek erozji bocznej i wgłębnej, jak również może być dostarczana do koryta rzeki głównej przez boczne dopływy oraz z dróg i ścieżek gruntowych, spełniających rolę cieków epizodycz-nych czy nawet okresowych.

Spłukiwanie w zlewni Starej Rzeki to proces epizodyczny. W okresie badań prowadzonych na stoku eksperymentalnym dni z opadem stanowiły 42,4% badanego okresu, natomiast dni, w których wystąpił spływ powierzchniowy i spłukiwanie stanowiły tylko 6,1% (pastwiskowa część stoku) i 3% (zadrzewiona krawędź). Liczba zdarzeń spływu powierzchniowego i spłukiwania nie ma bezpośredniego związku z miesięczną sumą opadu i liczbą dni z opadem. Warunkiem koniecznym do zaistnienia procesu jest opad, jednak nie każdy opad wywołuje spływ powierzchniowy i w konsekwencji spłukiwanie (Świąchowicz, 1995, 1998).

W obrębie wypukło-wklęsłego stoku, użytkowanego jako pastwisko i przechodzącego w dno doliny Dworskiego Potoku stromą zadrzewioną krawędzią, koncentracja spłukiwanego materiału była zróżnicowana. Podczas pojedynczego spływu powierzchniowego wynosiła od kilku do kilkudziesięciu mg/l, sporadycznie do kilkuset mg/l. Największą maksymalną koncentrację spłukiwanego materiału stwierdzono w dolnym fragmencie wypukłej części stoku. W pobliżu spłaszczenia wierzchowinowego koncentracja była niska. Nieco wyższą zanotowano na stanowiskach u podnóża stoku, a zdecydowanie najniższą w obrębie zadrzewionej krawędzi. Średnia koncentracja w całym badanym okresie na poszczególnych stanowiskach wynosiła odpowiednio: 45,3, 96, 112,4, 53,0, 52,2 i 31,8 mg/l (ryc. 2).

Przemieszczanie materiału na stoku, podobnie jak spływ wody, było zróżnicowane wzdłuż stoku. Najmniej materiału – 24,7 g zanotowano w pobliżu spłaszczenia wierzchowinowego, najwięcej – 52,6 g u podnóża stoku. Ilość spłukiwanego materiału wzrastała wraz z długością stoku do stanowiska 4, położonego 98 m od działu wodnego. U podnóża pastwiskowej części stoku ilość transportowanego materiału zmniejszała się i była prawie taka sama jak w pobliżu spłaszczenia wierzchowinowego. Zdecydowanie najmniej materiału zanotowano na stanowisku położonym w obrębie zadrzewionej krawędzi (ryc. 3A). Odprowadzany materiał akumulowany był w obrębie spłaszczenia u podnóża stoku oraz na granicy pastwiska i zadrzewionej krawędzi. Niewielkie ilości przemieszczanego materiału w obrębie zadrzewionej krawędzi z jednej strony potwierdzają, stwierdzoną również w innych częściach Karpat, ogromną ochronną rolę lasu, z drugiej zaś świadczą o tym, że stanowi ona swoistą barierę uniemożliwiającą dostawę materiału do dna doliny i koryta Dworskiego Potoku (ryc. 3A).

Przemieszczanie materiału na stoku podczas pojedynczych zdarzeń miało zróżnicowany przebieg (ryc. 3B). Krzywe transportu były najczęściej zygzakowate, zwłaszcza w przypadku zdarzeń, kiedy ilość transportowanego materiału była stosunkowo duża.

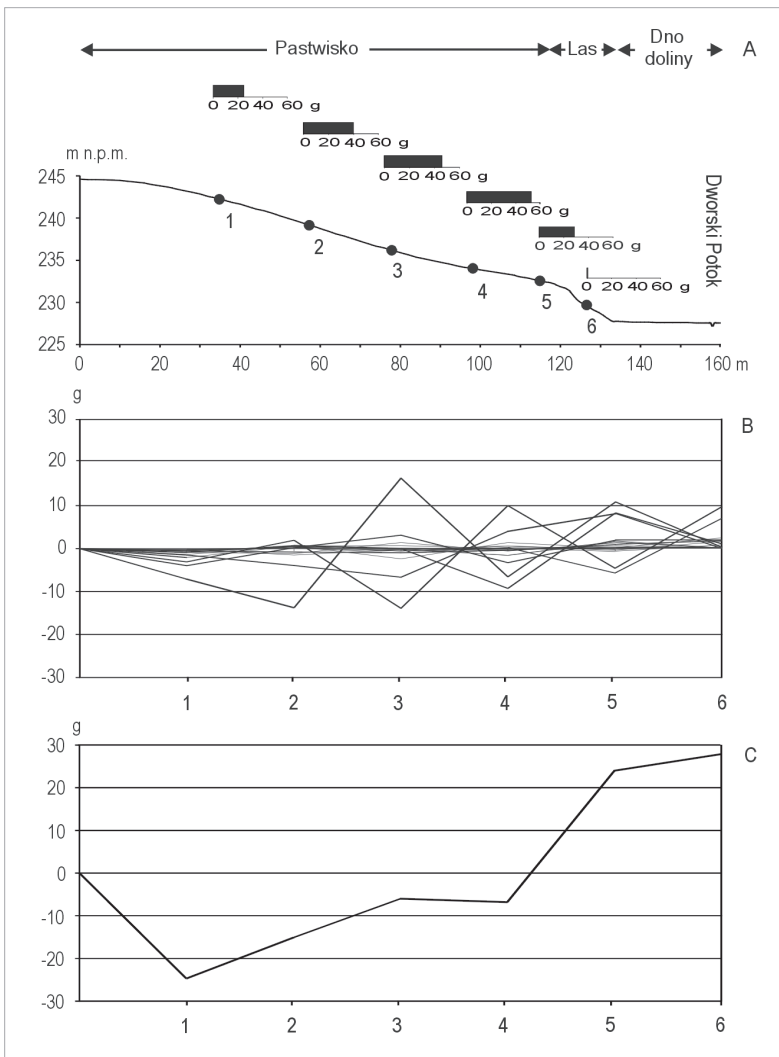


Ryc. 2. Koncentracja materiału spłukiwanego na stoku eksperymentalnym w okresie od VIII 1989 do X 1990

Fig. 2. Concentration of material transported on the experimental slope from August 1989 to October 1990

Wskazuje to na skokowe przemieszczanie materiału, przy czym ilość transportowanego materiału może zarówno rosnać, jak i zmniejszać się w miarę oddalania się od wododziału (ryc. 3C). Kształt krzywej transportu za cały badany okres był inny niż krzywych transportu odnoszących się do poszczególnych zdarzeń spłukiwania. Krzywa (B) jest wypadkową 28 pojedynczych krzywych, a o jej kształcie i przebiegu w większym stopniu decydują zdarzenia największe. Porównanie efektów transportu materiału podczas pojedynczych zdarzeń wskazuje, że rozmiary i przebieg spłukiwania w zależności od wysokości opadu i przepuszczalności podłoża mogą zarówno rosnać, jak i zmniejszać się. Materiał mine-ralny jest przemieszczany w dół stoku etapami. Jeden opad bardzo rzadko przemieszcza materiał z górnego odcinka stoku aż do jego podnóża. W obrębie stoków można obserwować następstwo odcinków degradacji i depozycji, a procesem powszechnym jest redepozycja (ryc. 3C).

W latach hydrologicznych 1987-1991 koncentracja zawiesiny w obu zlewniach była bardzo zróżnicowana i wahała się od 1,0 do 3843,0 mg/l w korycie Starej Rzeki i od 0,1 do 778,1 mg/l w korycie Dworskiego Potoku (tab. 1 i tab. 2). Wysoka koncentracja zawiesiny wiązała się z występowaniem wezbrań zarówno deszczowych, jak i roztopo-



Ryc. 3. Spłukiwanie na stoku eksperymentalnym w okresie od VIII 1989 do X 1990 roku

A – wielkość spłukiwania na poszczególnych stanowiskach (1-6); B – odprowadzanie i depozycja materiału glebowego na poszczególnych odcinkach stoku podczas pojedynczych zdarzeń spłukiwania; C – odprowadzanie i depozycja materiału glebowego na poszczególnych odcinkach stoku za cały badany okres

Fig. 3. Slope-wash material on the experimental slope from August 1989 to October 1990

A – the amount of transported material at each site (1-6); B – transport and deposition of material in each sections of slope during an unusual run-off event; C – transport and deposition of material in each sections of slope during the entire study period

wych. Najwyższa koncentracja zawiesiny w okresach wezbraniowych – zarówno w Starej Rzece, jak i Dworskim Potoku – występowała zwykle w półroczu letnim. W okresach międzywezbraniowych koncentracja zawiesiny była bardzo niska, a najwyższa wartość notowana była również w półroczu letnim (tab. 1, tab. 2; ryc. 4).

Tab. 1. Koncentracja zawiesiny w zlewni Starej Rzeki w latach hydrologicznych 1987-1991

Table 1. Concentration of suspended material in the Stara Rzeka catchment during the hydrologic years 1987-1991

Okres	Koncentracja zawiesiny [mg/l]					
	okresy wezbraniowe			okresy międzywezbraniowe		
	maksymalna	minimalna	średnia	maksymalna	minimalna	średnia
1987	3843,0	10,1	297,8	87,8	4,3	21,5
XI-IV	2115,7	10,1	254,5	43,9	4,3	16,5
V-X	3843,0	18,2	341,2	87,8	5,4	26,5
1988	2416,8	11,0	167,0	69,8	2,5	13,0
XI-IV	2416,8	11,0	233,5	22,4	2,5	7,7
V-X	522,2	21,8	100,3	69,8	5,0	18,3
1989	2187,4	10,6	215,8	29,8	1,0	11,3
XI-IV	65,4	10,6	16,1	19,4	2,4	8,2
V-X	2187,4	33,6	415,5	29,8	1,0	14,4
1990	2521,3	8,2	130,1	58,0	1,1	13,6
XI-IV	1071,3	8,2	50,2	22,9	1,1	7,6
V-X	2521,3	39,1	210,0	58,0	6,7	19,6
1991	2220,8	18,1	150,8	25,0	1,0	12,3
XI-IV	337,0	18,1	21,5	21,0	1,0	10,8
V-X	2220,8	23,0	280,0	25,0	12,0	13,8
1987-1991	3843,0	8,2	192,3	87,8	1,0	14,3
XI-IV	2416,8	8,2	115,1	43,9	1,0	10,1
V-X	3843,0	18,2	269,4	87,8	1,0	18,5

W innych zlewniach pogórskich maksymalna koncentracja zawiesiny wynosi: 1000-7040 mg/l (Reniger, 1957; Woźniak-Strojna, 1963; Figuła, 1966; Krzemień, Święchowicz, 1992; Krzemień, 1995). Tak więc w badanym pięcioleciu koncentracja zawiesiny nie odbiegała wyraźnie od wartości uzyskanych w innych zlewniach pogórskich. Była jednak zdecydowanie niższa niż w zlewniach pienińskich czy beskidzkich (Figuła, 1966; Froehlich, 1982). Wyjątkowo w czerwcu 1996 roku maksymalna wartość koncentracji zawiesiny w Starej Rzece wynosiła 13298 mg/l, zaś w Dworskim Potoku 2006 mg/l, ale i ona stanowiła zaledwie 50% wartości koncentracji zawiesiny podawanych dla Beskidów (Krzemień, Sobiecki, 1998).

W badanym okresie 1987-1991 ze zlewni Starej Rzeki odprowadzone zostało od 276 (1990) do 1694,9 ton (1987). Najwięcej materiału transportowane było w roku „normalnym” (1987), zdecydowanie mniej w latach „suchych” (1988, 1990). W latach

Tab. 2. Koncentracja zawiesiny w zlewni Dworskiego Potoku w latach hydrologicznych 1987-1991

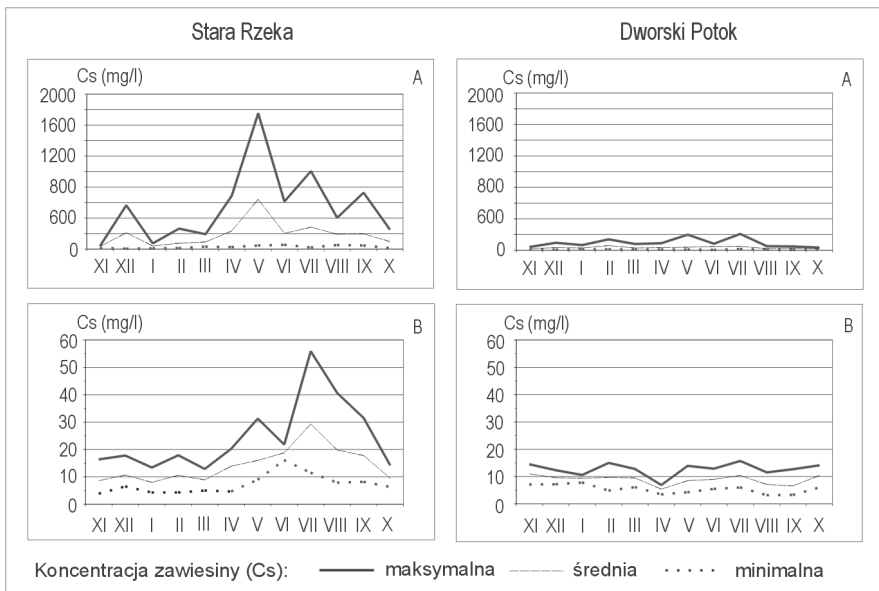
Table 2. Concentration of suspended material in the Dworski Potok catchment during the hydrologic years 1987-1991

Okres	Koncentracja zawiesiny [mg/l]					
	okresy wezbraniowe			okresy międzywezbraniowe		
	maksymalna	minimalna	średnia	maksymalna	minimalna	średnia
1987	168,2	4,2	25,7	16,8	0,4	7,0
XI-IV	168,2	4,2	26,8	14,2	0,8	7,2
V-X	80,9	5,2	24,6	16,8	0,4	6,7
1988	239,8	3,0	25,9	17,3	0,9	5,8
XI-IV	153,6	3,0	20,0	8,9	1,0	4,2
V-X	239,8	6,0	31,7	17,3	0,9	7,4
1989	778,1	3,1	57,7	17,7	0,6	8,1
XI-IV	362,4	7,8	38,9	16,0	3,6	9,0
V-X	778,1	3,1	76,6	17,7	0,6	7,1
1990	315,5	3,3	34,3	24,6	0,1	11,9
XI-IV	257,8	3,3	52,3	21,6	0,1	11,3
V-X	315,5	3,7	16,4	24,6	4,0	12,4
1991	158,5	4,1	28,3	25,1	3,7	11,7
XI-IV	158,5	4,1	34,8	25,1	4,5	13,7
V-X	112,2	8,2	21,8	22,7	3,7	9,7
1987-1991	778,1	3,0	34,4	25,1	0,1	8,9
XI-IV	362,4	3,0	34,5	25,1	0,1	9,1
V-X	778,1	3,1	34,2	24,6	0,4	8,7

„normalnych” i w roku „wilgotnym” większość materiału została odprowadzona w półroczu letnim, a jego udział w odprowadzaniu zawiesiny wynosił od 63,9% do 97,9%. W latach „suchych” większość zawiesiny odprowadzana była w półroczu zimowym, a jego udział wynosił od 59,5% do 91,9%.

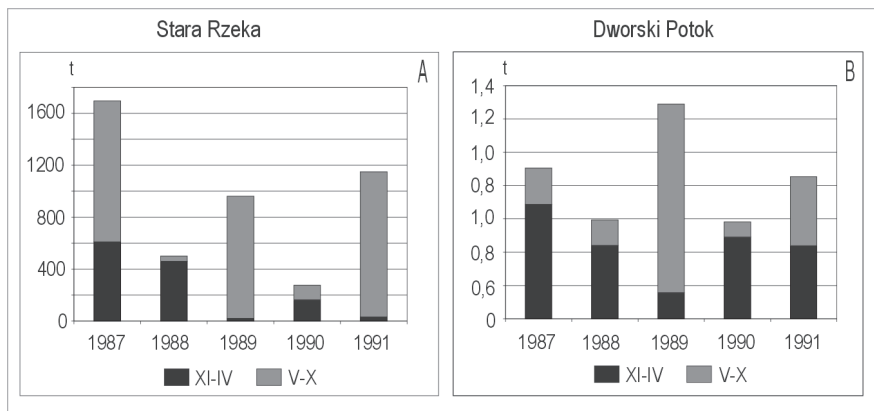
W zlewni Dworskiego Potoku zostało odprowadzone od 0,582 (1990) do 0,906 ton (1987). W latach „normalnych” (1987, 1991) i „suchych” (1988, 1990) większość materiału odprowadzana była w półroczu zimowym, którego udział w odprowadzaniu zawiesiny wynosił od 51,5% do 84,4%. W roku „wilgotnym” (1989) większość zawiesiny odprowadzana była w półroczu letnim (87,8%) (ryc. 5).

Koncentracja spłukiwanego materiału na stokach w małych zlewniach elementarnych (Dworski Potok, Brzeźnicki Potok) jest zróżnicowana w zależności od kształtu stoku, a przede wszystkim jego użytkowania i sposobu uprawy. Maksymalna koncentracja w obrębie powierzchni zadrzewionych była zdecydowanie niższa, a w obrębie łąk i past-wisk zbliżona lub nawet nieznacznie przewyższała maksymalną koncentrację zawiesiny w korycie potoku. Na powierzchniach pozbawionych ochronnej szaty roślinnej (grunty orne, okopowe) wartości spłukiwanego materiału są kilkadziesiąt razy większe



Ryc. 4. Średnia miesięczna koncentracja zawiesiny (Cs) w zlewni Starej Rzeki i Dworskiego Potoku w okresach wezbraniowych (A) i międzywezbraniowych (B) w latach hydrologicznych 1987-1991

Fig. 4. Mean monthly concentration of suspended material (Cs) in the Stara Rzeka and Dworski Potok catchments during the hydrologic years 1987-1991 for: (A) periods of high water; and (B) periods between high-water events



Ryc. 5. Roczne ładunki materiału zawieszonoego odprowadzanego ze zlewni Starej Rzeki i Dworskiego Potoku w latach hydrologicznych 1987-1991

Fig. 5. Annual load of suspended material transported from the Stara Rzeka and Dworski Potok catchments during the hydrologic years 1987-1991

niż w korycie potoku. Tak więc materiał uruchamiany na stokach zostaje zdeponowany u podnóży oraz w dnach dolin i nie dociera do koryt. Koryta małych cieków pogórskich w większości są zarośnięte przez roślinność hydrofilną i nie są głęboko wcięte, tak więc podczas wezbrań szybko wyczerpują się w nich zasoby materiału dostępnego do transportu (Krzemień, Świąchowicz, 1992; Krzemień, 1995, 1996) W przypadku Starej Rzeki – systemu złożonego z kilkadziesiątu zlewni elementarnych różnego rzędu – dostawa materiału poprzez splukiwanie z obszaru przyrzeczy odgrywa znikomą rolę, gdyż dno doliny Starej Rzeki jest szerokie, płaskie i zajęte przez trwałe użytki zielone. Tak więc w przypadku Starej Rzeki głównym obszarem dostawy materiału do koryta są dopływy oraz samo koryto Starej Rzeki.

Jeśli więc spojrzymy na zlewnię Starej Rzeki jako na złożony system, w którym subsystemami są zlewnie jej dopływów, to uderzające są różnice pomiędzy ilością zawiesiny wynoszonej ze zlewni składowych a ilością materiału odprowadzanego przez ciek główny (Starą Rzekę). Ilość zawiesiny, dostarczanej ze zlewni Dworskiego Potoku do koryta Starej Rzeki w latach 1987-1991, stanowiła od 0,05 do 0,21% ładunku zawiesiny, transportowanej przez Starą Rzekę (w zależności od tego, czy rok był bardziej „suchy”, czy „wilgotny”) (ryc. 5). Gdyby dla wyróżnionych – w obrębie zlewni Starej Rzeki – 48 zlewni elementarnych (Świąchowicz, 1992) przyjąć dla celów orientacyjnych takie same wartości odprowadzania materiału jak z Dworskiego Potoku, to okazałoby się, że stanowi on jedynie 2-10% rocznego ładunku zawiesiny, odprowadzanego przez Starą Rzekę. Nawet 5-krotne zwiększenie tej wartości (co jest nieuzasadnione ze względu na znaczne zalesienie połowy owych 48 zlewni) nie zrekompensuje różnicy pomiędzy dostawą i odprowadzaniem zawiesiny. Przedstawiony szacunek jest dowodem na pochodzenie zawiesiny z najbliższego otoczenia, a więc z rynn erozyjnej, rozcinającej dno doliny, którą płynie Stara Rzeka. Rynna jest głęboko wcięta, ma przebieg kręty, a w jej obrębie występuje duża liczba podcięć brzegowych. Tak więc dostawa materiału jest możliwa już przy podwyższonych stanach wody, a jego wyczerpywanie się następuje powoli. Istnienie tej rynn jest równocześnie morfologicznym dowodem pochodzenia zawiesiny i zaskakującej dysproporcji liczbowej pomiędzy dopływami a potokiem głównym. Powyższy szacunek jest również dowodem na barierową rolę równin proluwialnych w procesie obiegu materii w zlewni. Równiny te, wciąż za mało zbadane, zawierają za-pis historii procesów erozyjno-akumulacyjnych w zlewni, zwłaszcza tych o największym natężeniu.

Materiał splukiwany ze stoków użytkowanych rolniczo akumulowany jest u ich podnóży lub w obrębie płaskich, porośniętych trawą, den dolin. Proces ten zaznacza się szczególnie podczas intensywnych opadów i roztopów. Zawiesina, wynoszona poza zlewnię pogórską, pochodzi zatem z niewielkiej (około 1%) części jej powierzchni.

W zlewniach użytkowanych rolniczo dużą rolę w transporcie materiału odgrywają bruzdy podłużne i poprzeczne. Bruzdy poprzeczne zatrzymują transportowany materiał. Podczas intensywnych opadów materiał jest transportowany bruzdami w kierunku dna doliny, gdzie przeważnie jest akumulowany w postaci stożków napływowych i wychwytywany przez bujną roślinność.

Mimo dużej gęstości polnych dróg związanej z rolniczym użytkowaniem ziemi,

ich rola w dostawie materiału jest niewielka. W większości, zwłaszcza w północnej części zlewni, są to drogi zadarnione i płytko wcięte. Materiał transportowany nimi jest osadzany i akumulowany w dnach dolin. W południowej fliszowej części zlewni rola dróg jest większa. Decydującą rolę w dostawie zwietrzelin mają drogi gruntowe bezpośrednio dochodzące do koryta.

5.2. Współdziałanie stoków i den dolinnych w przemieszczaniu zawiesiny w zlewni

W zlewni Starej Rzeki, podobnie jak w większości zlewni pogórskich, doliny rzeczne charakteryzują się występowaniem płaskich akumulacyjnych den, porośniętych trawą. Granica pomiędzy stokami i dnami dolin podkreślona jest zarówno zróżnicowanym użytkowaniem, jak i granicami morfologicznymi. Są nimi wyraźne krawędzie oraz równiny proluwalne. Wysokie krawędzie od kilkudziesięciu centymetrów do kilku metrów przeważnie są porośnięte krzewami lub zadrzewione. Równiny proluwalne, szerokie i lekko pochylone ku osi doliny, podkreślają wklęsłość dolnej części wielu stoków pogórskich (fot. 1). Dna dolin Starej Rzeki i jej dopływów rozcięte są rynnami erozyjnymi, głębokimi do kilku metrów, przy czym rozcinanie den dolin postępuje w górę potoków. Dna dolin stanowią więc stosunkowo szeroką strefę, oddzielającą stoki od koryt potoków, co wpływa w decydujący sposób na relacje pomiędzy subsystemem stokowym i korytowym.

W obszarze Pogórza Karpackiego przeważają stoki o złożonym, nieregularnym profilu. Taki profil stoku jest wynikiem działania procesów w warunkach intensywnego użytkowania rolniczego ziemi. Na całym Pogórzu Karpackim przeważa szachownicowy układ pól. Pola są przeważnie wąskie i długie, przy czym bok dłuższy jest prostopadły do poziomicy, a kierunek orki zgodny ze spadkiem. Na przebieg spłukiwania na progu Pogórza bardzo duży wpływ ma układ pól oraz dróg śródpolnych i miedz (fot. 2). W obrębie stoków użytkowanych rolniczo z sekwencją działek różnie użytkowanych i oddzielonych od siebie miedzami poszczególne odcinki funkcjonują najczęściej niezależnie od siebie. Przemieszczanie materiału następuje w obrębie działek, a jego akumulacja zwykle w ich dolnej części – w obrębie poprzecznej bruzdy lub na początku niższej działki. W wyniku tego dochodzi do tworzenia wyraźnych spłaszczeń na granicy działek i kształtowania się nieregularnego profilu stoków. Również śródpolne drogi, zadrzewione skarpy różnego pochodzenia, granice między użytkami rolnymi i lasem pełnią rolę lokalnych baz denudacyjnych, wymuszających depozycję. Materiał, odprowadzany z działek bezpośrednio przylegających do dna doliny deponowany jest w obrębie podstokowych równin proluwalnych lub w samym dnie (fot. 3). Zasięg odprowadzania materiału zależy przede wszystkim od sposobu użytkowania działek przylegających do dna doliny. Największa ilość materiału pochodzi z pól zajętych przez rośliny okopowe (fot. 4). Spłukiwany materiał akumulowany jest najczęściej na ich przedłużeniu w postaci różnej wielkości stożków proluwalnych, wychodzących z bruzd podłużnych, ograniczających poszczególne działki lub też z bruzdy poprzecznej (fot. 4). Pomimo że kierunek bruzd jest prostopadły do poziomicy, a tym samym do osi doliny

(koryta), to osie stożków proluwialnych, dzięki funkcjonowaniu bruzdy poprzecznej, są odchylone od linii prostopadłej do poziomic pod kątem ostrym, zgodnie ze spadkiem doliny, skierowane ku jej osi. Tak więc nie jest to najkrótsza droga, którą materiał mógłby osiągnąć koryta (fot. 4). Materiał ten w większości zatrzymywany jest w obrębie dna doliny przez bujną roślinność trawiastą oraz w obrębie licznych mikroform, będących skutkiem nierównomiernej i epizodycznej akumulacji w obrębie dna doliny. Bardzo rzadko, najczęściej podczas ekstremalnych opadów, szczególnie w półroczu zimowym, splukiwany materiał jest akumulowany szerokimi strefami w obrębie całego dna doliny, a pewna jego część dociera także do koryta. Skutkiem epizodycznej i nierównomiernej akumulacji materiału występują liczne nabrzmienia i nierówności lekko pochylone ku osi doliny, skośne lub równoległe do niej. Wydaje się, że jest to istotny mechanizm formowania równiny „aluwialnej”, która jest równiną poligeniczną, gdyż powstała przy współdziałaniu procesów stokowych. Akumulacja splukiwanego materiału w obrębie stoków użytkowanych rolniczo utrwała ich schodkowy profil podłużny, prowadzi do podkreślania kontrastów morfologicznych, oraz utrwalania tych kontrastów w antropogenicznie przeobrażonym profilu stoku. Depozycja materiału u podnóża stoków oraz w dnach dolin prowadzi do łagodzenia kontrastów morfologicznych między stokami i dnem. Dna dolin z powszechnymi podstokowymi równinami proluwialnymi stanowią strefę oddzielającą dwa słabo ze sobą powiązane systemy – stokowy i korytowy. Jest to swoista bariera, uniemożliwiająca dotarcie większej ilości materiału do koryta potoku. Strefa ta przekraczana jest bardzo rzadko – podczas ekstremalnych zdarzeń meteorologicznych. Epizodyczna akumulacja proluwii w postaci stożków, łach, smug sprawia, że dna dolin charakteryzują się nierówną powierzchnią pełną nabrzmień i obniżen.

Charakterystyczną cechą Starej Rzeki oraz wielu jej dopływów (Potoki: Brzeźnicki Spytkowski, Leśny, Dubielicki) jest występowanie wzdłuż całego koryta lub na długich jego odcinkach zadrzewień na brzegach koryta, które stanowią również barierę uniemożliwiającą dotarcie doń splukanego ze stoków materiału do koryt potoków.

6. Wnioski

System zlewni pogórskiej charakteryzuje się słabym powiązaniem jego dwóch podsystemów: stokowego i korytowego. Sprzężenie obu subsystemów następuje epizodycznie i najczęściej lokalnie. Jedynie podczas największych zdarzeń hydro-meteorologicznych ma miejsce ograniczony przepływ materiału ze stoków do koryt. Wówczas większość materiału deponowana jest w obrębie stoków, podstokowych równin proluwialnych lub zatrzymuje się w obrębie – zajętych przez trwałe użytki zielone – den dolin. Ukształtowanie się takiego stabilnego układu jest rezultatem z jednej strony powszechnego występowania pyłowych pokryw, a z drugiej ewolucją rzeźby i jej antropogenicznym przekształcaniem. Wynikiem rozwoju rzeźby są – typowe dla Pogorza – wypukło-wklęsłe lub wielosegmentowe, schodowe stoki rolnicze oraz nieckowate i płaskodenne doliny, z systematycznie nadbudowywanymi proluwialnymi podnóżami. Te równiny proluwialne i płaskie dna dolin stanowią strefę oddzielającą słabo ze sobą powiązane subsystemy – stokowy i korytowy i można je traktować jako trzeci subsystem, w istotny sposób wpływający na obieg materiału w zlewni. Jest to równocześnie strefa,

w której w większości następuje deponowanie materiału odprowadzanego ze stoków. Strefa ta przekraczana jest bardzo rzadko i tylko podczas ekstremalnych zdarzeń.

Literatura

- Biernat T., 1985, *Areas supplying weathered material and the mechanism of transportation of the suspended material in the Łososina catchment area (Holy Cross Mountains, Central Poland)*, Quaest. Geogr., Spec. Issue, 1.
- Biernat T., 1988, *Zróżnicowanie przestrzenne erozji, transportu i sedymentacji na podstawie badań stacjonarnych w Górach Świętokrzyskich*, Kieleckie St. Geogr., 4.
- Biernat T., Ciupa T., 1992, *Denudacja mechaniczna i chemiczna w zlewniach wyżynnych środkowej Polski*, Prace Geogr. IGiPZ PAN, 155.
- Bochenek W., Gil E., 1998, *Obieg wody, substancji rozpuszczonych i zawiesiny w zlewni Bystrzanki w latach hydrologicznych 1994-1997* [w:] A. Kostrzewski (red.), *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie i tendencje rozwoju geosystemów Polski*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, PIOŚ, Warszawa.
- Chełmicki W., Święchowicz J., 1992, *Application of Cs-137 and soil trapping methods for studying slope processes in the Carpathian Foothills, Pirineos*, 139.
- Chełmicki W., Święchowicz J., Araszkiwicz E., 1992, *Zastosowanie cezu-137 do badania procesów stokowych na Pogórzu Karpackim*, Przegl. Geofiz., 3-4.
- Drużkowski M., 1998, *Współczesna dynamika, funkcjonowanie i przemiany krajobrazu Pogórza Karpackiego*, Inst. Bot. UJ, Kraków.
- Figuła K., 1966, *Badania transportu rumowiska w ciekach górskich i podgórszych o różnej budowie geologicznej i użytkowaniu*, Wiad. IMUZ, 4, 4.
- Froehlich W., 1972, *The carrying out of suspended and dissolved load in the Kamienica Nawojowska and Łubinka catchment basins during the flood in 1970*, St. Geom. Carp.-Balc., 6.
- Froehlich W., 1975, *Dynamika transportu fluwialnego Kamienicy Nawojowskiej*, Prace Geogr. IGiPZ PAN, 114.
- Froehlich W., 1978, *The role of land use in varying the suspended load during continuous rainfall (Kamienica Nawojowska catchment, Flysch Carpathians)*, Geogr. Polon., 41.
- Froehlich W., 1982, *Mechanizm transportu fluwialnego i dostawy zwietrzelin do koryta w górskiej zlewni fliszowej*, Prace Geogr. IGiPZ PAN, 143.
- Froehlich W., 1992, *Mechanizm erozji i transportu fluwialnego w zlewniach beskidzkich*, Prace Geogr. IGiPZ PAN, 155.
- Froehlich W., Słupik J., 1980, *Drogi polne jako źródła dostawy wody i zwietrzelin do koryta cieków*, Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 235.
- Froehlich W., Słupik J., 1986, *Rola dróg w kształtowaniu spływu i erozji w karpackich zlewniach fliszowych*, Przegl. Geogr., 58, 1-2.
- Gerlach T., 1966, *Współczesny rozwój stoków w dorzeczu górnego Grajcarka (Beskid Wysoki)*, Prace Geogr. IG PAN, 52.
- Gerlach T., 1976, *Współczesny rozwój stoków w polskich Karpatach Fliszowych*, Prace Geogr. IG PAN, 122.
- Gil E., 1974, *An attempt to determine the size of washing of the Bystrzanka catchment basin near Szymbark*, St. Geom. Carp.-Balc., 8.

- Gil E., 1976, *Splukiwanie gleby na stokach fliszowych w rejonie Szymbarku*, Dokum. Geogr., 2.
- Gil E., 1986, *Rola użytkowania ziemi w przebiegu spływu powierzchniowego i splukiwania na stokach fliszowych*, Przegl. Geogr., 58, 1-2.
- Gil E., 1994, *Próba bilansu denudacyjnego zlewni* [w:] *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Stacja Bazowa Szymbark (Karpaty Fliszowe)*, PIOŚ, Warszawa.
- Gil E., 1998a, *Wpływ długości stoku na rozmiary spływu powierzchniowego i splukiwania (badania eksperymentalne)* [w:] A. Kostrzewski (red.), *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie i tendencje rozwoju geosystemów Polski*, Bibl. Monitoringu Środowiska, PIOŚ, Warszawa.
- Gil E., 1998b, *Spływ wody i procesy geomorfologiczne w zlewniach fliszowych podczas gwałtownej ulewy w Szymbarku w dniu 7 czerwca 1985 roku* [w:] L. Starkel (red.), *Geomorfologiczny i sedymentologiczny zapis lokalnych ulew*, Dokum. Geogr., 11.
- Gil E., Stupik J., 1972, *The influence of plant cover and land use on the surface run-off and wash-down during heavy rain*, St. Geom. Carp.-Balc., 6.
- Gil E., Starkel L., 1979, *Long-term Extreme Rainfalls and their Role in the Modelling of Flysch Slopes*, St. Geom. Carp.-Balc., 13.
- Kaszowski L., 1995, *Ogólna charakterystyka progów Pogórza Karpackiego między Rabą a Uszwicą* [w:] L. Kaszowski (red.), *Dynamika i antropogeniczne przeobrażenia środowiska przyrodniczego progów Karpat między Rabą a Uszwicą*, Inst. Geogr. UJ, Kraków.
- Kaszowski L., Święchowicz J., 1995, *Rzeźba progów Pogórza Karpackiego między Rabą a Uszwicą*, [w:] L. Kaszowski (red.), *Dynamika i antropogeniczne przeobrażenia środowiska przyrodniczego progów Karpat między Rabą a Uszwicą*, Inst. Geogr. UJ, Kraków.
- Kostrzewski A., Zwoliński Z., 1988, *Koncentracja i ładunek materiału zawieszonoego i rozpuszczonego w zlewniach cząstkowych dorzecza górnej Parsęty w roku hydrologicznym 1986*, Spraw. PTPN, 105.
- Kostrzewski A., Mazurek M., Zwoliński Z., 1994, *Dynamika transportu fluwialnego górnej Parsęty jako odbicie funkcjonowania systemu zlewni*, Stowarzysz. Geomorfologów Polskich, Poznań.
- Krzemień K., 1976, *Współczesna dynamika koryta potoku Konina w Gorcach*, Folia Geogr., ser. Geogr.-Phys., 10.
- Krzemień K., 1984, *Fluvial transport balance in high-mountain crystalline catchment basin*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 61.
- Krzemień K., 1986, *Dynamika transportu fluwialnego w polodowcowej dolinie w krystalicznej części Tatr Zachodnich*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 64.
- Krzemień K., 1991, *Dynamika wysokogórskiego systemu fluwialnego na przykładzie Tatr Zachodnich*, Rozpr. habil. UJ, 215.
- Krzemień K., 1995, *Odprowadzanie materiału rozpuszczonego i zawiesiny z pogórskich zlewni Starej Rzeki i Dworskiego Potoku* [w:] L. Kaszowski (red.), *Dynamika i antropogeniczne przeobrażenia środowiska przyrodniczego progów Karpat między Rabą a Uszwicą*, Inst. Geogr. UJ, Kraków.
- Krzemień K., 1996, *Relation between dissolved and suspended matter content exported from the drainage basins in the Carpathian Foothill region, Southern Poland*, St. Geom. Carp.-Balc., 30.
- Krzemień K., Sobiecki K., 1998, *Transport of dissolved and suspended matter in small catchments of the Wieliczka Foothills near Łazy* [w:] W. Chelmski (red.), *The Carpathian Foothills Marginal Zone. Man and Environment*, Prace Geogr. Inst. Geogr. UJ, 103.
- Krzemień K., Święchowicz J., 1992, *Zróżnicowanie i zmienność koncentracji zawiesiny w zlewni Starej Rzeki*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 88.

- Lach J., 1984, *Geomorfologiczne skutki antropopresji rolniczej w wybranych częściach Karpat i ich Przedgórze*, Wyd. Nauk. WSP, Kraków.
- Lajczak A., 1989, *Zróżnicowanie transportu zawiesiny w karpackiej części dorzecza Wisły*, *Dokum. Geogr.*, 5.
- Pietrzak M., 1995, *Historyczne i współczesne osadnictwo oraz użytkowanie środowiska progu Pogórza Karpackiego między Rabą i Uszwicą* [w:] L. Kaszowski (red.), *Dynamika i antropogeniczne przeobrażenia środowiska przyrodniczego progu Karpat między Rabą a Uszwicą*, *Inst. Geogr. UJ, Kraków*.
- Reniger A., 1957, *Ilość materiału unoszonego ze zlewni podgórskiej rzeki Mleczyki*, *Gosp. Wodna*, 7.
- Ślupik J., 1973, *Zróżnicowanie sphywu powierzchniowego na fliszowych stokach górskich*, *Dokum. Geogr.*, 2.
- Ślupik J., 1981, *Rola stoku w kształtowaniu odpływu w Karpatach fliszowych*, *Prace Geogr. IG PAN*, 142.
- Smolska E., 1996, *Funkcjonowanie systemu korytowego w obszarze młodoglacjalnym na przykładzie górnej Szyszupy (Pojezierze Suwalskie)*, *Uniw. Warsz.*, *Wydz. Geogr. i St. Region.*, Warszawa.
- Soja R., Prokop P., 1995, *Drogi jako element antropogenicznego przekształcenia środowiska* [w:] R. Soja, P. Prokop (red.), *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Monitoring ekosystemów górskich. Szymbark 1995*, *Bibl. Monitoringu Środowiska, PIOS*, Warszawa.
- Starkel L., 1972a, *Karpaty Zewnętrzne i Kotlina Sandomierska* [w:] M. Klimaszewski (red.), *Geomorfologia Polski*, t. 1: *Góry i Wyżyny*, *PWN, Warszawa*.
- Starkel L., 1972b, *Charakterystyka rzeźby Polskich Karpat (i jej znaczenie dla gospodarki ludzkiej)*, *Probl. Zagosp. Ziem Górskich*, 10.
- Starkel L., 1979, *On some questions of the contemporary modelling of slopes and valley bottoms in the flysch Carpathians*, *St. Geom. Carp.-Balc.*, 13.
- Starkel L., 1986, *Rola zjawisk ekstremalnych i procesów sekularnych w ewolucji rzeźby (na przykładzie fliszowych Karpat)*, *Czasop. Geogr.*, 57.
- Starkel L., 1988, *Rzeźba* [w:] J. Warszzyńska (red.), *Województwo tarnowskie. Monografia*, *Ossolineum, Wrocław*.
- Starkel L., 1996, *Geomorphic role of extreme rainfalls in the Polish Carpathians*, *St. Geom. Carp.-Balc.*, 13.
- Świąchowicz J., 1991, *Budowa geologiczna i rzeźba zlewni Starej Rzeki*, *Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr.*, 83.
- Świąchowicz J., 1992, *Naturalne i antropogeniczne uwarunkowania rzeźby w zlewni Starej Rzeki*, *Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr.*, 88.
- Świąchowicz J., 1995, *Opadowe uwarunkowania wystąpienia sphywu powierzchniowego w zlewni Starej Rzeki na Pogórzu Karpackim* [w:] L. Kaszowski (red.), *Dynamika i antropogeniczne przeobrażenia środowiska przyrodniczego progu Karpat między Rabą a Uszwicą*, *Inst. Geogr. UJ, Kraków*.
- Świąchowicz J., 1998, *Splukiwanie gleby na stoku eksperymentalnym w rejonie Łazów (Pogórze Wielickie)* [w:] A. Kostrzewski (red.), *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie i tendencje rozwoju geosystemów Polski*, *Bibl. Monitoringu Środowiska, Warszawa*.
- Świąchowicz J., 2000, *Opadowe uwarunkowania wystąpienia splukiwania na stoku eksperymentalnym w rejonie Łazów (Pogórze Wielickie)*, *Prace Geogr.*, 105.
- Tutaj A., 1995, *Klinometryczna charakterystyka rzeźby Progu Pogórza Karpackiego między Rabą i Uszwicą* [w:] L. Kaszowski (red.), *Dynamika i antropogeniczne przeobrażenia środowiska przyrodniczego progu Karpat między Rabą a Uszwicą*, *Inst. Geogr. UJ, Kraków*.

- Welc A., 1972, *Transportation of suspended matter in the rivers Ropa and Bystrzanka and magnitude of wash down during the flood in July 1970*, St. Geom. Carp.-Balc., 6.
- Welc A., 1973, *Transport of material carried out of Bystrzanka catchment area during spring snow melting in 1971*, St. Geom. Carp.-Balc., 7.
- Welc A., 1988, *Wpływ opadów na wielkość i czas trwania transportu zawiesziny w potoku Bystrzanka (Karpaty Zachodnie)*, St. Geom. Carp.-Balc., 22.
- Wit-Józwiak K., 1977, *Analiza deszczów w Szymbarku w latach 1969-1973 (w okresie od maja do września)*, Dokum. Geogr., 6.
- Woźniak-Strojna Z., 1963, *Przebieg i rozmiary współczesnego modelowania zlewni potoku Bilczyckiego przez procesy denudacyjne*, Dokum. Geogr., 5.

THE ROLE OF SLOPES AND VALLEY FLOOR IN TRANSPORTING SUSPENDED MATERIAL FROM FOOTHILL CATCHMENTS

Summary

This article describes the role of slopes and valley floors in transporting suspended material from foothill catchments. The work was based on research on suspended material transport in the channels of the Stara Rzeka and Dworski Potok in the years 1987-1991. Also used were measurements of sediment removal in slope catena (Święchowicz 1998, 2000) and mapping of the catastrophic effects of precipitation.

Along the edge of the Carpathian Foothills occur areas of long convex-concave slopes and, less frequently, convex slopes. However, dominating the landscape are slopes with edges and agricultural terraces that indicate former agricultural plots on these slopes. Their profile is predominantly irregular, descending downslope in stairstep fashion with convex, concave, and flat segments (Photo 2). The river valleys are broad, flat and covered by grass. They are cut by deep, steep-sloped channels in which the stream beds are formed. Most of the slopes merge gently into the valleys, without clear transitional areas. Footslope proluvial plains are found throughout and are a major element of terrain formation (Fig. 1).

Within a catchment, sediment removal takes place episodically and occurs even on very gentle slopes. However, the morphogenetic effectiveness of the process varies with time and place, and depends on both meteorological conditions and the nature of the terrain. The amount of sediment removed depends on precipitation, infiltration capacity of the soil, and distance from the catchment boundary but the effects vary; amount of sediment can both increase and decrease at the bottom of the slope during a single flow event. The removed material undergoes stages of movement at the bottom of a slope (Figs. 2 and 3). The number of days with flow and sediment removal consists of only 3% for the tree-covered edge and 6.1% for pasture.

On slopes where agriculture takes place in a sequence of plots that are used differently and are separated from one another by elevated boundary strips, individual plots usually function separately from one another. Movement of material occurs within the plot and accumulates at the downslope portion of the plot at the transverse boundary strip, at the top of the next plot downslope (Photos 3 and 4). In effect it leads to the creation of a distinct flattening at the boundary of the plot and forms an irregular slope profile. Material is carried from the plot directly adjacent to the valley floor and is deposited within footslope proluvial plains and on the valley floor in various forms of large proluvial fans. The range of material transport depends above all on the land use of the plots adjacent to the valley floor (Photo 1).

The accumulation of material on a slope used for agriculture forms a repeating, elongated staircase profile, leading to exaggerated morphologic contrasts in cultivated slope profile. However material deposited at the foot of the slopes and in the valley floor leads to a muting of the morphologic contrasts between slopes and valley floors.

During the study period 1987-1991, from 276 (1990) to 1694.9 (1987) tons of material were transported from the Stara Rzeki catchment, and from 0.582 (1990) to 0.906 (1987) tons were transported from the Dworski Potok catchment. The amount of suspended material provided by the Dworski Potok basin to the Stara Rzeki channel in the years 1987-1991 constituted from 0.05 to 0.21% of the total suspended load transported by the Stara Rzeki. Suspended material comes from the immediate environment, and from the erosional channel cutting through the valley in which the Stara Rzeki flows. The channels are deeply incised and winding, and have a large number of bank undercuts. Thus, material is transported into the channel even when water stages are not at their highest. The existence of these channels is simultaneously morphologic proof of the origin of the suspended material and is disproportionate in amount between tributaries and the main stream. Material washed down the slopes used for agriculture accumulates at the foot of the slopes and within the flat grassy areas of the river valley. Suspended material removed from a foothill catchment therefore comes from a small portion (about 1%) of its area.

The foothill catchment system is characterised by a weak connection between its two subsystems: the slope system and the river valley system. Interaction between the two subsystems occurs episodically and most often locally. Then most of the material is deposited on the slopes and the footslope proluvial plains. These various proluvial and flat valley floors are a zone weakly separating the slope and channel subsystems. This zone can be treated as a third subsystem, strongly influencing the circulation of material in the catchment. It is simultaneously a zone in which most of the deposited material is transported from the slopes. Material rarely is transported beyond this zone and only during extreme events.

