

Jolanta Święchowicz

Zakład Geomorfologii, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej
Uniwersytet Jagielloński, Kraków
e-mail: j.swiechowicz@geo.uj.edu.pl

**EKSTREMALNE SPŁUKIWANIE I EROZJA LINIJNA
NA STOKACH UŻYTKOWANYCH ROLNICZO
W POLSKICH KARPATACH FLISZOWYCH**

**Extreme sheet and rill erosion on agricultural slopes
in the flysch Polish Carpathians**

Abstract: Sheet and rill erosion plays an important role in the transformation of agricultural slopes in the Carpathians. It is an episodic process of short duration which can take place both in the winter and summer hydrological half-years as a result of meteorological short-term and high-intensity events like short downpours, intense continuous rainfall and rapid thaws. The climate of the Carpathians is characterized by the variability of its parameters caused by the growing height of the mountain belts from the north to the south as well as by the considerable latitudinal extent of the mountain range. The summer season is crucial to annual precipitation totals. Maximum daily precipitation totals are the result of intense continuous rainfall (mainly in June and July) and short local downpours (mainly in May). In the flysch Polish Carpathians the role of sheet and rill erosion on agricultural slopes is different in areas characterized by mountain relief (Beskidy Mountains) and foothill relief, because the two regions have different water circulation patterns and weathered material displacement patterns. Another crucial factor that helps account for the differences in the effectiveness of sheet and rill erosion is vegetation cover.

The lack of sufficiently long measurement series or diversification between regions of the Carpathians makes it difficult to determine the frequency of extreme sheet and rill erosion and their recurrence, which means it is not possible to define the quantitative criteria for establishing extreme sheet and rill erosion processes for the whole area of the Polish Carpathians.

The aim of this paper is to examine the criteria on the basis of which extreme sheet and rill erosion on agricultural slopes has so far been determined as well as the effects and role of the process in the transformation of the slopes.

Słowa kluczowe: procesy ekstremalne, spłukiwanie, erozja liniowa (liniowa), Karpaty

Key words: extreme processes, sheet erosion, rill erosion, Polish Carpathians

WSTĘP

Naturalną konsekwencją wylesienia znacznych obszarów w Karpatach fliszowych i wprowadzenia w to miejsce upraw jest okresowy brak zwartej pokrywy roślinnej, chroniącej powierzchnię przed skutkami intensywnych opadów i gwałtownych roztopów. Występowanie spłukiwania jest nieodłącznie związane z terenami rolniczymi. Procesy te występują wtedy, kiedy woda pochodząca z opadu lub topnienia śniegu ulega transformacji w spływ powierzchniowy i transportuje w dół stoku cząstki gleby, które ulegają depozycji w obrębie lub u podnóża stoków, w dnach dolin albo dostarczane są bezpośrednio do koryt potoków oraz rzek i transportowane poza obręb zlewni. Spłukiwanie (*sheet erosion*) zachodzi wtedy, kiedy spływająca po stoku w sposób nieskoncentrowany woda, spłukuje rozbite przez krople deszczu agregaty glebowe. Jeśli woda spływa po stoku w sposób skoncentrowany (linijny) dochodzi do erozji linijnej (*rill erosion*) zwanej inaczej erozją żłobkową, żłobinową, bruzdową. W jej wyniku powstają żłobki erozyjne (żłobiny erozyjne, bruzdy erozyjne) (Dobrzański i in. 1953, Józefaciuk, Józefaciuk 1995, Goudie 2004, Migoń 2006). Erozja żłobinowa może przejść w erozję wąwozową (*gully erosion*). W polskiej literaturze geomorfologicznej częściej używany jest termin spłukiwanie, z rozróżnieniem na spłukiwanie powierzchniowe i linijne (Klimaszewski 1978, Mycielska-Dowgiało i in. 1999). Zarówno spłukiwanie jak i erozja linijna są procesami epizodycznymi i krótkotrwałymi, a o ich wystąpieniu decydują te same czynniki. W półroczu zimowym przyczyną działania procesu spłukiwania są odwilże śródzimowe i roztopy wiosenne oraz niekiedy występujące (zwłaszcza w kwietniu) deszcze o dużej wysokości i natężeniu.

Jednak nie zawsze zachodzi transformacja opadu w spływ powierzchniowy, dzięki któremu możliwe jest wystąpienie procesu. Zależy to od wielu czynników, ale najważniejszymi są cechy deszczu, ilość wody zmagazynowanej w pokrywie śnieżnej, właściwości infiltracyjne podłoża, wilgotność gleby, rodzaj upraw i stopień pokrycia obszaru przez roślinność, a zimą i wiosną głębokość przemarznięcia gruntu. Intensywne spłukiwanie zazwyczaj ma miejsce na polach, na których uprawy niewystarczająco chronią powierzchnię gleby przed bezpośrednim działaniem kropel deszczu, jak i zbyt słabo ograniczają spływ (Słupik 1973, 1978, Gil, Starkel 1979, Gil 1994, 1999, Świąchowicz 2002, 2008a).

Spłukiwanie, podobnie jak wszystkie procesy geomorfologiczne może osiągać wartości ekstremalne (skrajne). Na podstawie długich serii pomiarowych, można podać je jako wartość najniższą (minimalną) natężenia procesu i wartość najwyższą (maksymalną) (Sobol 2002). Jest to najprostszy sposób pozwalający na identyfikację zdarzeń ekstremalnych poprzez wyróżnienie ekstremów absolutnych (absolutne maksimum i minimum), jakie zostały stwierdzone na danym obszarze w określonym czasie. Zredukowanie liczby przypadków (do zaledwie dwóch) nadmiernie zawęży określenie roli tych zdarzeń w przekształcaniu rzeź-

by. Dlatego zwykle za zdarzenia ekstremalne uznaje się te, które występują rzadko, wyjątkowo czy wręcz incydentalnie, a natężenie procesu jest zbliżone do wartości absolutnych lub osiąga wartości powyżej pewnej wartości progowej.

W literaturze meteorologicznej i hydrologicznej występuje duża różnorodność w definiowaniu zdarzeń ekstremalnych (Chomicz 1951, Kiciński i in. 1974, Wit-Józwiak 1977, Cebulak 1992, 1998-1999, Ozga-Zielińska, Brzeziński 1994, Mrugała 1997, Twardosz 1997, 2000, Cebulak, Niedźwiedz 1998, Pociask-Karteczka (red.) 2003, Zasady..., IMGW 2005, Jokieli 2008, Zwoliński 2008). Podstawowym i najczęściej stosowanym kryterium wyróżniania zdarzeń ekstremalnych jest prawdopodobieństwo przewyższenia (przekroczenia) i okres powtarzalności zdarzenia. Zwykle przyjmowane jest prawdopodobieństwo przekroczenia mniejsze niż 10%, czyli kiedy okres powtarzalności wynosi raz na 10 lat. Przy czym konkretna wartość progowa (np. wysokości opadu, natężenia przepływu itp.) nie jest wartością stałą, lecz zmienia się w zależności od cech obszaru i długości serii pomiarowej.

W polskiej literaturze geomorfologicznej brak jest jednolitych kryteriów wyróżniania procesów ekstremalnych, zwłaszcza w odniesieniu do erozji gleby (Starkel 1986, 1996, 2002, 2003, Kostrzewski i in. 1992, Teisseyre 1992, 1994, Józefaciuk, Józefaciuk 1995, Rodzik i in. 1998, Świąchowicz 2002, Rejman 2006, Florek (red.) 2008, Smolska 2008, Zwoliński 2008, Demczuk 2009, Gil 2009). Zwykle ekstremalne procesy geomorfologiczne są skutkiem ekstremalnych zdarzeń meteorologicznych i hydrologicznych. Dla geomorfologa najistotniejsze są skutki działania procesów, gdyż te prowadzą do zmian w rzeźbie terenu. Dlatego też w badaniach geomorfologicznych ważne jest określenie zarówno wartości progowych (zewnętrznych i wewnętrznych) wystąpienia procesu (w odniesieniu do procesów epizodycznych i okresowych) oraz wartości progowych natężenia procesu, po przekroczeniu których, zdarzenie możemy uznać za ekstremalne w swojej kategorii.

Celem artykułu jest przegląd kryteriów, w oparciu o które wyróżniano ekstremalne procesy spłukiwania na stokach karpackich użytkowanych rolniczo oraz skutków i roli tych procesów w przekształcaniu stoków.

CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Polskie Karpaty zewnętrzne zbudowane są głównie ze sfałdowanych utworów fliszowych, a ich rzeźba ściśle nawiązuje do litologii i tektoniki. W Karpatach fliszowych wyróżnia się następujące typy rzeźby: średnio i niskogórski, pogórski oraz den dolin i kotlin (Starkel 1972). Przebieg procesów erozyjnych na stokach użytkowanych rolniczo jest inny w obszarach o typie rzeźby górskiej (beskidzkiej) i pogórskiej, gdyż charakteryzują się one odmiennymi cechami obiegu wody i transportu zwietrzliny (tab. 1) (Świąchowicz 2008a).

Tabela 1. Uwarunkowania wystąpienia spłukiwania w Karpatach (na podstawie Starkel 1972, Soja 2002)

Table 1. Conditions for sheet and rill erosion in the Polish Carpathians (based on Starkel 1972, Soja 2002)

Typy rzeźby i użytkowanie ziemi		Karpaty Zachodnie Zewnętrzne		Karpaty Wschodnie Zewnętrzne
		Pogórze Karpackie	Beskidy	
Typy rzeźby – powierzchnia [%]	góry średnie	0,1	29,5	13,9
	góry niskie i wysokie pogórza	2,8	27,3	22,5
	pogórza średnie	50,5	26,8	30,8
	pogórza niskie	31,8	9,8	30,7
	dna dolin i kotlin	14,8	6,6	2,1
Użytkowanie ziemi [%]	powierzchnia lasów	25,4	49,9	67,3
	powierzchnia gruntów ornych	45,5	27,6	10,9
	powierzchnia łąk	12,7	13,5	12,9

Typ rzeźby górskiej charakteryzuje się stromymi ($>20^\circ$) stokami występującymi na seriach fliszowych z przewagą piaskowców. Są one pokryte pokrywami gliniastymi z dużym udziałem frakcji szkieletowej. Taka budowa stoków sprzyja infiltracyjno-ewapotranspiracyjnemu typowi krążenia wody, z przewagą spływu śródpokrywowego. Rzeźba pogórzy charakteryzuje się występowaniem szerokich wyrównanych garbów wierzchwinowych oraz wypukło-wklęsłych stoków o przeważających nachyleniach $5-20^\circ$. Na stokach pogórskich, zbudowanych z warstw piaskowcowo-łupkowych i łupkowych pokrytych pokrywami gliniastymi, występuje infiltracyjno-ewapotranspiracyjny typ krążenia wody ze znacznym udziałem spływu powierzchniowego (Słupik 1973, 1978, Starkel 1991, Gil 1999, Świąchowicz 2008a).

Cechą klimatu Karpat jest duża zmienność parametrów klimatycznych uwarunkowana wzrostem wysokości pasm górskich z północy na południe oraz dużą rozciągłością równoleżnikową łańcucha górskiego. Z przebiegiem progów Pogórza Karpackiego pokrywa się izohieta 700 mm, a z przebiegiem progów Beskidów izohieta 900 mm. Wyraźne cienie opadowe występują w kotlinach śródgórskich i w dolinach o południkowym przebiegu. Opady atmosferyczne maleją ku wschodowi. Sumy opadów w półroczu letnim są zdecydowanie wyższe niż w półroczu zimowym. Maksymalne dobowe sumy opadów pochodzą najczęściej z intensywnych deszczów rozlewnych (głównie w lipcu i czerwcu) oraz krótkotrwałych lokalnych ulew (głównie w maju). Zachodnia strefa przewagi maksymalnych opadów dobowych z deszczów rozlewnych sięga po doliny Dunajca i Białej Dunajcowej. Na wschód od Dunajca następuje wzrost udziału deszczów ulewnych w kształtowaniu maksymalnych opadów dobowych (Cebulak 1992).

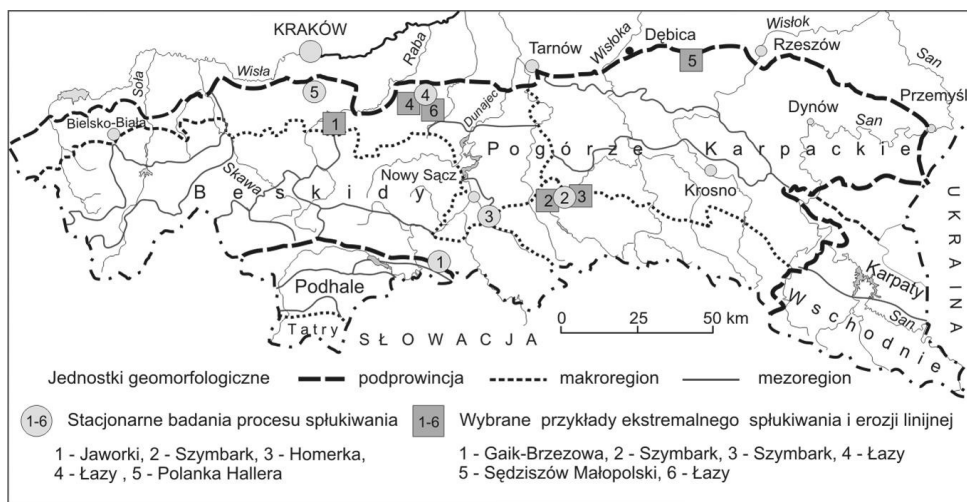
W Karpatach grunty orne i sady stanowią 38,4%, lasy 41,4%, pastwiska 8,3%, a pozostałe grunty około 11,9% powierzchni (Soja 2002). W Beskidach

połowę obszaru zajmują lasy (49,9%), na grunty orne przypada 27,6%, a udział łąk i pastwisk sięga 13,5% (tab. 1). Powierzchnia gospodarstw rolnych jest bardzo zróżnicowana. Najmniejsze gospodarstwa (2-3 ha) występują w Beskidzie Małym, Śląskim, a największe (od 7 do ponad 10 ha) występują w Bieszczadach i Beskidzie Niskim (Guzik 1995). Na Pogórzu Karpackim grunty orne stanowią 45,5%, łąki i pastwiska 12,7%, a lasy 25,4% powierzchni (tab. 1). W strukturze upraw dominują zboża oraz uprawy okopowe (ziemniaki, buraki). Gospodarstwa rolne o średniej powierzchni około 3 ha, składają się najczęściej z kilku oddzielnych działek o średniej powierzchni 0,5-0,7 ha (Guzik 1995). Duże rozdrobnienie gospodarstw sprawia, że na Pogórzu gęstość sieci dróg jest bardzo duża i przewyższa gęstość sieci rzecznej (Soja, Prokop 1996, Soja 2002).

METODY BADAŃ SPŁUKIWANIA

Pomiary stacjonarne

Badania spłukiwania w Karpatach mają długą tradycję, a pomiary za pomocą łapaczy zainicjował Gerlach (1958, 1966, 1976) w Beskidzie Sądeckim (rys. 1).



Rys. 1. Lokalizacja miejsc stacjonarnych pomiarów spłukiwania w Karpatach oraz miejsc wystąpienia wybranych przykładów ekstremalnego spłukiwania i erozji liniijnej
Fig. 1. Location of sheet and rill erosion measurement sites in the Carpathians, and location of selected sites where cases of extreme sheet and rill erosion took place

Stacja Naukowa IGiPZ PAN w Szymbarku położona na pograniczu Beskidu Niskiego i Pogórza Ciężkowickiego dysponuje najdłuższą serią pomiarową spłukiwania w Karpatach, monitorowanego od 1968 r. (Gil, Słupik 1972, Słupik 1973, 1981, Gil 1976, 1986, 1994, 1999, 2009). Stacjonarne pomiary spłukiwa-

nia prowadzone są również na Pogórzu Wiśnickim w rejonie Stacji Naukowej IGiGP UJ w Łazach k. Bochni (Świąchowicz 1995, 2002c, 2008, 2009). Okresowe prace badawcze nad splukiwaniem prowadzone były też na Pogórzu Wielickim w rejonie terenowej Stacji Ekologicznej Instytutu Botaniki UJ w Polance Hallera (Drużkowski 1998).

Pomiary stacjonarne polegały na pomiarach prowadzonych na poletkach doświadczalnych o różnej długości, szerokości, nachyleniu i użytkowaniu, wydzielonych w obrębie stoku. Poletka były ekranowane (Gil 1976, 1999, Świąchowicz 2002), bądź nie (Gerlach 1966, Świąchowicz 2002). Zwykle zamknięte łapaczami, którymi były różnej długości rynny (Gerlach 1966) połączone z instalacją zbiorczą lub worki (Słupik 1973). Zbiorniki były opróżniane w różnych odstępach czasu (Gerlach 1966, 1976) lub każdorazowo po wystąpieniu opadu (Słupik 1970, Gil 1976, Świąchowicz 1995, 2002). Dotychczasowe pomiary prowadzone były zaledwie w kilku regionach Karpat (rys. 1). Większość serii pomiarowych była zwykle krótka i obejmowała okres od 1 roku do 5 lat (Gerlach 1966, 1976, Świąchowicz 1995, 2002) (tab. 2).

Tabela 2. Natężenie splukiwania w różnych regionach Karpat

Table 2. Rate of sheet erosion in different regions of the Carpathians

Region <i>Region</i>	Autor <i>Author</i>	Okres badań <i>Study period</i>	Splukiwanie – <i>Slopewash</i> [kg ha ⁻¹ rok ⁻¹]				
			Las <i>Forest</i>	Łąka <i>Grassland</i>	Czarny ugór <i>Black fallow</i>	Okopowe (ziemniaki) <i>Root crops (potatoes)</i>	Zboża <i>Cereals</i>
Jaworki (Beskid Sąddecki)	Gerlach, 1966, 1976	1956–1958	–	3,1–7,1	–	63 195	17 022
		1968–1971	–	3,5–11,8	–	–	–
Jaszczce Jamne (Beskid Sąddecki)	Gerlach, 1966, 1976	1969–1971	2,1–12,9	2,7–3,5	–	–	–
Szymbark k/Gorlic (Beskid Niski/ Pogórze)	Gil, 1994, 1999	1969–1990	–	8,1–466	–	561–95 771	17–8 491
Pogórze Wielickie	Drużkowski, 1998	–	25	50	–	75 000	1 250
Pogórze Wiśnickie	Świąchowicz, 2010	2007–2008	–	41,9	47340	43 396	31,4

W celu porównania wyników pomiarów prowadzonych na poletkach o różnej długości i powierzchni, wyniki splukiwania podawano najczęściej w kg ha⁻¹ (Gerlach 1966, 1976, Gil 1976) oraz w gramach lub kilogramach z pasa stoku o jednakowej szerokości (Gerlach 1966, Słupik 1986) i odnoszono do sezonów, półroczy, lat hydrologicznych, wieloleci oraz podawano średnie wartości dla

okresów pomiarowych (Gerlach 1966, 1796, Gil 1976, 1986). Na rolę pojedynczych zdarzeń spłukiwania (wielkość i częstość) w odprowadzaniu gleby ze stoków zwrócono uwagę w badaniach prowadzonych na Pogórze Wiśnickim (Święchowicz 1995, 2000, 2002, 2004, 2008b). Pomiary na poletkach doświadczalnych nie pozwalały na zbilansowanie obiegu wody i transportu zwietrzelin w obrębie całego stoku od wododziału do koryta potoku. Badania na całym stoku zostały zainicjowane przez Froehlich i Słupika (1977) w Homerce, gdzie pomiarami objęto: mikrozwlewnię naturalnego rozcięcia erozyjnego i zlewnię drogi polnej, odwadniane spływem skoncentrowanym oraz mikrozwlewnię przyrzecza odwadnianą spływem rozproszonym (Słupik 1981, Froehlich 1982).

Na Pogórze Wielickim w rejonie Polanki Hallera zastosowano patrolową metodę pomiarów form erozyjnych i akumulacyjnych będących skutkiem spłukiwania i erozji liniowej (Drużkowski 1998). Prowadzono je okresowo w latach 1976-1995 w obrębie poletek o powierzchni od 1 do 5 arów lub w pasie stoku o szerokości od 5 do 10 m, od wododziału do dna doliny. Badania polegały na pomiarze szerokości, głębokości i długości żłobin erozyjnych i na tej podstawie obliczano objętość odprowadzanej z pól gleby. Pomiary żłobinek o szerokości i głębokości do 5 cm prowadzono na kilku poletkach o powierzchni 1m^2 , a wyniki pomiarów odnoszono do całej działki. Na tej podstawie obliczono średnią roczną wartość degradacji stoków przez spłukiwanie, a wyniki podano zarówno w $\text{t ha}^{-1}\text{rok}^{-1}$ jak i w $\text{m}^3\text{ha}^{-1}\text{rok}^{-1}$ oraz w mm rok^{-1} dla różnych typów użytków.

Studia skutków wybranych zdarzeń

Jedynie nieliczne przypadki ekstremalnych zdarzeń spłukiwania na stokach użytkowanych rolniczo zostały przedstawione w literaturze. Najczęściej były to rekonstrukcje przebiegu zdarzeń na podstawie kartowania geomorfologicznego i zapisu opadów z najbliższych położonych posterunków meteorologicznych (Reniger 1959, Olecki 1970, Gil, Słupik 1972, Gil 1998, Święchowicz 2004, 2008b, 2009) (tab. 3). Inne zostały wzmiankowane lub opisane w ogólnych opracowaniach na temat procesów denudacyjnych (Figuła 1960, Woźniak-Strojna 1963, Gerlach 1976, Gil 1976, 1986, 1999, Święchowicz 2002). Cenne informacje na temat spłukiwania i erozji liniowej na stokach użytkowanych rolniczo znajdujemy również w opracowaniach poświęconych konsekwencjom lokalnych ulew i powodzi, gdzie omawiane są skutki wszystkich zarejestrowanych procesów geomorfologicznych np. ruchów masowych, procesów w dnach dolin i w korytach rzecznych (Długosz, Gębica 2006).

Podstawową metodą badań w takich przypadkach było kartowanie skutków zdarzeń, polegające głównie na:

- rejestracji powstałych mikroform erozyjnych: żłobin, epizodycznych koryt, powierzchni stoków, gdzie doszło do zmywu gleby oraz akumulacyjnych (stożków lub pokryw deluwalnych u podnóży stoków),

Tabela 3. Charakterystyka wybranych przykładów ekstremalnego spłukiwania i erozji liniowej na stokach użytkowanych rolniczo w różnych regionach Karpat

Table 3. Description of selected cases of sheet and rill erosion on agricultural slopes in various regions of the Carpathians

Charakterystyki/Characteristics		Wybrane zdarzenia/ Chosen events						
Data	29 V 1968	15 VI 1969	7 VII 1985	16 VII 2002	3 VI 2006	17 VI 2006		
Region	Pogórze Wielickie	Beskid Niski	Beskid Niski	Pogórze Wiśnickie	Pogórze Dynowskie	Pogórze Wiśnickie		
Miejscowość	Caik-Brzezowa	Szymbark	Szymbark	Łazy	Sędziszów Młp.	Łazy		
Źródło	Olecki 1972	Gil, Słupik 1972	Gil 1998	Świąchowicz 2002, 2004	Długosz, Gębica 2008**	Świąchowicz 2008, 2009		
Opad [mm]	33,6	43,0	61,8	40,4	55,0	82,6		
Czas trwania [min.]	43	50	125	274	120-150	85		
Nateżenie średnie [mm min. ⁻¹]	0,78	0,86	0,49	0,15	0,37-0,46	0,97		
Nateżenie maksymalne [mm min. ⁻¹]	1,29	1,74	3,4	1,2	b.d.	5,92		
Typ opadu wg Chomicza (1951)	silna ulewa IV stopnia A ₄	deszcz nawalny I stopnia B ₁	deszcz nawalny I-II stopnia (B ₁ -B ₂)	w pierwszych 20 minutach silna ulewa IV stopnia A ₄	deszcz nawalny	deszcz nawalny II stopnia B ₂		
Spłukiwanie [kg ha ⁻¹ rok ⁻¹]	okopowe	b.d.	40 000	b.d.	b.d.	b.d.		
	pszenica ozima	b.d.	b.d.	310,0	b.d.	b.d.		
	owies	b.d.	b.d.	5 276,6	b.d.	b.d.		
	żyto	b.d.	0,066	b.d.	b.d.	b.d.		
	łąka	b.d.	0,023	6,83	b.d.	b.d.		
Skutki geomorfologiczne	łas	b.d.	0,92	b.d.	b.d.	b.d.		
	erozja liniowa w osi doliny nieckowatej, u wylotu stożek deluwialny o podstawie 30 m; na polu lucerny żłobina o długości 150 m, głębokości do 30 cm i szerokości 80-100 cm	silna erozja gleby na polach z ziemniakami (żłobiny wycięte w bruzdach); depozycja wyerodowanej gleby u podnóża stoków	duże nateżenie spłukiwania na stokach, silna erozja żłobinowa w bruzdach na granicy działek	splukiwanie na polach z burakami; pogłębienie istniejącej żłobiny erozyjnej maks. od 68 do 120 cm, stożek deluwialny u podnóża stoku	żłobiny o długości 20-100 m i głębokości 20-50 cm na pow. ok. 3-4 ha; u podnóża stoków depozycja pokryw deluwialnych o miąższości 10-20 cm i pow. 2-3 ha	erozja liniowa w winnicy (0,7 ha); głębokość żłobin do 25 cm, akumulacja pokryw deluwialnych u podnóża stoku na dl. ok. 160 m; splukiwanie na polach z burakami (sadzonki całkowicie zmyte wraz z glebą z pow. 0,5 ha)		

b.d. – brak danych (no data); * – dane szacunkowe, ** – uszczegółowiono o informacje przekazane przez P. Gębicę i opublikowano za zgodą

- pomiary szerokości, głębokości i długości żłobin i epizodycznych koryt oraz powierzchni stoków, gdzie doszło do zmywu gleby,
- pomiary powierzchni i miąższości osadów w obrębie stożków lub pokryw deluwialnych.

Na tej podstawie obliczano objętość [$\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$] odprowadzanej z pól gleby oraz wielkość splukiwania [$\text{t ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$ lub mm rok^{-1}] na różnych typach użytków.

EKSTREMALNE SPLUKIWANIE W KARPATACH NA STOKACH UŻYTKOWANYCH ROLNICZO

Kryteria wyróżniania zdarzeń

Brak odpowiednio długich ciągów pomiarowych splukiwania w różnych regionach Karpat i standaryzacji metod pomiaru utrudnia określenie częstości zdarzeń, ich powtarzalności, a tym samym ustalenie ilościowych kryteriów wyróżniania ekstremalnych zdarzeń splukiwania i erozji liniowej w skali całych Karpat. Do tej pory brakuje danych dotyczących natężenia splukiwania w wielu regionach z uwzględnieniem różnego użytkowania, natomiast znacznie częściej opisywano skutki opadów określane jako ekstremalne.

W dotychczasowej literaturze geomorfologicznej najczęściej stosowanym kryterium wyróżniania zdarzeń splukiwania o ekstremalnym natężeniu był typ i parametry deszczu, który wywołał widoczne i nieodwracalne w sposób naturalny skutki, polegające na powstaniu nowych form rzeźby lub znacznym przeobrażeniu już istniejących, a proces swym działaniem obejmował duży obszar. Zakładano, że skutki ekstremalnych zdarzeń opadowych (między innymi splukiwanie na stokach użytkowanych rolniczo) są również ekstremalne (Gil, Starkel 1979, Starkel 1986, 1996, 2003, Gil 1998, Święchowicz 2004, 2008b, Długosz, Gębica 2008). Natomiast nie stosowano kryteriów ilościowych przez podanie wartości granicznej np. natężenia splukiwania [kg ha^{-1}], parametrów żłobin erozyjnych, jak np. długości [m], głębokości [m], objętości [m^3], gęstości [m ha^{-1}]. Wynikało to głównie z braku danych ilościowych pochodzących z monitoringu zdarzeń o ponadprzeciętnym natężeniu.

Rolę pojedynczych zdarzeń splukiwania w odprowadzaniu gleby ze stoków oceniano zazwyczaj na podstawie związku pomiędzy częstością zdarzeń, a ich geomorficzną efektywnością. Badania na poletkach doświadczalnych w rejonie Łazów w latach 1989-1990 wykazały, że nie zawsze największe zdarzenia opadowe miały największy udział w odprowadzaniu materiału ze stoku (Święchowicz 2000, 2002).

Ekstremalne zdarzenia splukiwania identyfikowano również na podstawie morfologicznych skutków. Zaliczano do nich te zdarzenia, które powodowały powszechne splukiwanie w całym profilu podłużnym niektórych, bądź wszystkich stoków w zlewni. Podczas takich zdarzeń zwykle dochodziło do powstania

głębokich żłobin lub epizodycznych koryt. Materiał ze stoków akumulowany był w obrębie równin podstokowych lub w dnie doliny w postaci stożków deluwialnych, co prowadziło do podniesienia dna doliny.

Pierwsze i jak dotąd jedyne opracowanie, które podaje kryteria wyróżniania i ekstremalne wartości spłukiwania na rolniczo użytkowanych stokach Pogórza i Beskidów powstało w oparciu o dane ilościowe, pochodzące z 30-letniej serii pomiarowej spłukiwania uzyskanej na poletkach doświadczalnych na Stacji IGiPZ PAN w Szymbarku (Gil 2009). Za podstawowe kryterium zdarzenia ekstremalnego przyjęto wielkość spłukiwania w relacji do wydajności i natężenia opadów. Ekstremalne wartości spłukiwania zostały podane dla upraw ziemniaków zarówno dla pojedynczych zdarzeń spłukiwania, jak i dla roku hydrologicznego w okresie 1969-2000. Za ekstremalne uznano te pojedyncze zdarzenia, podczas których spłukiwanie przekroczyło 20 t ha^{-1} . W okresie 30 lat badań wyróżniono 21 takich zdarzeń o powtarzalności 1 raz na 3,6 lat. Za ekstremalne spłukiwanie obejmujące okres roku hydrologicznego uznano spłukiwanie przekraczające $48 \text{ t ha}^{-1}\text{rok}^{-1}$ i o powtarzalności 1 raz na 8 lat. W okresie badań wyróżniono 11 lat hydrologicznych, w których roczne spłukiwanie przekroczyło tę wartość (Gil 2009).

Geomorfologiczne skutki ekstremalnego spłukiwania i erozji liniowej

Karpaty są łańcuchem górskim, który charakteryzuje się dużą zmiennością i zróżnicowaniem występowania opadów o dużej skuteczności morfologicznej, jakimi są krótkotrwałe lokalne ulewy oraz długotrwałe deszcze rozlewne. Tylko te opady są w stanie wywołać dużą erozję na stokach użytkowanych rolniczo i w krótkim czasie doprowadzić do znaczących zmian w rzeźbie terenu (Starkel 1979, 1986). O częstości występowania spłukiwania i erozji liniowej o ekstremalnym natężeniu w Karpatach wnosimy pośrednio – na podstawie częstości występowania lokalnych ulew oraz deszczów rozlewnych.

Letnie ulewy zwykle o gwałtownym przebiegu, krótkim czasie trwania, dużej wydajności i natężeniu przekraczają zdolności infiltracyjne podłoża. Występują w strefach frontów atmosferycznych wolno przemieszczających się lub stacjonarnych. Najczęściej zdarzają się w drugiej połowie maja, w czerwcu i lipcu, zwykle w godzinach popołudniowych. Mogą one osiągać maksymalne wartości rzędu 150 mm w ciągu 2 godzin (Cebulak 1998-1999). Ekstremalne zdarzenia spłukiwania będące następstwem tego typu opadów występują również losowo i lokalnie z różną częstością i natężeniem w różnych regionach Karpat. Zwykle obejmują swoim zasięgiem niewielki obszar, czasem zaledwie kilka lub kilkanaście km^2 .

Deszcze rozlewne o długim czasie trwania obejmują swym zasięgiem duże obszary. Występują głównie w lipcu i czerwcu, a maksymalne dobowe sumy deszczów rozlewnych nierzadko przekraczają 200 mm (Cebulak 1998-1999). Powodują nasycenie podłoża i spływ powierzchniowy po przekroczeniu pojemności infiltracyjnej gleby lub podczas chwilowego wzrostu natężenia opadów.

W takich warunkach wielkość spływu powierzchniowego jest podobna na wszystkich użytkach rolnych, a o jego wielkości decydują cechy litologiczne podłoża i pojemność wodna pokryw glebowych, a zmniejsza się rola użytkowania ziemi i szaty roślinnej (Słupik 1973, 1978). Jeśli podłoże jest w pełni nasycone wodą dochodzi do spływu powierzchniowego powrotnego, w dolnych częściach stoku. Spływ taki trwa zdecydowanie dłużej niż opad, lecz spłukiwanie jest zwykle znacznie mniejsze, aniżeli podczas ulew (Gil 1986, 1999). Przykładowo w Łazach k. Bochni w roku hydrologicznym 2007 spłukiwanie zarejestrowane na czarnym ugorze podczas 2 deszczów rozlewnych wyniosło odpowiednio 596,2 i 1393,1 kg ha⁻¹, a podczas dwóch największych lokalnych ulew 13594,3 i 19432,4 kg ha⁻¹.

Na zalesionych stokach Beskidów i Pogórza spłukiwanie nie ma większego znaczenia (Gerlach 1976, Gil 1976, Święchowicz 2002) (tab. 2). Główną rolę w obiegu wody i zwietrzliny odgrywają drogi i ścieżki, a w miejscach intensywnej eksploatacji lasu także rynny zrywkowe, którymi transportuje się drewno w dół stoku (Froehlich, Słupik 1980, 1986, Froehlich 1982, Soja, Prokop 1996). Zarówno w Beskidach, jak i na Pogórzu spłukiwanie występuje przede wszystkim na stokach użytkowanych rolniczo. Jednak użytkowanie ziemi zmienia się sezonowo wraz ze stosowanym płodozmianem. Zmienia się również stan upraw związany z wegetacją i pracami agrotechnicznymi. Równocześnie zmieniają się warunki pogodowe, a w zależności od nich stan powierzchni gruntu. Tak duża różnorodność warunków, w jakich potencjalnie może wystąpić spływ wody i spłukiwanie gleby, wpływa na zróżnicowanie natężenia tych procesów w Karpatach fliszowych (Święchowicz 2008a). Spłukiwanie bardzo rzadko obejmuje całe powierzchnie stoków w obrębie zlewni. Zwykle proces spłukiwania ma miejsce lokalnie, czas jego wystąpienia jest zmienny, a miejsca wystąpienia zróżnicowane w obrębie całych Karpat.

Procesom o ekstremalnym natężeniu przypisuje się główną rolę w przekształcaniu rzeźby terenu. Tylko one prowadzą w warunkach naturalnych do powstania zupełnie nowych form rzeźby i istotnej transformacji już istniejących (Starkel 1996). Podczas ekstremalnych zdarzeń opadowych oraz gwałtownych roztopów spłukiwanie rozproszone i erozja linijna występują równocześnie (tab. 3). Podstawowym skutkiem na stokach użytkowanych rolniczo jest częściowe, a w skrajnych przypadkach nawet całkowite zmycie warstwy ornej gleby, aż do tzw. „podeszwy płuznej”. Większość materiału spłukanego w górnych i środkowych odcinkach jest deponowana w obrębie różnego rodzaju spłaszczeń i zagłębień w obrębie stoku oraz u jego podnóża tworząc mięszce pokrywy deluwalne (fot. 1). Największe spłukiwanie zwykle występuje na stokach, gdzie uprawiane są ziemniaki, buraki, kukurydza. Na stokach zajętych przez uprawy zboża jest kilkanaście razy mniejsze, a na łąkach kilkaset razy (tab. 2). Przykładowo w Szymbarku w latach 1969-2000 na uprawach ziemniaków roczna wielkość spłukiwania zmieniała się od 371,5 do 99139,9 kg ha⁻¹, na uprawach zboża od

10,5 do 8495,1 kg ha⁻¹, koniczyny od 5,5 do 2588,9 kg ha⁻¹, a na łąkach od 3,5 do 466,1 kg ha⁻¹ (Gil 2009). O znaczeniu ograniczającej spłukiwanie roli rodzaju użytków podczas indywidualnych deszczów może świadczyć przykład z Łazów. W roku hydrologicznym 2007 na czarnym ugorze spłukiwanie zmieniało się od 25,2 do 19432,4 kg ha⁻¹, na uprawach ziemniaków od 31,3 do 16164,4 kg ha⁻¹, na uprawach pszenicy od 0,08 do 24,2 kg ha⁻¹, a na łące od 0,08 do 15,9 kg ha⁻¹. Pojedyncze ekstremalne zdarzenia mogą stanowić nawet ponad 90% rocznej wartości spłukiwania (Gil 2009). Spłukiwanie w dłuższych okresach czasu prowadzi do obniżania powierzchni stoku, zmiany jego nachylenia, kształtu i długości (Gerlach 1966, 1976, Gil 1976, 1986, 1994, 1999).



Fot. 1. Skutki ekstremalnego spłukiwania i erozji liniowej na terenie Rolniczego Zakładu Doświadczalnego UJ w Łazach po opadzie w dniu 16 lipca 2002 r. (fot. J. Świąchowicz)
Photo 1. Results of extreme sheet and rill erosion at the Jagiellonian University's Farm-land in Łazy after rainfall which took place on 16 July, 2002 (phot. by J. Świąchowicz)

W trakcie deszczów o wysokiej energii lub gwałtownych roztopów dochodzi do koncentracji spływu powierzchniowego, a w konsekwencji do erozji liniowej przejawiającej się w tworzeniu sieci bruzd erozyjnych (żłobin) oraz wanień i kociołków eworsyjnych na linii spływu wody. Powstawanie bruzd erozyjnych predysponowane jest długością stoku, rodzajem upraw i kierunkiem orki (fot. 2). Szczególnie często występują na stokach zajętych pod uprawy okopowe lub przygotowanych pod uprawy zbóż.

Długość bruzd erozyjnych jest zróżnicowana w szerokich granicach od kilku do kilkuset metrów, a ich przebieg jest prosty, równoległy lub nieregularny



Fot. 2. Skutki ekstremalnego splukiwania i erozji liniowej na terenie Rolniczego Zakładu Doświadczalnego UJ w Łazach po opadzie w dniu 17 czerwca 2006 r. (fot. J. Świąchowicz)

Photo 2. Results of extreme sheet and rill erosion at the Jagiellonian University's Farm-land in Łazy after rainfall which took place on 17 June, 2006 (phot. by J. Świąchowicz)

z tendencją do anastomozowania. Żłobiny występują najczęściej wzdłuż naturalnych linii spływu wody (np. osi niecek ablacyjnych) i wzdłuż form antropogenicznych związanych z użytkowaniem ziemi (pomiędzy redlinami, wzdłuż granic pól, kolein po przejeździe maszyn rolniczych, dróg dojazdowych do pól itp.). Wraz z długością stoku zwykle zwiększa się ilość żłobin. W większych żłobinach powstają progi i kociołki eworsyjne o średnicy od kilkunastu do kilkudziesięciu centymetrów. W wyniku procesu *cross-grading*, polegającym na stopniowym rozmywaniu obszarów międzybruzdowych przez splukiwanie i erozję boczną w bruzdach erozyjnych, dochodzi do łączenia się sąsiednich bruzd i odsłonięcia zwartej i zbitej „podeszwy płuznej” (fot. 3).

Bruzdy erozyjne powstające w górnej części stoku zwykle łączą się ze sobą tworząc tzw. bruzdę główną (*main rills*) w osi niecek zboczowych często dając początek efemerycznemu korytu o długości nawet do kilkuset metrów.

U wylotu żłobin i efemerycznych koryt tworzą się stożki deluwialne, które w niektórych przypadkach łączą się tworząc u podnóży stoków równiny deluwialne. Miąższość osadów u podnóży stoków po ekstremalnych deszczach dochodzi do 20-30 cm. Powierzchnia pojedynczych stożków zwykle wynosi od kilkudziesięciu do kilkuset m², a równin deluwialnych u podnóży stoków może osiągnąć nawet 3 ha (Długosz, Gębica 2008). Podczas pojedynczych przypadków splukiwania następuje akumulacja tylko w niektórych miejscach u podnóża stoku, co związane jest głównie z użytkowaniem ziemi. Przy zmianie użytkowa-



Fot. 3. Skutki ekstremalnego spłukiwania i erozji liniowej na terenie Rolniczego Zakładu Doświadczalnego UJ w Łazach po opadzie w dniu 13 czerwca 1998 r. (fot. J. Świąchowicz)
Photo 3. Results of extreme sheet and rill erosion at the Jagiellonian University's Farm-land in Łazy after rainfall which took place on 13 June, 1998 (phot. by J. Świąchowicz)

nia kolejny ekstremalny opad w tym samym obszarze może doprowadzić do powstania form erozyjnych i akumulacyjnych w zupełnie innym miejscu.

Podczas deszczów nawalnych, kiedy ma miejsce ekstremalne spłukiwanie i erozja liniowa razem z częściami ziemistymi gleby transportowana jest również frakcja kamienista, której rozmiary mogą dochodzić nawet do 8 cm (Gil 2009).

Zwykle płytkie formy erozyjne są likwidowane poprzez zabiegi agrotechniczne w krótkim czasie od wystąpienia zdarzenia. Głębokie bruzdy erozyjne, które powstają w pełni sezonu wegetacyjnego są trudne do usunięcia, następuje ich pogłębienie i poszerzanie podczas kolejnych opadów o wysokiej energii (fot. 4). Czasami głębokie rozcięcia są zasypywane materiałem organicznym (np. wyplewionymi chwastami, uschniętymi liśćmi uprawianych roślin itp.), co ogranicza dalsze ich pogłębienie, a ich usuwanie ma miejsce dopiero pod koniec sezonu wegetacyjnego. Likwidacja szkód czasami wymaga użycia ciężkiego sprzętu i zasypiania powstałych rozcięć ziemią. Gdyby te formy pozostawiono bez ingerencji człowieka byłyby pogłębiane podczas kolejnych deszczów o wysokiej energii, co w konsekwencji doprowadziłoby do wyłączenia tych terenów spod uprawy.

W obrębie stoków z poprzecznym do spadku układem działek i uprawą pól spływ wody i spłukiwanie gleby odbywa się w obrębie poszczególnych działek, które stanowią przeważnie odizolowane od siebie i niezależnie funkcjonujące systemy (Gerlach 1966, Słupik 1973, Gil 1976, 1979). W ich obrębie ma miejsce

transport i akumulacja materiału na krótkich odcinkach. Dopiero podczas ekstremalnych opadów następuje odprowadzanie materiału z całego stoku systemem bruzd i dróg polnych, biegnących wzdłuż działek w dół stoków. Szacuje się, że rozmiary denudacji na stokach rolnych sterasowanych są ok. 40% mniejsze od spłukiwania na stokach pozbawionych teras (Gerlach 1966).



Fot. 4. Skutki ekstremalnego spłukiwania i erozji liniijnej na terenie Rolniczego Zakładu Doświadczalnego UJ w Łazach po opadach w roku hydrologicznym 2005 r. (fot. J. Świąchowicz)
Photo 4. Results of extreme sheet and rill erosion at the Jagiellonian University's Farmland in Łazy after rainfall which took place in 2005 hydrological year (phot. by J. Świąchowicz)

Orka zgodna z nachyleniem stoku zwiększa natężenie procesów. Jeśli stoki są użytkowane "jednolicie na całej długości, to natężenie spłukiwania" w) tunc wraz z długością stoku, a akumulacja deluwiów występuje u ich podnóży. Jednak nie zawsze poprzeczna uprawa roślin okopowych ogranicza spłukiwanie i erozję liniijną. W pewnych sytuacjach wręcz ją potęguje. Podczas opadów o dużej wydajności i natężeniu, kiedy dochodzi do pełnego nasycenia gleby wodą, jej nadmiar gromadzi się w bruzdach. Równoległy do poziomic układ rzędów ziemniaczanych utrudnia odpływ wody i dochodzi do rozmycia redlin, a wtedy proces osiąga natężenie ekstremalne. Takie przykłady z okolic Szymbarku zostały opisane w literaturze (Figuła 1960, Gil 2009).

W układzie pól równoległym do spadku, granicami pól są podłużne bruzdy lub miedze. Gęsta sieć bruzd oraz dróg dojazdowych do pól umożliwia szybki spływ wody i transport spłukiwanego materiału na całej długości stoków (Słupik 1973, Gil 1979, Świąchowicz 2002). Depozycja u podnóży stoków lub w dnie

doliny powoduje wydłużanie się wklęsłej części stoków i w rezultacie zacieranie wyraźnych granic morfologicznych pomiędzy stokami a dnem doliny.

PODSUMOWANIE

Ekstremalne spłukiwanie i erozja linijna odgrywają główną rolę w przekształcaniu stoków karpackich użytkowanych rolniczo. Ich uaktywnienie następuje podczas zdarzeń meteorologicznych o wysokiej energii. Należą do nich przede wszystkim lokalne ulewy, opady rozlewne oraz gwałtowne roztopy. Ekstremalne opady deszczu są zdarzeniami losowymi. Nie można przewidzieć, kiedy i gdzie wystąpią, zwłaszcza te o dużej wydajności i natężeniu, dlatego również trudno przewidzieć kiedy i gdzie może wystąpić ekstremalne spłukiwanie i erozja linijna.

W Karpatach fliszowych rola ekstremalnego spłukiwania na stokach użytkowanych rolniczo jest inna w obszarach o typie rzeźby górskiej (beskidzkiej) i pogórskiej, gdyż charakteryzują się one odmiennymi cechami obiegu wody i transportu zwietrzeliny. Na stokach beskidzkich wystąpienie spłukiwania ogranicza większa zawartość frakcji szkieletowej w glebach i przewaga spływu śródpokrywowego. Na Pogórzu Karpackim, zwłaszcza w obszarach, gdzie występują gleby rozwinięte na pyłowych utworach lessopodobnych, podatność gleb na erozję jest większa.

Spłukiwanie i erozja linijna ma miejsce od kilku do kilkunastu razy w ciągu roku. Największą dynamiką przebiegu i zróżnicowaniem występowania procesy te charakteryzują się w półroczu letnim, co uwarunkowane jest stopniem pokrycia i utrwalenia stoków przez roślinność oraz stanem powierzchni gruntu w okresie bezpośrednio poprzedzającym ich wystąpienie.

Jedynie podczas przypadków ekstremalnego spłukiwania i erozji liniijnej dochodzi do istotnych przeobrażeń powierzchni stoków polegających na powstawaniu nowych form (żłobiny, koryta epizodyczne, stożki deluwialne, podstokowe równiny deluwialne), ale nawet wtedy większość materiału transportowanego na stokach deponowana jest u ich podnóży, co prowadzi do obniżenia powierzchni stoków, zmiany ich kształtu oraz podniesienia dna doliny. Bezpośrednia dostawa gleby ze stoków do koryt potoków zwykle ma miejsce lokalnie raz lub kilka razy w roku.

Skutki ekstremalnego spłukiwania i erozji liniijnej są zwykle trudne do oszacowania, gdyż wymagają szczegółowych pomiarów w terenie, polegających na lokalizacji i pomiarze nowo powstałych form oraz obliczeniu ich objętości i masy przemieszczanej gleby.

Ekstremalne procesy spłukiwania i erozji liniijnej na stokach użytkowanych rolniczo zwykle powodują duże straty i szkody materialne.

PODZIĘKOWANIA

Dziękuję Recenzentom artykułu za cenne uwagi. Praca naukowa finansowana przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego ze środków na naukę w latach 2008-2010 jako projekt badawczy nr NN 306 048334. Dziękuję także Pani Alicji Waligóra-Zblewskiej za tłumaczenie abstraktu.

Literatura

- Cebulak E., 1992a, Maksymalne opady dobowe w dorzeczu górnej Wisły, *Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr.* 90, 79–96.
- Cebulak E., 1992b, Wpływ sytuacji synoptycznej na maksymalne opady dobowe w dorzeczu górnej Wisły, *Folia Geograph. Ser. Geogr.-Phys.* 23, 82–95.
- Cebulak E., 1998-1999, Charakterystyka wysokich opadów wywołujących wezbrania rzek karpackich, *Folia Geograph., Ser. Geogr.-Phys.* 29-30, 43–65.
- Cebulak E., Niedźwiedz T., 1998, Ekstremalne zjawiska opadowe w dorzeczu górnej Wisły w latach 1955-1996, *Dokum. Geogr.* 11, 12–29.
- Chomicz K., 1951, Ulewy i deszcze nawalne w Polsce, *Wiad. Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej*, 3, 5–88.
- Demczuk P., 2009, *Wpływ erozyjności deszczu na wielkość erozji gleb w zlewni Bystrzanki w latach 1969-1993*, [w:] W. Bochenek, M. Kijowska (red.) *Funkcjonowanie środowiska przyrodniczego w okresie przemian gospodarczych w Polsce*, Bibl. Monitoringu Środowiska, Szymbark, 231–238.
- Długosz M., Gębica P., 2008, Geomorfologiczne skutki oraz rola lokalnych ulew i powodzi w kształtowaniu rzeźby progów Pogórza Karpackiego (na przykładzie ulewy z czerwca 2006 r. w rejonie Sędziszowa Młp.), [w:] W. Florek (red.) *Rola procesów ekstremalnych w kształtowaniu rzeźby*, *Landform Analysis* 8, 13–20.
- Dobrzański B., Malicki A., Ziemiński S., 1953, *Erozja gleb w Polsce*, PWRiL, Warszawa, 194 s.
- Drużkowski M., 1998, *Współczesna dynamika, funkcjonowanie i przemiany krajobrazu Pogórza Karpackiego*, Instytut Botaniki UJ, Kraków, 1–285.
- Figuła K., 1960, Erozja w terenach górskich, *Wiad. IMUZ* 1, 4, 109–147.
- Florek W. (red.), 2008, *Rola procesów ekstremalnych w kształtowaniu rzeźby*, *Landform Analysis* 8, 106 s.
- Froehlich W., 1982, Mechanizm transportu fluwialnego i dostawy zwietrzelin do koryta w górskiej zlewni fliszowej, *Prace Geogr. I GiPZ PAN* 143, 144 s.
- Froehlich W., Słupik J., 1977, Metody badań transformacji opadu w odpływ oraz erozji na stoku w zlewni Homerki (Beskid Sądecki), [w:] *Seminarium: Zasoby wodne w małych zlewniach. Ocena i zagospodarowanie*. Falenty. Komisja Gospodarki Wodnej i IMUZ, 55–70.
- Froehlich W., Słupik J., 1980, Drogi polne jako źródła dostawy wody i zwietrzelin do koryta cieków, *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 235, 257–268.
- Froehlich W., Słupik J., 1986, Rola dróg w kształtowaniu spływu i erozji w karpackich zlewniach fliszowych, *Przegl. Geogr.* 58, 1-2, 129–160.
- Gerlach T., 1958, Wstępne badania nad intensywnością współczesnych procesów denudacyjnych w Jaworkach k/Szczawnicy, *Rocz. Nauk Roln. Ser. F*–72–3.

- Gerlach T., 1966, *Współczesny rozwój stoków w dorzeczu górnego Grajcarka (Beskid Wysoki)*, Prace Geogr. IG PAN 52, 124 s.
- Gerlach T., 1976, *Współczesny rozwój stoków w polskich Karpatach Fliszowych*, Prace Geogr. IG PAN 122, 116 s.
- Gil E., 1976, *Splukiwanie gleby na stokach fliszowych w rejonie Szymbarku*, Dokum. Geogr. 2, 65 s.
- Gil E., 1986, Rola użytkowania ziemi w przebiegu spływu powierzchniowego i splukiwania na stokach fliszowych, *Przeg. Geogr.* 58, 51–65.
- Gil E., 1994, Monitoring obiegu wody i splukiwania na stokach, [w:] *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Stacja Bazowa Szymbark (Karpaty Fliszowe)*, PIOŚ, Warszawa, 66–87.
- Gil E., 1998, 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, 85–107.
- Gil E., 1999, *Obieg wody i splukiwanie na fliszowych stokach użytkowanych rolniczo w latach 1980-1990*, Zeszyty IGiPZ PAN 60, 78 s.
- Gil E., 2009, *Ekstremalne wartości splukiwania gleby na stokach użytkowanych rolniczo w Karpatach Fliszowych*, [w:] W. Bochenek, M. Kijowska (red.) *Funkcjonowanie środowiska przyrodniczego w okresie przemian gospodarczych w Polsce*, Bibl. Monitor. Środ., Szymbark, 191–218.
- Gil E., Słupik J., 1972, The influence of plant cover and land use on the surface run-off and wash-down during heavy rain, *St. Geomorph. Carpatho-Balcanica* 6, 181–190.
- Gil E., Starkel L., 1979, Long-term extreme rainfalls and their role in the modeling of the flysch slopes, *St. Geomorph. Carpatho-Balcanica* 13, 207–220.
- Goudie A. S. (red.), 2004, *Encyclopedia of Geomorphology*, Routledge Ltd., London, tom 1 i 2.
- Guzik Cz. 1995, Rolnicze użytkowanie ziemi, [w:] J. Warszyńska (red.) *Karpaty Polskie. Przyroda, człowiek i jego działalność*, Wyd. UJ, Kraków, 239–252.
- Jokiel P. (red.), 2008, *Zjawiska ekstremalne i zdarzenia nadzwyczajne w środkowej Polsce*, Acta Univ. Lodz., Folia Geogr. Phys. 8, 183 s.
- Józefaciuk A., Józefaciuk Cz., 1995, *Erozja agroekosystemów*, Bibl. Monitor. Środ., Warszawa, 168 s.
- Kiciński T., Byczkowski A., Skrzynecka J., Wicher M., 1974, *Materiały do ćwiczeń z hydrologii*, Skrypty Akademii Rolniczej w Warszawie, Warszawa, 267 s.
- Klimaszewski M., 1978, *Geomorfologia*, PWN, Warszawa, 1098 s.
- Kostrzewski A., Klimczak K., Stach A., Zwoliński Z., 1992, Wpływ procesów katastroficznych na funkcjonowanie współczesnego systemu denudacyjnego obszarów młodoglacjalnych – Pomorze Zachodnie, *Bad. Fizjogr. nad Polską Zach.*, Ser. A, 43, 55–82.
- Migoń P., 2006, *Geomorfologia*, PWN, Warszawa, 461 s.
- Mrukała S., 1997, Próba określenia naturalnej normy i anomalii opadów atmosferycznych, *Przeg. Geof.* 42, 2, 169–174.
- Mycielska-Dowigiałło E., Korotaj-Kokoszyńska M., Smolska E., 1999, *Geomorfologia dynamiczna z elementami stosowanej. Wybrane zagadnienia*, WGiSR UW, Warszawa, 157 s.
- Olecki Z., 1970, Przebieg i skutki silnej ulewy w dniu 29 maja 1968 roku w Gaiku Brzeżowej, *St. Geomorph. Carpatho-Balcanica* 4, 101–105.
- Ozga-Zielińska M., Brzeziński J., 1994, *Hydrologia stosowana*, PWN, Warszawa, 324 s.
- Pociask-Karteczka J. (red.), 2003, *Zlewnia. Właściwości i procesy*, IGiPZ UJ, Kraków, 288 s.

- Rejman, J., 2006, *Wpływ erozji wodnej i uprawowej na przekształcenie gleb i stoków lessowych*, Acta Agrophysica, Rozprawy i Monografie, Lublin, 90 s.
- Reniger A., 1959, Erozja gleb w okresie ulew i spływu wód wiosennych w zależności od przebiegu pogody, *Rocz. Nauk Roln.* 73–F–4, 599–642.
- Rodzik J., Janicki G., Zagórski P., Zglobicki W., 1998, Deszcze nawalne na Wyżynie Lubelskiej i ich wpływ na rzeźbę obszarów lessowych, [w:] L. Starkel (red.), *Geomorfologiczny i sedymentologiczny zapis lokalnych ulew*, Dokum. Geogr. 11, 45–68.
- Słupik, J., 1970, Methods of investigating the water cycle within a slope, *St. Geomorph. Carpatho-Balcanica* 4, 127–136.
- Słupik J., 1973, *Zróżnicowanie spływu powierzchniowego na fliszowych stokach górskich*, Dokum. Geogr. 2, 118 s.
- Słupik J., 1978, Obieg wody w glebie na stokach a rolnicze użytkowanie ziemi, [w:] Studia nad typologią i oceną środowiska geograficznego Karpat i Kotliny Sandomierskiej, *Prace Geogr. IGiPZ PAN* 125, 93–107.
- Słupik J., 1981, *Rola stoku w kształtowaniu odpływu wody*, Prace Geograficzne 142, 98 s.
- Słupik J., 1986, Ocena metod badań roli użytkowania ziemi w przebiegu spływu wody i erozji gleb w Karpatach, *Przeł. Geogr.* 58, 1–2, 41–50.
- Smolska E., 2008, Rola opadów ekstremalnych w denudacji stoków młodoglacjalnych na przykładzie Pojezierza Suwalskiego, [w:] W. Florek (red.) *Rola procesów ekstremalnych w kształtowaniu rzeźby*, Landform Analysis 8, 69–72.
- Sobol E. (red.), 2002, *Nowy słownik języka polskiego*, Wydawnictwa Naukowe PWN, Warszawa, 1311 s.
- Soja R., 2002, *Hydrologiczne aspekty antropopresji w polskich Karpatach*, Prace Geogr. IGiPZ PAN 186, 130 s.
- Soja R., Prokop P., 1996, Drogi jako element antropogenicznego przekształcenia środowiska, [w:] *Zintegrowany monitoring środowiska przyrodniczego. Monitoring ekosystemów górskich*, Bibl. Monitor. Środ., Szymbark, 91–98.
- Starkel L., 1972, Charakterystyka rzeźby polskich Karpat i jej znaczenie dla gospodarki ludzkiej, *Prob. Zagospodarowania Ziemi Górskich* 10, 75–150.
- Starkel L., 1986, Rola zjawisk ekstremalnych i procesów sekularnych w ewolucji rzeźby (na przykładzie fliszowych Karpat), *Czas. Geogr.* 57, 2, 203–213.
- Starkel L., 1991, Rzeźba terenu, [w:] I. Dynowska, M. Maciejewski (red.), *Dorzecze Górnej Wisły*, część I, PWN, Warszawa-Kraków, 42–54.
- Starkel L., 1996, Geomorphic role of extreme rainfalls in the Polish Carpathians, *St. Geomorph. Carpatho-Balcanica* 30, 21–38.
- Starkel L., 2002, Wartości progowe w przekształcaniu systemów naturalnych środowiska przyrodniczego Karpat, Wyżyny Małopolskiej i Kotlin Podkarpackich, [w:] Z. Górka, A. Jelonek (red.), *Geograficzne uwarunkowania rozwoju Małopolski*, IGiGP UJ, Kraków, 221–227.
- Starkel L., 2003, Rola ekstremalnych opadów i ich częstotliwości w przekształcaniu stoków i den dolin, [w:] W. Bochenek, E. Gil (red.), *Funkcjonowanie i monitoring geoekosystemów ze szczególnym uwzględnieniem zjawisk ekstremalnych*, Bibl. Monitor. Środ., 13–19.
- Świąchłowicz J., 1995, Opadowe uwarunkowania wystąpienia spływu powierzchniowego w zlewni Starej Rzeki na Pogórzu Karpackim, [w:] L. Kaszowski (red.) *Dynamika i antropogeniczne przeobrażenia środowiska przyrodniczego progów Karpat między Rabą a Uszwicą*, Instytut Geografii UJ, Kraków, 185–193.
- Świąchłowicz J., 2000, Opadowe uwarunkowania wystąpienia splukiwania na stoku eksperymentalnym w rejonie Łazów (Pogórze Wielickie), *Prace Geogr. IGiGP UJ*, 105, 325–342.

- Świąchowicz J., 2002, *Współdziałanie procesów stokowych i fluwialnych w odprowadzaniu materiału rozpuszczonego i zawieszony ze zlewni pogórskiej*, Instytut Geografii UJ, Kraków, 150 s.
- Świąchowicz J., 2004, Rola procesów ekstremalnych w transformacji stoków pogórskich (na przykładzie Dworskiego Potoku), [w:] B. Izmailow (red.), *Przyroda – Człowiek – Bóg*, IGiGP UJ, Kraków, 83–91.
- Świąchowicz J., 2008a, Wpływ splukiwania, sufozji i procesów eolicznych na współczesną ewolucję stoków Karpat fliszowych, [w:] L. Starkel, A. Kotarba, A. Kostrzewski, K. Krzemień (red.) *Współczesne przemiany rzeźby Polski*, IGiGP UJ, Kraków, 80–94.
- Świąchowicz J., 2008b, Soil erosion on cultivated foothill slopes during extreme rainfall events in Wiśnicz Foothills of southern Poland, *Folia Geograph., Ser. Geogr.-Phys.* 39, 79–93.
- Świąchowicz J., 2009, Geomorfologiczne i ekonomiczne skutki deszczu nawalnego z dnia 17 czerwca 2006 r. na terenie Rolniczego Zakładu Doświadczalnego UJ w Łazach (Pogórze Wiśnickie), [w:] W. Bochenek, M. Kijowska (red.) *Funkcjonowanie środowiska przyrodniczego w okresie przemian gospodarczych w Polsce*, Bibl. Monitor. Środ., Szymbark, 219–230.
- Twardosz R., 1997, Ekstremalne sumy dobowe opadów w Krakowie, [w:] *Ekstremalne zjawiska meteorologiczne, hydrologiczne i oceanograficzne*, Materiały Sympozjum 50-lecia PTG, 12-14 listopada 1997, Warszawa, 161–163.
- Twardosz R., 2000, Opady normalne i anomalne w Krakowie w latach 1850-1998, *Przegl. Geofizyczny* 45, 2, 171–182.
- Teisseyre A.K., 1992, *Epizodyczne koryta a rozwój suchych dolin w krajobrazie rolniczym*, Acta Univ. Wr., Prace Geol.-Miner. 31, 69 s.
- Teisseyre A.K., 1994, *Spływ stokowy i współczesne osady deluwialne w lessowym rejonie Henrykowa na Dolnym Śląsku*, Acta Univ. Wr., Prace Geol.-Miner. 43, 218 s.
- Wit-Jóźwik K., 1977, Analiza deszczów w Szymbarku w latach 1969-1973 (w okresie od maja do września), *Dokum. Geogr.* 6, 23–67.
- Woźniak-Strojna Z., 1963, Przebieg i rozmiary współczesnego modelowania zlewni potoku Bilczyckiego przez procesy denudacyjne, *Dokum. Geogr.* 5, 1–37.
- Zasady obliczania największych przepływów rocznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia. Długie ciągi pomiarowe przepływów*, 2005, Instrukcje i podręczniki, IMGW, Warszawa, 40 s.
- Zwoliński Z., 2008, Wybrane zjawiska ekstremalne pojezierzy polskich, [w:] W. Florek (red.) *Rola procesów ekstremalnych w kształtowaniu rzeźby*, Landform Analysis 8, 98-106.