

WARTOŚCI PROGOWE OPADU INICJUJĄCEGO PROCES SPŁUKIWANIA NA STOKACH POGÓRSKICH

Wstęp

Wylesienie i długotrwała gospodarka rolna w regionie Pogórza Karpackiego zasadniczo zmieniły warunki odprowadzania zwietrzliny ze stoków. W związku z powszechnym występowaniem pyłowych utworów lessopodobnych oraz użytkowaniem rolniczym obszaru, istotną rolę w przekształcaniu stoków odgrywa spłukiwanie. W wyniku spłukiwania następuje przemieszczanie materiału mineralnego na stokach i jego depozycja w ich obrębie lub u ich podnóży, albo w dnie doliny w postaci różnej wielkości stożków deluwialnych. Akumulacja osadów w dnach dolin prowadzi do ich nadbudowywania i powstawania podstokowych równin deluwialnych. Podstokowe równiny deluwialne oraz płaskie dna dolin stanowią barierę utrudniającą, a nawet uniemożliwiającą swobodny przepływ materii ze stoków do koryt potoków. Powiązanie stoków i koryt, polegające na dostawie materiału, nie jest stałym stanem w systemie zlewni. W jej obrębie kształtują się progowe warunki uruchamiania zwietrzliny na stokach, jej dostawy do koryt i odprowadzania poza zlewnię (Święchowicz 2001, 2002a, b). Decydują o nich przede wszystkim zmienne warunki meteorologiczne oraz użytkowanie rolnicze, związane z płodozmianem i z sezonem wegetacyjnym, a więc różnym stopniem pokrycia podłoża przez roślinność (Święchowicz 2002a). Proces spłukiwania jest procesem epizodycznym zdarzającym się stosunkowo rzadko, trwającym przez określoną liczbę godzin lub dni, a czasem występującym tylko w niektórych miesiącach lub latach. Wystąpienie procesów morfogenetycznych określonego typu możliwe jest po przekroczeniu hydrometeorologicznych wartości progowych (Selby 1974; Kotarba 1994, 1998; Starkel 1996). Poznanie tych wartości ułatwia określenie częstotliwości zdarzeń oraz prawdopodobieństwo ich wystąpienia. L. Starkel (1986, 1996, 2002) wyróżnia trzy podstawowe typy opadów, w czasie których w Polskich Karpatach dochodzi do przekroczenia wartości progowych:

- krótkotrwałe lokalne ulewy (o natężeniach 1-3 mm/min.), które uruchamiają intensywne spłukiwanie, spływy glebowe, a w Tatrach spływy gruzowe,
- opady rozlewne (150-400 mm w ciągu 2-5 dni), które prowadzą do tworzenia osuwisk ziemnych, przekształceń koryt rzecznych i akumulacji mąd na równinach zalewowych,
- pory deszczowe o opadach miesięcznych 100-500 mm, które powodują nasycenie podłoża i powstawanie głębokich osuwisk.

Po przekroczeniu wartości progowych, powodujących uruchomienie procesów ekstremalnych, dochodzi do istotnej transformacji zarówno stoków, jak i koryt (Gil, Starkel 1979; Starkel 1986, 2003; Gil 1998, 1999; Kotarba 1990; Froehlich, Starkel 1995; Rodzik i in. 1998). Krótkotrwałe procesy katastrofalne decydują o bezpośredniej transformacji rzeźby, natomiast procesy sekularne zacierają kształty form (Kotarba 1998). Dotychczasowe badania wskazują, że nie ma jednej uniwersalnej wartości progowej decydującej o uruchomieniu procesu, bo w każdym obszarze występują indywidualne uwarunkowania, zarówno klimatyczne, jak i związane z podłożem. Efektywność konkretnego opadu uzależniona jest od rzeźby terenu, stopnia pokrycia i utrwalenia stoków przez roślinność, od typu gleby i jej wilgotności w okresie bezpośrednio poprzedzającym wystąpienie procesu (Kotarba 1998; Świąchowicz 2000a, b).

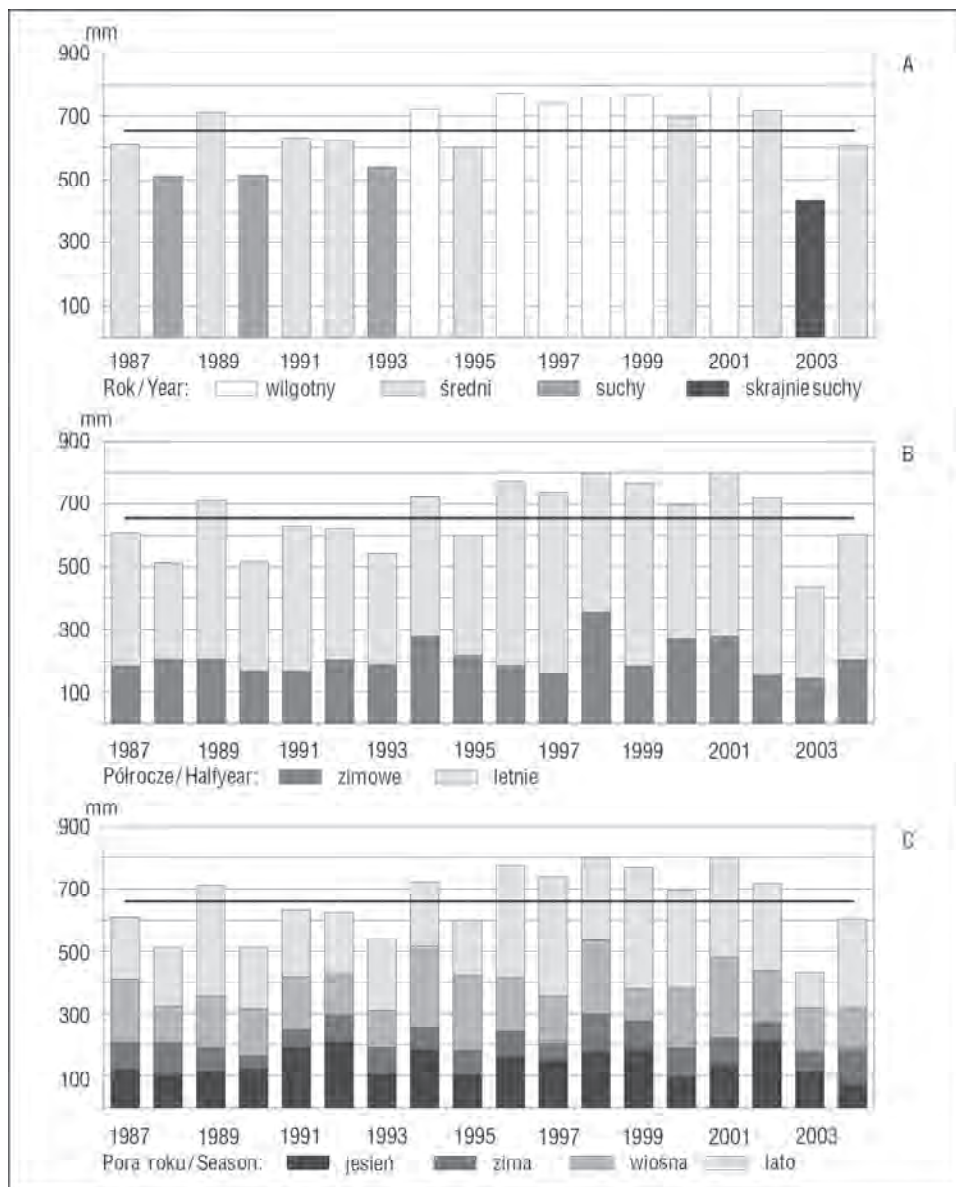
Celem artykułu jest poznanie zmienności i zróżnicowania wystąpienia spłukiwania oraz jego roli w przekształcaniu stoków i den dolin na Pogórzu Wiśnickim w zależności od cech opadu i stanu podłoża.

Obszar i metoda badań

Pogórze Wiśnickie zaliczane jest do typu pogórzy niskich i średnich (ryc.1). Główne doliny oddzielone są od siebie szerokimi garbami o zaokrąglonych i wyrównanych wierzchowinach. Większość wypukło-wklęsłych stoków przecho-



Ryc. 1. Położenie obszaru badań
Fig. 1. Location of the study area



Ryc. 2. Charakterystyka opadów w latach hydrologicznych 1987-2004 (Stacja Naukowa IGiGP UJ w Łazach k/ Bochni): A – roczne sumy opadów, B – sumy opadów w półroczu zimowym i letnim, C – sumy opadów w porach roku

Fig. 2. The characteristics of precipitation in hydrological years 1987-2004 (Łazy Research Station): A – annual totals of precipitation, B – halfyear totals of precipitation, C – seasonal totals of precipitation

dzi w dna dolin bez wyraźnego załomu. U podnóży stoków występują równiny podstokowe, które są rezultatem akumulacji materiału spłukiwanego ze stoków (Świąchowicz 2002b).

Praca została wykonana w oparciu o stacjonarne badania spłukiwania w profilu podłużnym stoku (Świąchowicz 1998, 2000a), na poletkach eksperymentalnych (Świąchowicz 1995) w zlewni Starej Rzeki w latach 1989-1991 oraz wyniki kartowania skutków ekstremalnych opadów, które miały miejsce w zlewni w latach 1998-2002.

Wyniki

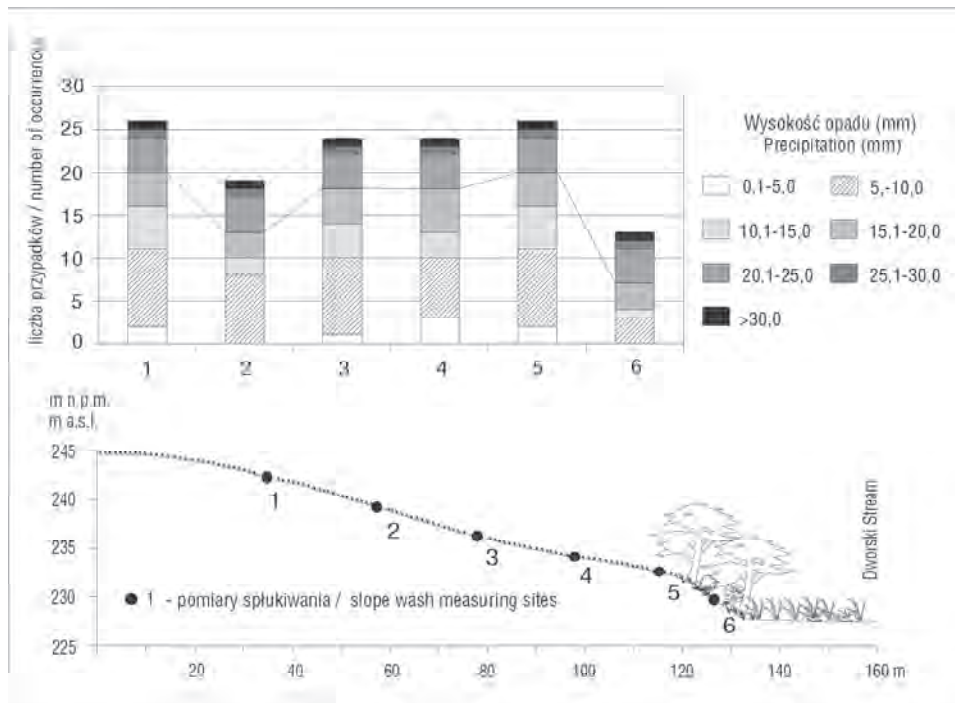
Podstawowym ogniwem obiegu wody i materii mineralnej w zlewni są opady, które warunkują wystąpienie oraz decydują o morfologicznej efektywności wielu procesów morfogenetycznych. O sile działania wody płynącej decyduje nie tylko wydajność opadów, ale także ich jakość (deszcz, śnieg), rozkład w ciągu roku oraz częstość występowania.

Obszar progu Pogórza Karpackiego położony jest w obrębie umiarkowanie ciepłego piętra klimatycznego (Hess 1965). Średnia roczna suma opadów dla osiemnastolecia 1987-2004, obliczona na podstawie pomiarów wykonanych na posterunku meteorologicznym Stacji Naukowej IGiP UJ w Łazach, wynosiła 655,2 mm. Najwięcej opadów zarejestrowano w roku hydrologicznym 1998 (798,8 mm) i 2001 (799,8 mm), a najmniej w roku 2003 (433,4 mm) (ryc. 2). Najwięcej opadów wystąpiło w półroczu letnim (V-X) i stanowiły one średnio od 59,5% (1988) do 78,6% (1997) rocznej sumy opadów oraz w okresie lata i wiosny. W latach wilgotnych opady letnie stanowiły od 28,4% (1994) do 52% (1997) rocznej sumy opadów (ryc. 2).

Średnio w latach hydrologicznych 1987-1991 wystąpiło 166,6 dni z opadem, przy czym zdecydowanie dominowały dni z opadem bardzo słabym (0,1-1mm) oraz słabym (1,1-5,0 mm) i stanowiły one 76,4% wszystkich dni z opadem. Dni z opadem silnym i bardzo silnym (powyżej 20,0 mm) stanowiły zaledwie 3,2% wszystkich dni z opadem i miały miejsce przede wszystkim w półroczu letnim. Maksymalne opady dobowe w roku wynosiły od 20,9 mm w 1993 do 66,0 mm w 2000 r.

Stok pastwiskowy

Warunkiem koniecznym do wystąpienia spłukiwania jest opad, jednak nie każdy opad powoduje spływ powierzchniowy i w konsekwencji spłukiwanie (Świąchowicz 2000a; ryc. 3). W okresie badań, w którym wystąpiły 189 dni z opadem, spływ powierzchniowy zdarzył się 28 razy i podczas każdego zdarzenia nastąpiło spłukiwanie. Dni ze spływem stanowiły 14,8% dni z opadem. Na stoku pastwiskowym liczba przypadków spłukiwania była zróżnicowana w zależności od wydajności opadów. Zróżnicowanie liczby przypadków w obrębie stoku było wyraźne przy zdarzeniach wywołanych przez opady o wydajności 10-15 mm oraz 15-20 mm. Granica 20 mm opadu jest istotna, ponieważ powyżej niej liczba zdarzeń spłukiwania była taka sama na wszystkich stanowiskach



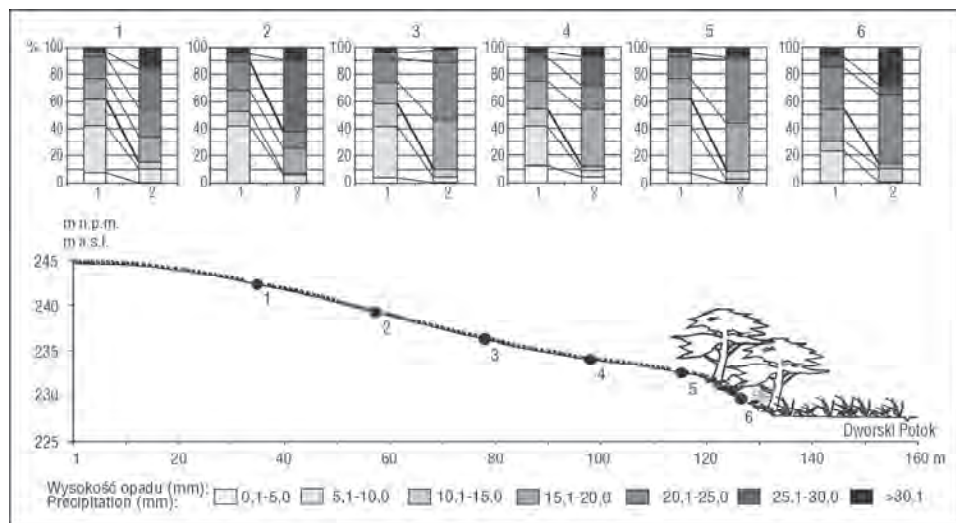
Ryc. 3. Liczba zdarzeń spłukiwania na stoku eksperymentalnym w okresie od sierpnia 1989 do października 1990 r., w zależności od wysokości opadu

Fig. 3. Number of slope wash events at particular sites on the experimental slope from August 1989 to October 1990 produced by rainfalls of different amount

(Świąchowicz 2000a). Ilość przemieszczanego materiału, podobnie jak liczba zdarzeń spłukiwania, była zróżnicowana w profilu podłużnym stoku. Podczas jednego zdarzenia sporadycznie następuje przemieszczanie materiału z górnego odcinka stoku aż do jego podnóża. Najwięcej materiału spłukiwane było ze stoków podczas spływów wywołanych przez opady o wydajności powyżej 15 mm, przy czym ilość materiału była zróżnicowana w zależności od położenia morfologicznego stanowisk pomiarowych. Podczas opadów o wydajności 20-25 mm najwięcej materiału mineralnego w obrębie stoku pastwiskowego przemieszczane było na stanowisku 3 i 5, a zdecydowanie najwięcej na skłonie zadrzewionej krawędzi. Opady o wydajności 25-30 mm spowodowały największe przemieszczenie materiału na stanowisku 2 w odcinku działania aktywnej erozji - prawie 53% (Świąchowicz 2000a; ryc. 4).

Poletka eksperymentalne

W okresie od maja do września najwięcej zdarzeń spływu zanotowano w lipcu, wrześniu i sierpniu, najmniej w czerwcu i maju. Liczba zdarzeń spły-

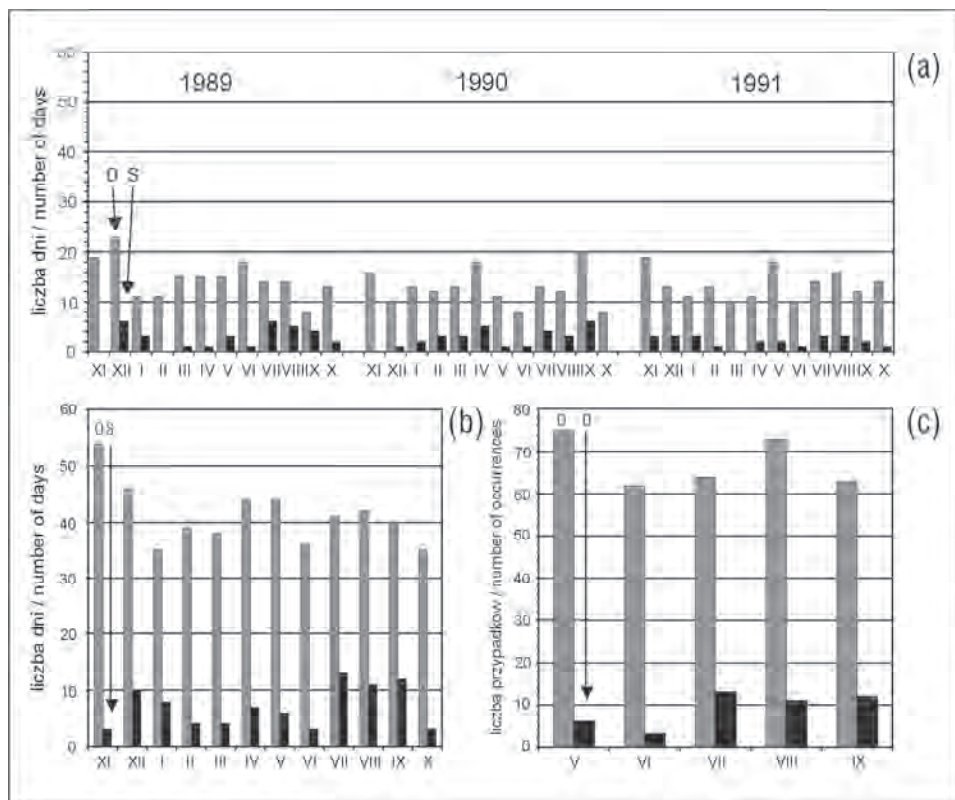


Ryc. 4. Liczba przypadków (w %) spłukiwania (1) oraz ilość transportowanego materiału (2) (w %) na stoku eksperymentalnym podczas opadów o określonej wysokości Fig. 4. The number (in %) of slope wash events (1) and the total amount (in %) of slope wash material (2) at particular sites on the pastureland slopes during rainfalls of different amount

wu powierzchniowego, w porównaniu z liczbą deszczów w poszczególnych miesiącach, była mała i stanowiła od 8,1% – w maju do 20,3% – w lipcu (ryc. 5). Rezultaty uzyskane na poletkach eksperymentalnych (bez darni i zadarnionym) pozwalają porównać efektywność morfologiczną opadów również w zależności od użytkowania ziemi. Opady inicjujące spływ powierzchniowy i spłukiwanie zdarzają się stosunkowo rzadko, a tylko niektóre z nich odznaczają się dużą morfologiczną efektywnością. Przykładowo, w okresie od maja do sierpnia (1989-1991) opady o wydajności poniżej 5 mm, stanowiące prawie 80% wszystkich przypadków deszczów, spowodowały 5% przypadków spłukiwania, podczas których na stoku przemieszczeniu uległa niewielka ilość materiału. Deszcze o wydajności powyżej 20 mm, które stanowiły mniej niż 5% wszystkich przypadków, wywołały ponad 30% zdarzeń spłukiwania i przemieściły ponad 80% materiału (Świąchowicz 2002a; ryc. 6).

Zlewnia Dworskiego Potoku

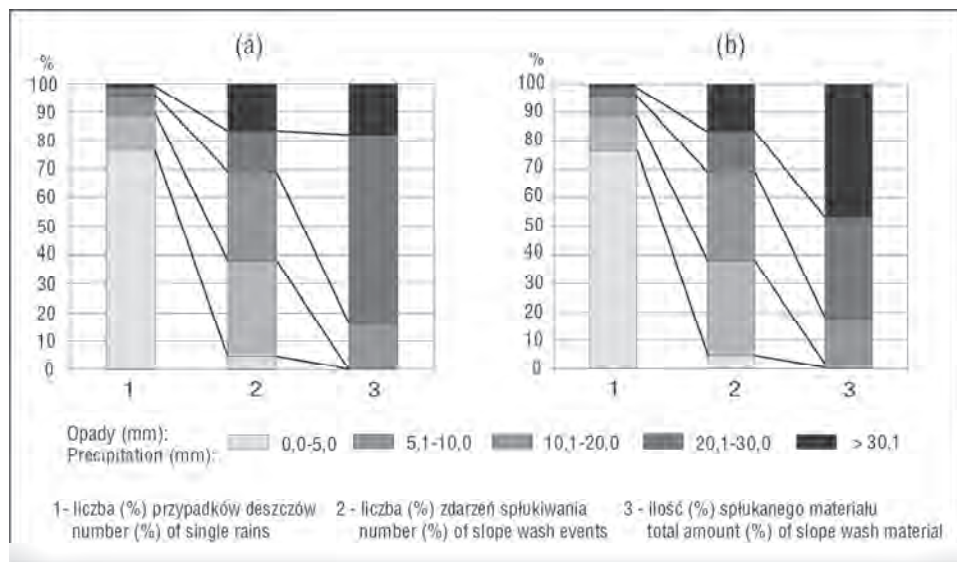
Na badanym obszarze w dniu 29 maja 2002 r. wystąpił opad o sumie 40,2 mm o średnim natężeniu wynoszącym prawie 0,04 mm/min., który spowodował spłukiwanie w zlewni Dworskiego Potoku, gdzie dominującą uprawą były buraki cukrowe. Opad wywołał spłukiwanie powierzchniowe i liniowe, którego efektem był między innymi zbieżny system brzd erozyjnych, które po połączeniu stały się główną drogą odpływu wody i transportu materiału glebowego. U wylotu



Ryc. 5. Częstość występowania spłukiwania: (a) liczba dni z opadem (O) i liczba zdarzeń spłukiwania (S) na poletkach eksperymentalnych w latach hydrologicznych: 1989, 1990 i 1991; (b) całkowita liczba dni z opadem (O) i liczba zdarzeń spłukiwania (S) w latach hydrologicznych 1989-1991; (c) liczba przypadków deszczów (D) i spłukiwania (S) od maja do września w latach hydrologicznych 1989-1991

Fig. 5. Frequency of slope wash events: (a) number of days with precipitation (O) and number of slope wash events (S) on experimental plots in hydrological years: 1989, 1990 and 1991; (b) total number of days with precipitation (O) and number of slope wash events (S) on experimental plots in hydrological years 1989-1991; (c) number of rainfall events (D) and slope wash events (S) from May to September in hydrological years 1989-1991

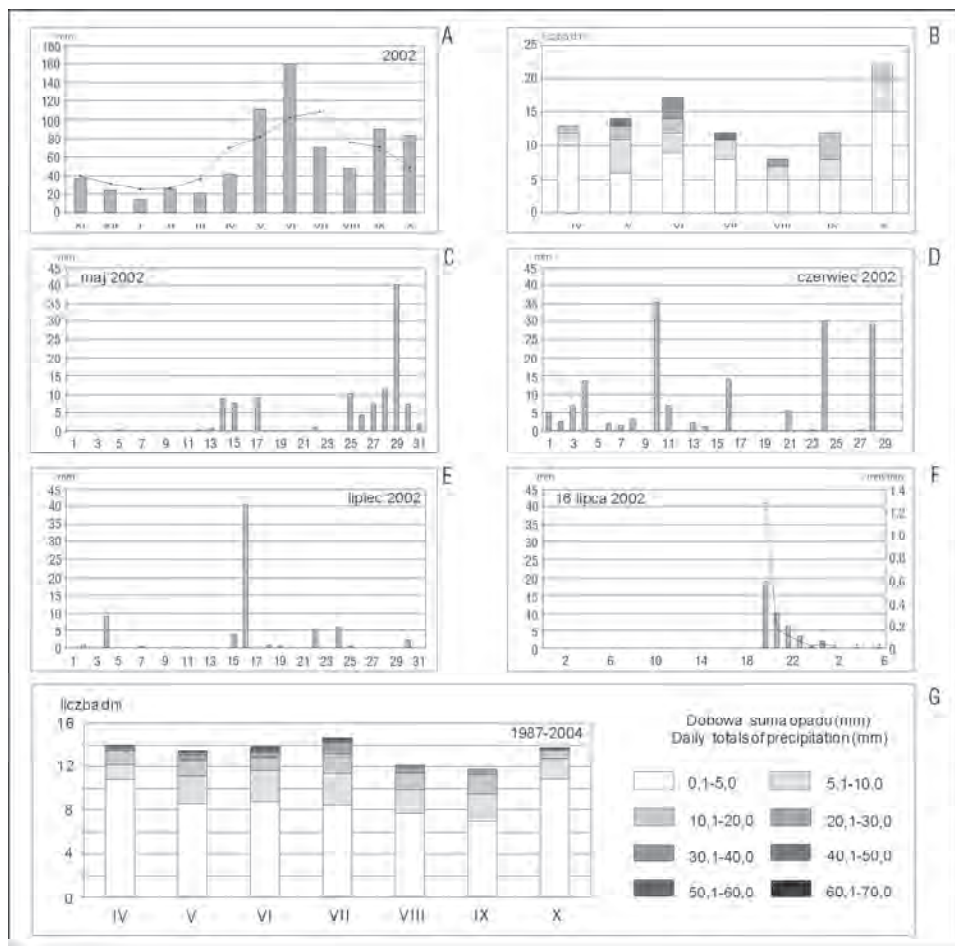
bruzdy, w obrębie spłaszczenia podstokowego, powstał rozległy stożek deluwialny. Bruzda erozyjna funkcjonowała podczas kolejnych większych opadów i została pogłębiona podczas opadów, które miały miejsce w czerwcu. Szczególnie istotne dla transformacji stoku były opady, które miały miejsce 10, 24 i 28 czerwca, kiedy ich dobowe sumy wynosiły odpowiednio 35,6, 30,1 i 29,2 mm (ryc. 7). Po opadzie, który miał miejsce 28 czerwca, długość bruzdy erozyjnej wynosiła nieco ponad 30 m, a maksymalna głębokość – 68 cm. Dnia 16 lipca miał



Ryc. 6. Liczba przypadków (w %) deszczów (1) oraz liczba przypadków (w %) spłukiwania (2) oraz ilość transportowanego materiału (3) (w %) na poletku eksperymentalnym bez darni (a) i zadarnionym (b)

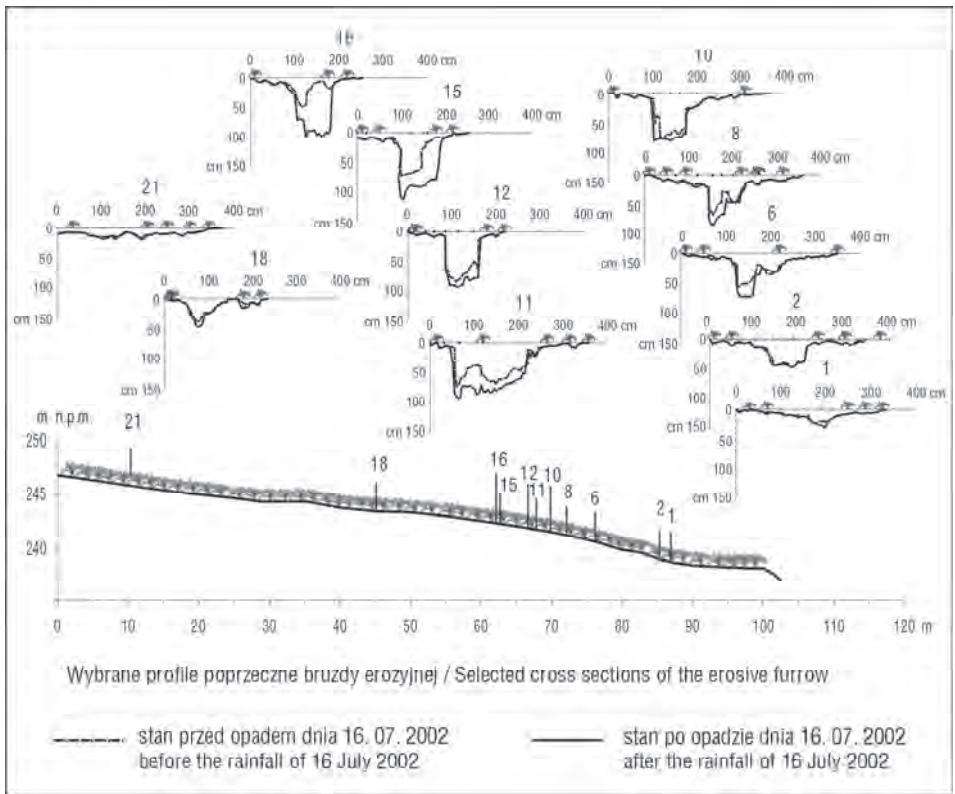
Fig. 6. The number (in %) of single rains (1) and the number (in %) of slope wash events (2) and total amount (in %) of slope wash material (3) at experimental plots: devoid of grass (a) and covered by grass (b)

miejsce kolejny opad deszczu o sumie 40,4 mm, którego natężenie w pierwszych 15 minutach trwania wynosiło prawie 1,3 mm/min. Na skutek spłukiwania liniowego nastąpiło pogłębienie bruzdy erozyjnej maksymalnie do 120 cm oraz wzrosła szerokość formy w jej środkowym i dolnym odcinku (ryc. 8). Opisana głęboka bruzda erozyjna jest incydentalnym przykładem skutków spłukiwania liniowego na stoku w obrębie zlewni, a jej powstanie było wynikiem opadu o dużej wydajności (suma dobową nieco powyżej 40 mm), który wystąpił w początkowej fazie wzrostu roślin oraz obsiania dużej (jak na warunki zlewni) powierzchni jednym rodzajem upraw. Kolejne opady o wysokich sumach i dużym natężeniu prowadziły do pogłębiania i poszerzania istniejącej już formy, niezależnie od stopnia pokrycia stoków przez roślinność. Opady, które wywołały powstanie bruzdy erozyjnej na stokach w zlewni Dworskiego Potoku, są zdarzeniami sporadycznymi. W ciągu 18 lat obserwacji opady o dobowych sumach przekraczających 40 mm miały miejsce w zlewni 15 razy, przy czym najczęściej występowały w czerwcu (7 przypadków), kiedy większość stoków pokryta była w dostatecznym stopniu przez roślinność (ryc. 7). Natomiast obsianie tak dużej powierzchni zlewni burakami cukrowymi było jedynym w ciągu 15 lat przykładem takiego użytkowania ziemi. Wystąpienie zaś, przy takim typie użytkowania, w stosunkowo krótkim czasie 5 opadów



Ryc. 7. Charakterystyka opadów w roku hydrologicznym 2002 (Stacja Naukowa IGiGP UJ w Łazach k/ Bochni): A – miesięczne sumy opadów, B – liczba dni z dobową sumą opadów powyżej 0,1 mm, 5 mm, 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm, 50 mm oraz powyżej 60 mm, C – dobowe sumy opadów w maju 2002 r., D – dobowe sumy opadów w czerwcu 2002 r., E – dobowe sumy opadów w lipcu 2002 r., F – wysokość oraz średnie natężenie opadów w dniu 16 lipca 2002 r., G – średnia liczba dni z dobową sumą opadu powyżej 0,1 mm, 5 mm, 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm, 50 mm oraz powyżej 60 mm w latach hydrologicznych 1987-2004

Fig. 7. The characteristics of precipitation in hydrological year 2002 (Łazy Research Station): A – annual totals of precipitation, B – number of days with daily amount of precipitation above 0,1 mm, 5 mm, 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm, 50 mm and 60 mm, C – daily totals of precipitation in May 2002, D – daily totals of precipitation in June 2002, E – daily totals of precipitation in July 2002, F – characteristics of the rainfall of 16 July, 2002, G – average number of days with daily amount of precipitation above 0,1 mm, 5 mm, 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm, 50 mm and 60 mm in hydrological years 1987-2004



Ryc. 8. Zlewnia Dworskiego Potoku – profil podłużny stoku i wybrane przekroje poprzeczne bruzdy erozyjnej

Fig. 8. Dworski Potok catchment – longitudinal profile of the slope and selected cross sections of the erosive furrow

o dobowych sumach przekraczających 30 mm (w tym dwóch o sumach powyżej 40 mm) doprowadziło do znacznej transformacji stoków w zlewni.

Wartości progowe opadu inicjującego spłukiwanie

Dotychczasowe badania przeprowadzone w zlewni Starej Rzeki wskazują, że wartości progowe opadu wywołujące spłukiwanie są różne dla poszczególnych odcinków stoków i zmieniają się w ciągu roku.

Ten sam opad bardzo rzadko wywołuje spłukiwanie w obrębie całej zlewni. Przemieszczanie materiału na stokach jest procesem nierównomiernym i nie jednoczesnym. Materiał spłukiwany podlega skokowemu przemieszczaniu w dół stoku. Podczas jednego zdarzenia rzadko następuje przemieszczenie materiału z górnego odcinka stoku aż do jego podnóża. Częstość występowania spłuki-

wania oraz jego morfologiczna efektywność zależą głównie od stopnia pokrycia i utrwalenia stoków przez roślinność oraz stanu powierzchni gruntu w okresie bezpośrednio poprzedzających wystąpienie procesu (Świąchowicz 2000a, b).

Wyróżniono trzy wartości progowe opadu, istotne dla morfodynamiki zlewni:

- pierwsza wartość progowa – rozpoczęcia procesu spłukiwania w profilu podłużnym stoków,
- druga wartość progowa – powszechnego spłukiwania na całej długości niektórych stoków,
- trzecia wartość progowa – powszechnego spłukiwania na całej długości wszystkich stoków zlewni.

Wartości progowe opadu zmieniają się w ciągu roku w zależności od stanu podłoża (faza wegetacji, wilgotność gleby, przemarznięcie). Określenie warunków progowych przy pomocy jednej liczby zawsze jest jedynie przybliżeniem rzeczywistych warunków, umożliwiającym bardzo generalne i uogólnione spojrzenie na procesy spływu i spłukiwania. Przekroczenie pierwszej wartości progowej powoduje lokalne przemieszczanie materiału w profilu podłużnym stoku. Intensywność procesu jest niewielka. Przekroczenie drugiej wartości progowej powoduje lokalne przeobrażanie stoków w zlewni, zaś przekroczenie trzeciej wartości jest przyczyną powszechnego przemieszczania materiału na stokach i poza stoki oraz najbardziej skutecznej transformacji całej zlewni. Prawdopodobieństwo przekroczenia trzeciej wartości progowej maleje wraz ze wzrostem powierzchni zlewni. Podczas przekroczenia drugiej wartości progowej następuje lokalne sprzężenie procesów na stokach i w korytach. Podczas przekroczenia trzeciej wartości progowej sprzężenie obu subsystemów jest powszechne, ale i wówczas większość materiału wynoszonego ze stoków deponowana jest w obrębie podstokowych równin deluwialnych i w płaskich dnach dolin (Świąchowicz 2002c). Akumulacja spłukiwanego ze stoków materiału u ich podnóża w postaci różnej wielkości stożków lub szeroką strefą w obrębie całego dna doliny prowadzi do nadbudowywania równiny zalewowej. Ilość przemieszczanego materiału uzależniona jest od sposobu użytkowania stoków. Pochodzi on głównie z pól pozbawionych ochronnej pokrywy roślinnej oraz upraw okopowych (Świąchowicz 2002a). Konsekwencją epizodycznej i nierównomiernej akumulacji materiału u podnóża stoków oraz w – zajętych przez trwałe użytki zielone – dnach dolin jest zacieranie granic morfologicznych między stokami a dnem. Dna dolin z powszechnymi podstokowymi równinami stanowią strefę oddzielającą słabo ze sobą powiązane systemy – stokowy i korytowy. Sprzężenie obu subsystemów, polegające na dostawie materiału ze stoków do koryt, następuje epizodycznie i najczęściej lokalnie.

Wnioski

Na stokach pogórskich użytkowanych rolniczo ważnym procesem jest spłukiwanie, którego działanie w większości przypadków polega na przemieszczaniu materiału mineralnego na niewielkie odległości w profilu podłużnym

stoku. Morfologiczna efektywność opadów deszczowych, powodujących spłukiwanie na stokach, jest zróżnicowana i zależy głównie od rodzaju roślinności i przestrzennej struktury upraw.

Największą rolę w transformacji stoków odgrywiają opady, które powodują przekroczenie drugiej i trzeciej wartości progowej, czego skutkiem jest powszechne spłukiwanie w całym profilu podłużnym niektórych (druga wartość) bądź wszystkich (trzecia wartość) stoków w zlewni. Materiał spłukiwany ze stoków akumulowany jest u ich podnóża w obrębie równin podstokowych lub w dnie doliny w postaci stożków deluwialnych, co prowadzi do podniesienia i poszerzenia dna doliny.

LITERATURA

- Froehlich W., Starkel L., 1995, *The Response of Slope and Channel Systems to Various Types of Extreme Rainfalls (Temperate Zone – Humid Tropics Comparison)*, *Geomorphology*, 11(4), 337-346.
- Gil E., 1998, *Spływ wody i procesy geomorfologiczne w zlewniach fliszowych podczas gwałtownej ulewy w Szymbarku w dniu 7 czerwca 1985 roku*, [w:] Starkel L. (red.), *Geomorfologiczny i sedymentologiczny zapis lokalnych ulew*, *Dokumentacja Geograficzna*, 11, 85-107.
- Gil E., 1999, *Obieg wody i spłukiwanie na fliszowych stokach użytkowanych rolniczo w latach 1980-1990*, *Zeszyty IGiPZ PAN*, 60, ss. 78.
- Gil E., Starkel L., 1979, *Long-Term Extreme Rainfalls and their Role in the Modelling of Flysch Slopes*, *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 13, 207-220.
- Hess M., 1965, *Piętra klimatyczne w polskich Karpatach Zachodnich*, *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne*, 11, ss. 267.
- Kotarba A., 1990, *Postęp metodyczny w badaniach współczesnych procesów morfogenetycznych*, [w:] Kotarba A. (red.), *Współczesne procesy morfogenetyczne w Polsce. Wybrane zagadnienia*, *Dokumentacja Geograficzna*, 1, 7-12.
- Kotarba A., 1994, *Geomorfologiczne skutki katastrofalnych letnich ulew w Tatrach Wysokich*, *Acta Universitatis Nicolai Copernici, Geografia*, 27, Nauki Matematyczno-Przyrodnicze, 92, 21-34.
- Kotarba A., 1998, *Morfogenetyczna rola opadów deszczowych w modelowaniu rzeźby Tatr podczas letniej powodzi w roku 1997*, *Dokumentacja Geograficzna*, 12, 9-23.
- Rodzick J., Janicki G., Zagórski P., Zgłobicki W., 1998, *Deszcze nawalne na Wyżynie Lubelskiej i ich wpływ na rzeźbę obszarów lessowych*, [w:] Starkel L. (red.), *Geomorfologiczny i sedymentologiczny zapis lokalnych ulew*, *Dokumentacja Geograficzna*, 11, 45-68.
- Selby M. J., 1974, *Dominant Geomorphic Events in the Landform Evolution*, *Bulletin of International Association of Engineering Geology*, 9, 85-89.
- Starkel L., 1986, *Rola zjawisk ekstremalnych i procesów sekularnych w ewolucji rzeźby (na przykładzie fliszowych Karpat)*, *Czasopismo Geograficzne*, 57(2), 203-213.
- Starkel L., 1996, *Geomorphic Role of Extreme Rainfalls in the Polish Carpathians*, *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 30, 21-38.
- Starkel L., 2002, *Wartości progowe w przekształcaniu systemów naturalnych środowiska przyrodniczego Karpat, Wyżyny Małopolskiej i Kotlin Podkarpackich*, [w:] Górka Z., Jelonek A. (red.), *Geograficzne uwarunkowania rozwoju Małopolski*, *Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej*, 221-227.

- Starkel L., 2003, *Rola ekstremalnych opadów i ich częstotliwości w przekształcaniu stoków i den dolin*, [w:] Bochenek W., Gil E. (red.), *Funkcjonowanie i monitoring geosystemów ze szczególnym uwzględnieniem zjawisk ekstremalnych*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, 13-19.
- Świąchowicz J., 1995, *Opadowe uwarunkowania wystąpienia spływu powierzchniowego w zlewni Starej Rzeki na Pogórzu Karpackim*, [w:] Kaszowski L. (red.), *Dynamika i antropogeniczne przeobrażenia środowiska przyrodniczego progu Karpat między Rabą a Uszwiącą*, IG UJ, Kraków, 185-193.
- Świąchowicz J., 1998, *Splukiwanie gleby na stoku eksperymentalnym w rejonie Łazów (Pogórze Wielickie)*, [w:] Kostrzewski A. (red.), *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie i tendencje rozwoju geosystemów Polski*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, 217-227.
- Świąchowicz J., 2000a, *Opadowe uwarunkowania wystąpienia splukiwania na stoku eksperymentalnym w rejonie Łazów (Pogórze Wielickie)*, *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne*, 105, 325-342.
- Świąchowicz J., 2000b, *The Treshold Conditions for Slope Wash Processes in the Foothill Catchment (Carpathian Foothills, South Poland)*, *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 34, 67-88.
- Świąchowicz J., 2001, *Rola stoków i den dolin w odprowadzaniu zawiesiny ze zlewni pogórskiej*, [w:] Chelmicki W. (red.), *Przemiany środowiska na Pogórzu Karpackim. Procesy, gospodarka, monitoring*, Instytut Geografii UJ, Kraków, 31-49.
- Świąchowicz J., 2002a, *The Influence of Plant Cover and Land Use on Slope-Channel Decoupling in a Foothill Catchment: A Case Study From the Carpathian Foothills, Southern Poland*, *Earth Surface Processes and Landform*, 27(5), 463-479.
- Świąchowicz J., 2002b, *Współdziałanie procesów stokowych i fluwialnych w odprowadzaniu materiału rozpuszczonego i zawiesiny ze zlewni pogórskiej*, [w:] *Przemiany środowiska na Pogórzu Karpackim*, Instytut Geografii UJ, 3, 1-152.
- Świąchowicz J., 2002c, *Linkage of Slope Wash and Sediment and Solute Export from a Foothill Catchment in the Carpathian Foothills of South Poland*, *Earth Surface Processes and Landform*, 27(12), 1389-1413.

RAINFALL THRESHOLD VALUES FOR SLOPE WASH PROCESSES ON FOOTHILL SLOPES

SUMMARY

Slope wash is a very important process taking place on cultivated foothill slopes. In most cases the process results in the transport of the suspended material downslope. Slope wash is an occasional process, which takes place relatively seldom. A single rainfall does not always bring about slope wash everywhere on the slope. The morphological effectiveness of slope wash events is differentiated along the slope and it depends mainly on the type of vegetation cover and the crop structure.

Three rainfall thresholds which are important for the initiation and intensity of the slope wash process can be distinguished:

- 1) initial surface runoff and local slope wash on a particular slope or in a particular catchment,

- 2) overland flow and slope wash along the whole profile of a slope or several slopes in a catchment,
- 3) overland flow and slope wash on all the slopes in a catchment.

The fundamental role in the transformation of the slopes is played by rainfalls which exceed the second and third threshold values and result in widespread slope wash along the profile of some slopes (the second threshold) or all the slopes in the catchment (the third threshold).

The material transported from the slopes after exceeding the second and third thresholds is deposited at the foot of the slopes, on the footslope deluvial plains and in the valley bottoms in the form of deluvial fans. The process leads to the buildup and widening of the valley bottom.

Translated by Alicja Waligóra-Zblewska