

Jolanta Święchowicz

OPADOWE UWARUNKOWANIA WYSTĄPIENIA SPŁUKIWANIA NA STOKU EKSPERYMENTALNYM W REJONIE ŁAZÓW (POGÓRZE WIELICKIE)

Zarys treści: W artykule przedstawiono opadowe uwarunkowania wystąpienia spłukiwania na stoku eksperymentalnym w pogórskiej zlewni Starej Rzeki. Badania przeprowadzono w katenie stokowej na 6 stanowiskach pomiarowych. Analiza uwzględnia zróżnicowanie ilości transportowanego materiału na poszczególnych stanowiskach podczas pojedynczych zdarzeń spłukiwania w zależności od właściwości opadu.

Słowa kluczowe: spłukiwanie, wartości progowe, Pogórze Wielickie.

1. Wstęp

Jednym z ważniejszych procesów morfogenetycznych jest proces przemieszczania w dół stoku cząstek pokrywy zwietrzelinowej przez wody opadowe wpływające okresowo, czyli spłukiwanie (Klimaszewski 1978). Warunkiem koniecznym do zaistnienia procesu jest zatem opad, aczkolwiek nie każdy opad wywołuje wpływ powierzchniowy i w konsekwencji spłukiwanie (Święchowicz 1995, 1998).

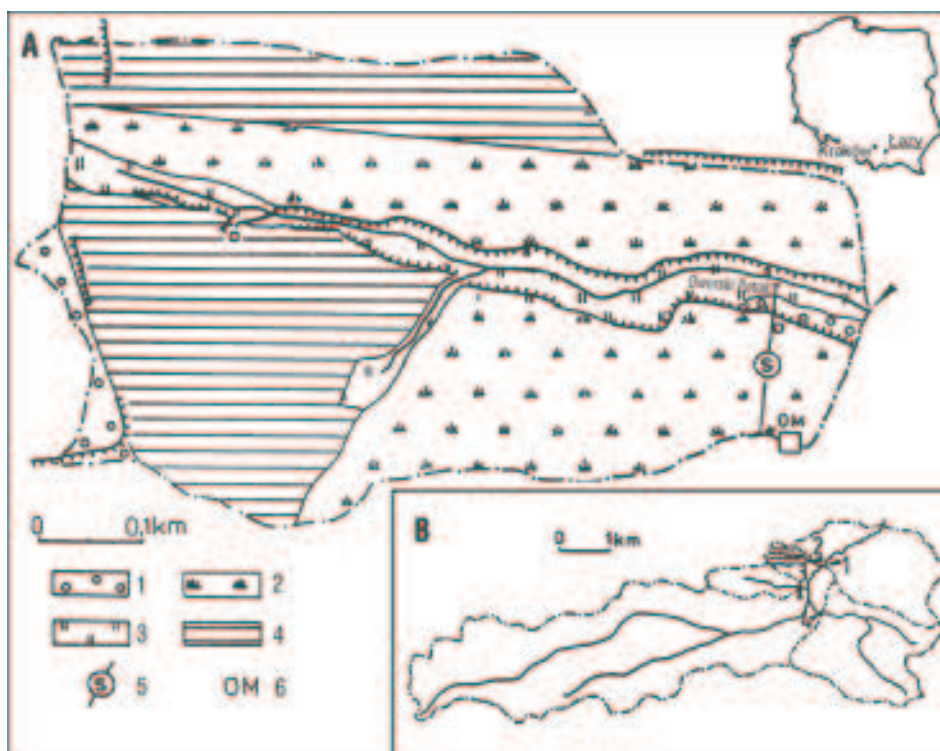
Wystąpienie spłukiwania na stokach uwarunkowane jest bowiem z jednej strony zjawiskami meteorologicznymi, a więc opadem (częstością występowania, wysokością, natężeniem, czasem trwania) oraz termiką powietrza, z drugiej zaś strony budową geologiczną, rzeźbą terenu, własnościami fizycznymi gleby, rodzajem użytkowania ziemi oraz stanem gruntu, a więc aktualną jego wilgotnością i temperaturą (Gerlach 1966, 1976; Gil 1976, 1986; Słupik 1973, 1981; Starkel 1996; Święchowicz 1998).

Niniejsze opracowanie przedstawia opadowe uwarunkowania wystąpienia wpływu powierzchniowego i spłukiwania na stoku eksperymentalnym w pogórskiej zlewni Starej Rzeki oraz zróżnicowanie ilości transportowanego materiału podczas pojedynczych zdarzeń spłukiwania w zależności od właściwości opadu. Zróżnicowanie wielkości spłukiwania na poszczególnych stanowiskach w zależności od cech morfometrycznych stoku, budowy podłoża oraz użytkowania ziemi zostaną pominięte, gdyż były przedmiotem szczegółowych rozważań w osobnej pracy (Święchowicz 1998).

Badania przeprowadzono w ramach programu badawczego Stacji Naukowej Instytutu Geografii UJ w Łazach (Kaszowski 1991, 1995).

2. Obszar badań

Badania spłukiwania wykonano w zlewni Dworskiego Potoku o powierzchni 0,32 km², która wchodzi w skład eksperymentalnej zlewni Starej Rzeki. Obszar badań położony jest w północnej części Pogórza Wielickiego i charakteryzuje się typem rzeźby pogórzy niskich (Święchowicz 1991, 1992; ryc. 1)



Ryc. 1. Położenie obszaru badań:

A. 1 – lasy, 2 – pastwiska, 3 – łąki, 4 – grunty orne, 5 – stok eksperymentalny, 6 – Stacja Meteorologiczna; B. 1-4 wodowskazy, limnigrafy: 1 – Stara Rzeka (Stacja Naukowa Łazy), 2 – Dworski Potok, 3 – Brzeźnicki Potok, 4 – Leśny Potok.

Fig. 1. Location of the investigated area:

A. 1 – forest, 2 – pastureland, 3 – hydrophilous meadow-type vegetation, 4 – cultivated area, 5 – examined profile, 6 – Meteorological Station; B. 1-4 water gauges, limnigraphs: 1 – Stara Rzeka Stream (The Łazy Research Station), 2 – The Dworski Stream, 3 – The Brzeźnicki Stream, 4 – The Leśny Stream.

Do badań eksperymentalnych wybrano profil podłużny stoku – od działu wodnego do dna doliny. Stok o długości 133 m jest wypukło-wklęsły i wznosi się od 231 do 245 m n.p.m.

Nachylenie w górnej części stoku wynosi 2,8°, w środkowej – 6,5°, zaś w dolnej – 4,5°. W dolnej części, poniżej krawędzi, stok jest zadrzewiony i przechodzi w szerokie do 35 m, płaskie, akumulacyjne dno Dworskiego Potoku. Stok budują pyłowe utwory lessopodobne o niewielkim zróżnicowaniu uziarnienia. Koryto Dworskiego Potoku wycięte jest w utworach aluwialnych i deluwialnych. W obrębie stoku występują gleby płowe opadowo-glejowe, natomiast w dnie doliny – oglejone gleby aluwialne i deluwialne. Stok w okresie prowadzonych badań użytkowany był jako pastwisko, a obecnie jest zaorany. Dno doliny porośnięte jest bujną roślinnością hydrofilną z dominacją turzyc i trzciny.

3. Metoda

Badania prowadzono w obrębie stoku eksperymentalnego w okresie od sierpnia 1989 do października 1990 roku na 6 stanowiskach pomiarowych usytuowanych odpowiednio 35, 58, 78, 98, 115 i 127 m od działu wodnego. Stanowiska 1-5 zlokalizowane były w obrębie pastwiska, a stanowisko 6 w obrębie zadrzewionej krawędzi. Na końcu wszystkich eksperymentalnych poletek zamontowane były rynny Gerlacha o długości 1 m. Stoki doświadczalne nie były ekranowane. Przy pomiarach za pomocą rynny Gerlacha powierzchnie spłukiwania teoretycznie wyznaczał pas stoku o szerokości 1 m, ciągnący się od wierzchołku do odpowiedniego stanowiska pomiarowego. Pomiar ilości spłukiwanego materiału przeprowadzono każdorazowo po wystąpieniu opadów.

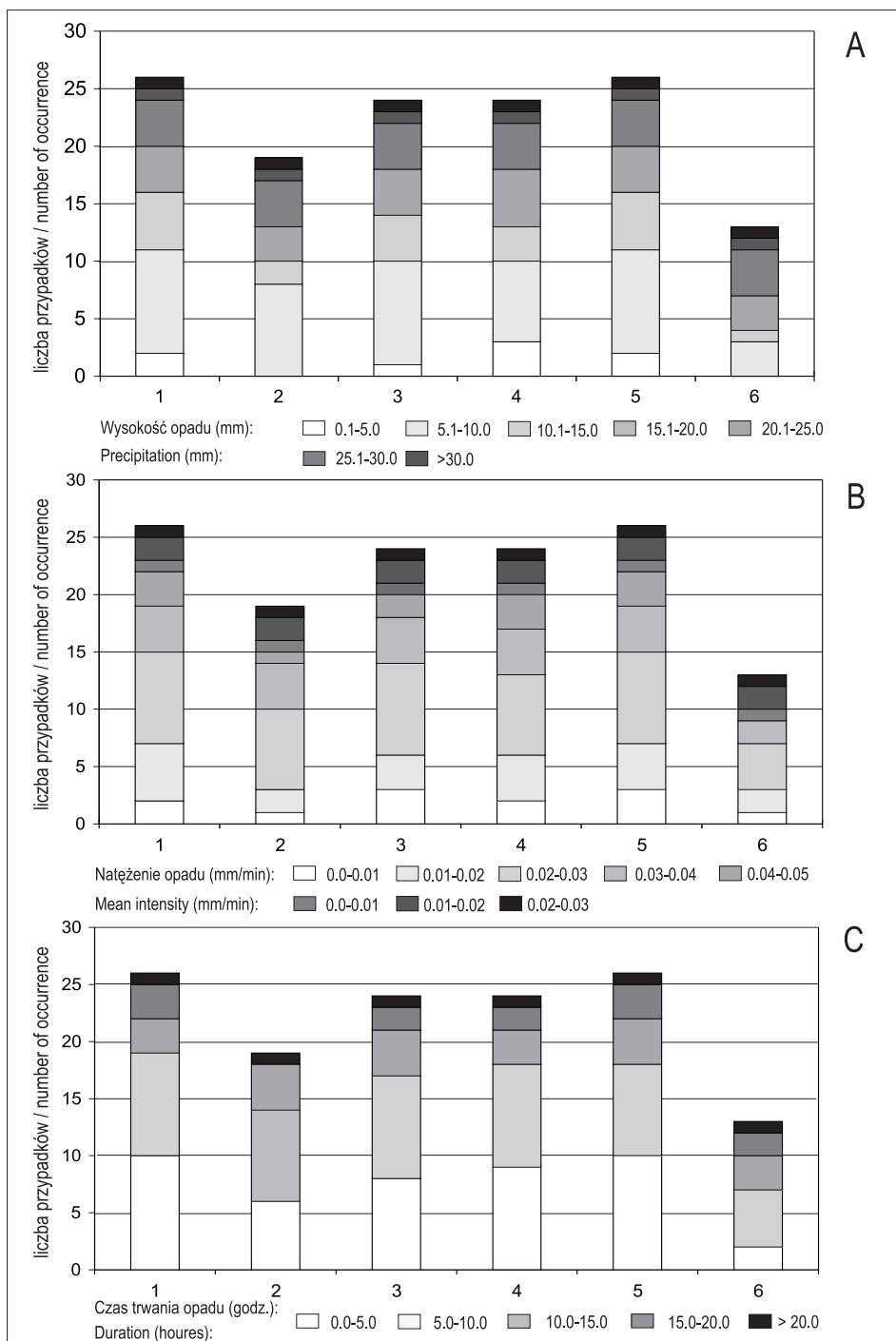
Analizę warunków opadowych przeprowadzono metodą opracowaną przez K. Wit-Jóźwik (1977). Polegała ona na charakterystyce poszczególnych przypadków deszczów z uwzględnieniem takich ich cech, jak wielkość opadu, średnie natężenie i czas trwania.

4. Wyniki

W okresie badań, w którym wystąpiły 189 dni z opadem, spływ powierzchniowy zdarzył się 28 razy i podczas każdego zdarzenia nastąpiło spłukiwanie materiału. Dni z opadem stanowiły 42,4% badanego okresu, a dni, w których wystąpił spływ powierzchniowy i spłukiwanie – 6,1% (pastwiskowa część stoku) i 3,0% (zadrzewiona krawędź).

Liczba przypadków spływu powierzchniowego i spłukiwania nie była taka sama na wszystkich stanowiskach. Najwięcej przypadków spłukiwania (26) miało miejsce w obrębie pastwiskowej części stoku – na stanowisku 1 (najbliżej działu wodnego) i stanowisku 5 (najdalej od działu wodnego). Najmniej (19) – wystąpiło na stanowisku 2. Natomiast w obrębie zadrzewionej krawędzi, na stanowisku 6, wystąpiło tylko 13 zdarzeń (ryc. 2).

Najwięcej zdarzeń spłukiwania na wszystkich stanowiskach wywołały opady umiarkowane (o wysokości 5-10 mm). Dały one na wszystkich stanowiskach podobną



liczbę zdarzeń z wyjątkiem stanowiska 4 (w obrębie spłaszczenia podstokowego) oraz stanowiska 6 (w obrębie zadrzewionej krawędzi), gdzie ich liczba była najmniejsza (ryc. 2A).

Przy niejednakowej liczbie przypadków spłukiwania na poszczególnych stanowiskach, udział zdarzeń wywołanych przez opady umiarkowane w ogólnej sumie przypadków wynosił od 42,1% (na stanowisku 2) do 23,1% w obrębie zadrzewionej krawędzi.

W następnej kolejności najwięcej zdarzeń wywołały opady o wysokości 20-25 mm. Dały one na wszystkich stanowiskach taką samą liczbę przypadków (4).

Stosunkowo często spłukiwanie wywołane było przez opady o wysokości 10-15 mm oraz 15-20 mm (umiarkowanie silne). Przy tych przedziałach wysokości opadów miało miejsce największe zróżnicowanie liczby zdarzeń na poszczególnych stanowiskach.

Opady słabe i bardzo słabe (0-5 mm) podobnie jak opady silne (25-30) i bardzo silne (>30 mm) spowodowały niewielką liczbę zdarzeń spłukiwania. Podczas opadów powyżej 25 mm spłukiwanie występowało na wszystkich stanowiskach, natomiast podczas opadów słabych liczba zdarzeń była zróżnicowana w katenie stokowej. Charakterystyczne, że podczas opadów powyżej 20 mm liczba zdarzeń na poszczególnych stanowiskach była taka sama. Zróżnicowanie liczby przypadków w obrębie kateny stokowej jest wyraźne przy zdarzeniach wywołanych przez opady słabe i umiarkowane. Przy tym, zróżnicowanie dotyczy tylko środkowej części stoku – tzw. *pasa aktywnej erozji* i początku *pasa depozycji* (Święchowicz 1998). Natomiast na stanowisku 1 (w części przywierzchowej) i 5 (podnóże stoku) struktura przypadków spłukiwania o określonej częstości jest dokładnie taka sama. Zdecydowanie od wymienionych odbiegają wyniki na stanowisku 6 – w obrębie zadrzewionej krawędzi. Liczba przypadków spłukiwania jest tu najmniejsza i przeważa liczba zdarzeń wywołanych przez opady powyżej 20 mm (ryc. 2A).

Granica 20 mm opadu wydaje się istotna, ponieważ powyżej niej liczba zdarzeń spłukiwania jest taka sama na wszystkich stanowiskach. Podczas opadów poniżej 20 mm następuje zróżnicowanie liczby zdarzeń w zależności od położenia morfologicznego stanowiska, natomiast powyżej – ich upodobnienie.

Najwięcej zdarzeń spłukiwania na wszystkich stanowiskach (z wyjątkiem 3) wywołały opady o natężeniu od 0,02 do 0,03 mm/min. Udział zdarzeń wywołanych przez opady o tym natężeniu wynosił od 37% (na stanowisku 2) do 29% (na stanowisku 4) w ogólnej sumie przypadków.

Liczba zdarzeń spłukiwania, wywołanych przez opady o natężeniu poniżej 0,03 mm/min. była zróżnicowana na poszczególnych stanowiskach. Największe

Ryc. 2. Liczba przypadków spłukiwania na poszczególnych stanowiskach (1-6) na stoku eksperymentalnym w okresie od VIII 1989 do X 1990 roku w zależności od wysokości (A), natężenia (B) i czasu trwania (C) opadu.

Fig. 2. Number of soil wash events at particular sites (1-6) on the experimental slope in the Aug. 1989-Oct. 1990 produced by rainfalls of variable sums (A), mean intensities (B) and durations (C).

zróżnicowanie wystąpiło w środkowej części stoku (*pas intensywnej erozji*). Podobne zróżnicowanie zaznaczyło się podczas opadów o natężeniach 0,03-0,05 mm/min. (szczególnie w środkowej części stoku). Powyżej wartości natężenia opadu, wynoszącej 0,05 mm/min., liczba zdarzeń na poszczególnych stanowiskach była taka sama (ryc. 2B).

Podczas opadów trwających do 5 godzin liczba przypadków splukiwania była najbardziej zróżnicowana na poszczególnych stanowiskach. Największe zróżnicowanie występowało w środkowej części stoku. Na stanowisku 6 zdecydowanie dominowały przypadki splukiwania wywołane przez opady trwające powyżej 5 godzin (ryc. 2C).

Przemieszczanie materiału na stoku, podobnie jak spływ wody, było zróżnicowane w katenie stokowej. Najmniej materiału – 24,7 g zanotowano na stanowisku 1, najwięcej – 52,6 g na stanowisku 4. Ilość splukiwanego materiału wzrastała wraz z długością stoku – do stanowiska 4, położonego 98 m od działu wodnego. W dolnej części stoku na stanowisku 5 ilość transportowanego materiału zmniejszała się i była prawie taka sama jak na stanowisku 1. Zdecydowanie najmniej materiału zanotowano na stanowisku 6, położonym w obrębie zadrzewionej krawędzi (ryc. 3A). Odprowadzany materiał akumulowany był w obrębie spłaszczenia u podnóża stoku (stanowiska 4 i 5) 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).

Pomierzona ilość splukanego materiału na poszczególnych stanowiskach w obrębie części pastwiskowej była większa od ilości splukanego materiału w obrębie zadrzewionej krawędzi – odpowiednio 34 razy na stanowisku 1, 55 razy na stanowisku 2, 63 razy na stanowisku 3, 73 razy na 4 i 39 razy na stanowisku 5.

Przemieszczanie materiału na stoku podczas pojedynczych zdarzeń splukiwania miało bardziej zróżnicowany przebieg (ryc. 3B). Krzywe transportu były najczęściej zygzakowate, zwłaszcza w przypadku zdarzeń, kiedy ilość transportowanego materiału była stosunkowo duża. Wskazuje to na skokowe przemieszczanie materiału, przy czym ilość transportowanego materiału może zarówno rosnąć, jak i maleć w miarę oddalania się od działu wodnego (ryc. 3C). Kształt krzywej transportu za cały badany okres jest

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

A – wielkość splukiwania na poszczególnych stanowiskach (1-6),

B – odprowadzanie i depozycja materiału glebowego na poszczególnych odcinkach stoku za cały badany okres,

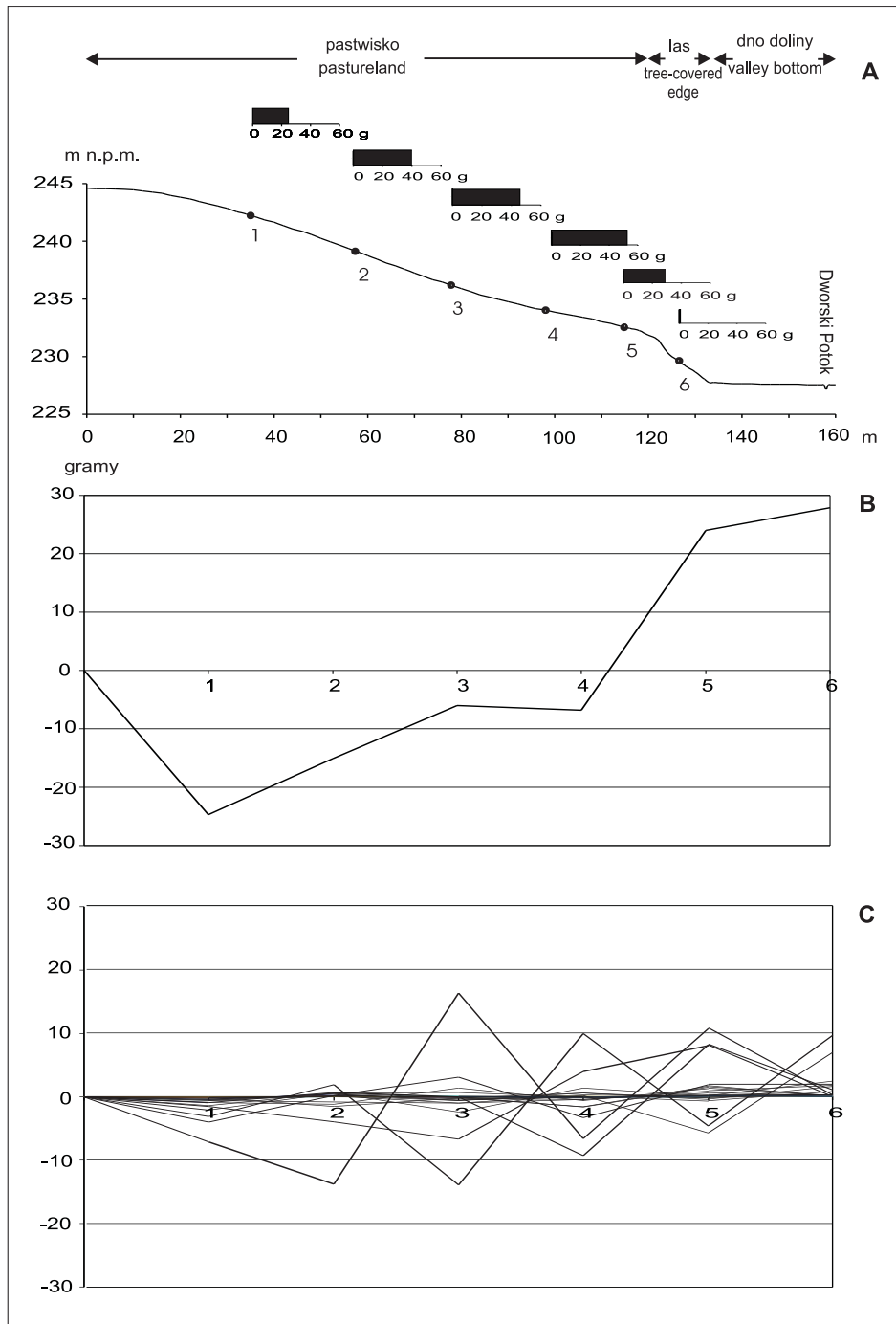
C – odprowadzanie i depozycja materiału glebowego na poszczególnych odcinkach stoku podczas pojedynczych przypadków splukiwania.

Fig. 3. Soil wash on the experimental slope:

A – total amount of soil wash at particular measuring sites (1-6) in the Aug. 1989-Oct. 1990,

B – transport and deposition of soil material on particular slope segments in the Aug. 1989-Oct. 1990,

C – transport and deposition of soil material on particular slope segments during single soil wash events.



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 zdają się decydować zdarzenia największe.

Ilość przemieszczanego materiału, podobnie jak liczba zdarzeń spłukiwania, była zróżnicowana w katenie stokowej podczas opadów o różnych cechach.

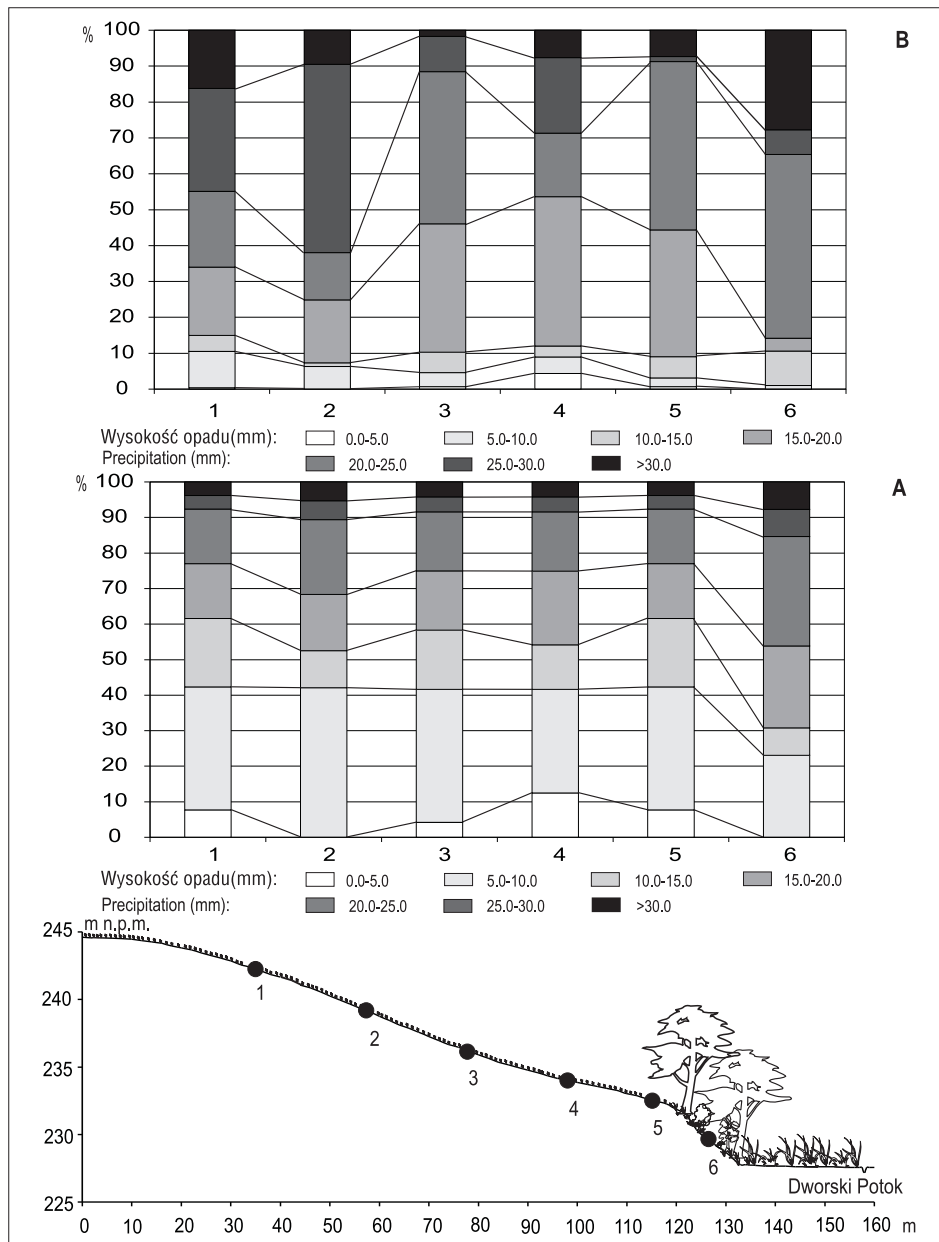
Najwięcej materiału spłukiwane było ze stoków podczas spływów wywołanych przez opady o wysokości powyżej 15 mm (ryc. 4B), przy czym ilość materiału była zróżnicowana w zależności od położenia morfologicznego stanowisk pomiarowych. W przypadku opadów o wysokościach 15-20 mm największe ilości materiału przemieszczane były w dolnej części stoku (w odcinku depozycji). Podczas opadów o wysokości 20-25 mm najwięcej materiału przemieszczane było w obrębie stoku pastwiskowego na stanowisku 3 i 5 oraz zdecydowanie najwięcej w obrębie zadrzewionej krawędzi. Opady o wysokości 25-30 mm spowodowały największe przemieszczenie materiału na stanowisku 2 w odcinku aktywnej erozji (prawie 53%) (ryc. 4B). Natomiast w obrębie zadrzewionej krawędzi 86,1% transportowanego materiału odprowadzane było podczas spływów wywołanych przez opady powyżej 20 mm (ryc. 4B).

Zdecydowanie najwięcej materiału przemieszczane było podczas zdarzeń wywołanych przez opady o natężeniach 0,03-0,04 mm/min., przy czym ilość przemieszczanego materiału była zróżnicowana w katenie stokowej: najwięcej – 21,3% na stanowisku 2, najmniej – 8,3% na stanowisku 3 (ryc. 5B). Stosunkowo dużo materiału przemieszczane było podczas zdarzeń wywołanych przez opady 0,05-0,06 mm/min. Najwięcej – 15,1% na stanowisku 3 i najmniej – 1,2% na stanowisku 2. Równie duże zróżnicowanie występowało podczas zdarzeń wywołanych przez opady o natężeniach 0,06-0,07 mm/min. (ryc. 5B).

Zdecydowanie najwięcej materiału zostało odprowadzone podczas deszczów trwających od 5 do 10 godzin. Stanowił on od 21,4% (na stanowisku 2) do 84,3% (na stanowisku 5) całkowitej ilości odprowadzonego materiału. W następnej kolejności, podczas opadów trwających od 10 do 15 godzin, odpowiednio od 11,5% (na stanowisku 5) do 57,0% (na stanowisku 2). Opady o takim czasie trwania wywołały blisko 50% wszystkich spływów, podczas których na wszystkich stanowiskach w obrębie stoku zostało odprowadzone prawie 3/4 całkowitej ilości materiału. W obrębie zadrzewionej krawędzi najwięcej materiału odprowadzone zostało podczas opadów trwających od 5 do 10 godzin (ryc. 6B).

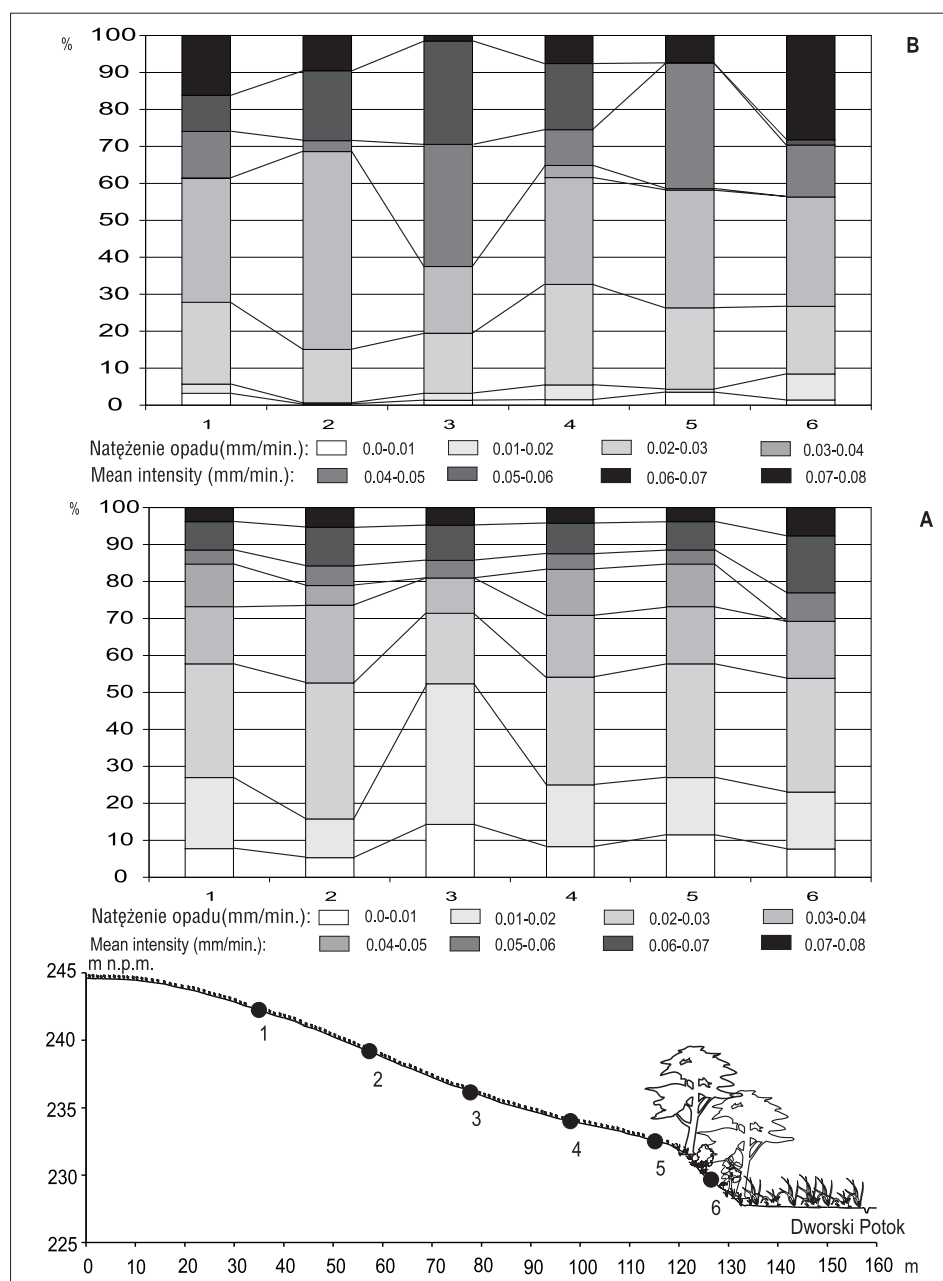
Uzyskane wyniki wskazują, że ilość materiału transportowanego na poszczególnych stanowiskach w obrębie stoku eksperymentalnego jest odwrotnie proporcjonalna do liczby zdarzeń.

Opady o wysokościach 0-15 mm wywołują na wszystkich stanowiskach w obrębie stoku pastwiskowego od 50-60% wszystkich przypadków spłukiwania, ale powodują przemieszczanie niewiele ponad 10% całkowitego materiału. Opady o wysokościach 15-25 mm wywołują na wszystkich stanowiskach 20-30% wszystkich zdarzeń, ale przemieszczają 70% materiału uruchamianego na stoku. Zdarzenia wywołane przez opady powyżej 25 mm stanowią niewiele ponad 10% zdarzeń spłukiwania, ale



Ryc. 4. Liczba przypadków (w %) spłukiwania (A) oraz wielkość transportowanego materiału (B) na stoku eksperymentalnym podczas opadów o określonej wysokości.

Fig. 4. The number of slope wash events (A) (in %) and the total amount (in %) of slope wash material (B) on the experimental slope during rainfalls of variable amounts.



Ryc. 5. Liczba przypadków (w %) spłukiwania (A) oraz wielkość transportowanego materiału (B) (w %) na stoku eksperymentalnym podczas opadów o określonym natężeniu.

Fig. 5. The number of slope wash events (A) (in %) and the total amount (in %) of slope wash material (B) on the experimental slope during rainfalls of variable mean intensities.

uruchamiają 10–20% materiału (ryc. 4A i B). W obrębie zadrzewionej krawędzi opady powyżej 20 mm powodują przemieszczanie 85% całkowitej ilości materiału.

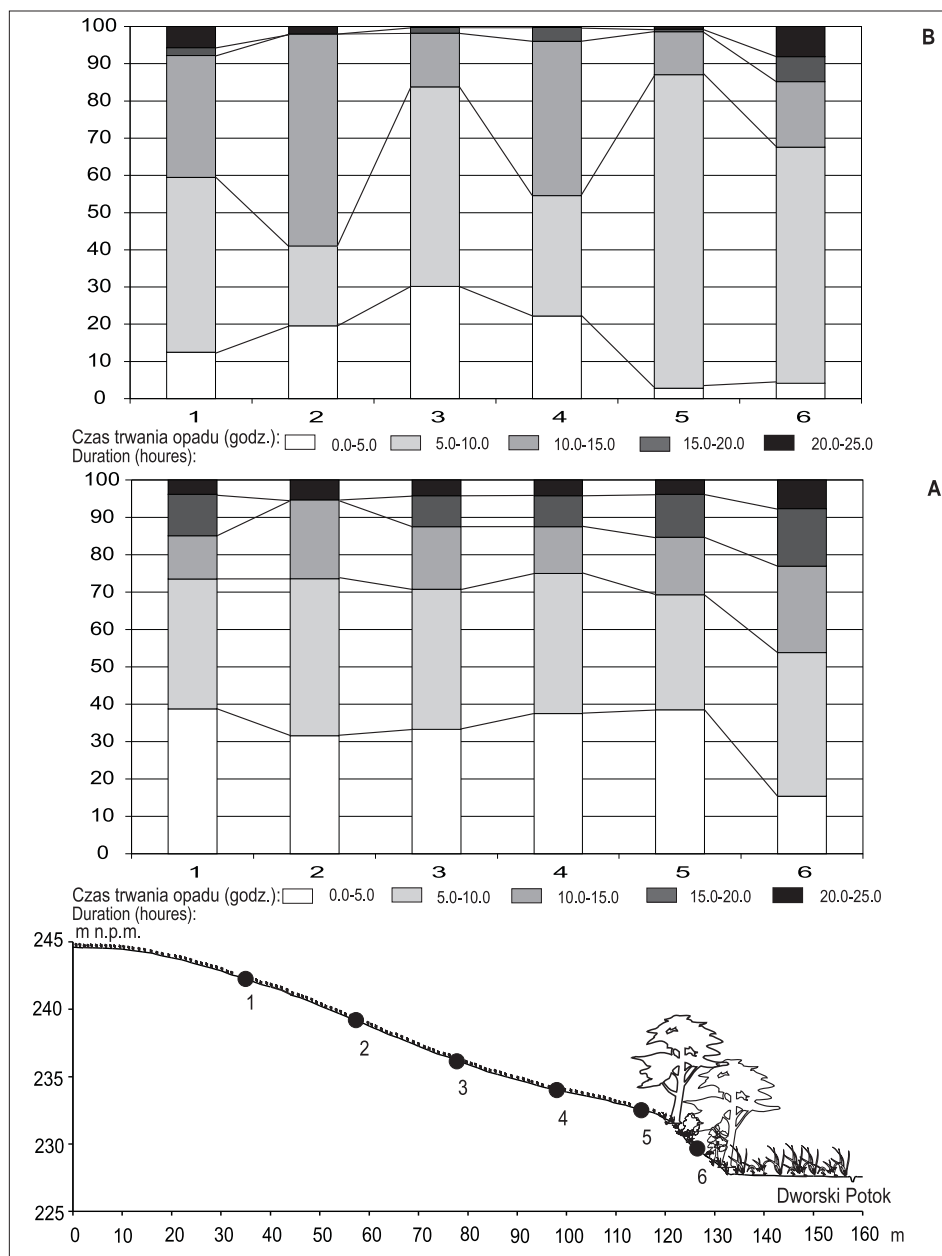
Wynika z tego, że zdarzenia „małe” były najczęstsze, natomiast ich efektywność morfologiczna niewielka. Z kolei zdarzenia spowodowane przez opady najwyższe były rzadkie i przemieszczały stosunkowo niewielki procent całkowitej ilości materiału. Efektywność morfologiczna tych zdarzeń była stosunkowo duża, jednak ze względu na niewielki ich udział w ogólnej liczbie przypadków, rola w odprowadzaniu materiału na stoku była relatywnie mała. Natomiast najwięcej materiału było przemieszczane podczas zdarzeń „średnich”, których było stosunkowo dużo i każde z nich powodowało przemieszczenie względnie dużej ilości materiału. Duża liczba zdarzeń nie decyduje o ich dużej efektywności morfologicznej. Opad o takich samych parametrach nie musi wywołać takiej samej liczby zdarzeń spłukiwania na poszczególnych stanowiskach oraz efektywność morfologiczna tych zdarzeń jest różna w katenie stokowej. Na stanowisku 2, w obrębie *pasa intensywnej erozji*, liczba zdarzeń jest mniejsza, ale ich efektywność morfologiczna – większa. W tej części stoku potrzebne są wyższe wartości progowe opadu do zaistnienia procesu. Liczba zdarzeń spłukiwania oraz całkowita ilość materiału przemieszczana na stanowiskach 1 i 5 są bardzo podobne. Natomiast zdecydowanie różnią się ilością transportowanego materiału podczas zdarzeń wywołanych przez opady o różnych cechach.

Podobne związki są widoczne, kiedy rozpatrujemy zależność ilości przemieszczanego materiału od natężenia opadu wywołującego zdarzenia. Opady o natężeniach do 0,02 mm/min wywołały od 15,8% (na stanowisku 2) do 26,9% zdarzeń spłukiwania (na stanowisku 1 i 5), natomiast spowodowały przemieszczanie odpowiednio od 0,6% (na stanowisku 2) do 5,7 i 5,5% (na stanowisku 1 i 5) materiału.

Na każdym stanowisku pomiarowym można wyznaczyć graniczną wartość wysokości, natężenia i czasu trwania opadu, poniżej której większa liczba pojedynczych zdarzeń odprowadza stosunkowo niewielką ilość materiału. Powyżej zaś – stosunkowo niewielka liczba zdarzeń powoduje przemieszczanie zdecydowanej większości materiału na wszystkich stanowiskach w obrębie stoku eksperymentalnego (ryc. 7A, B, C).

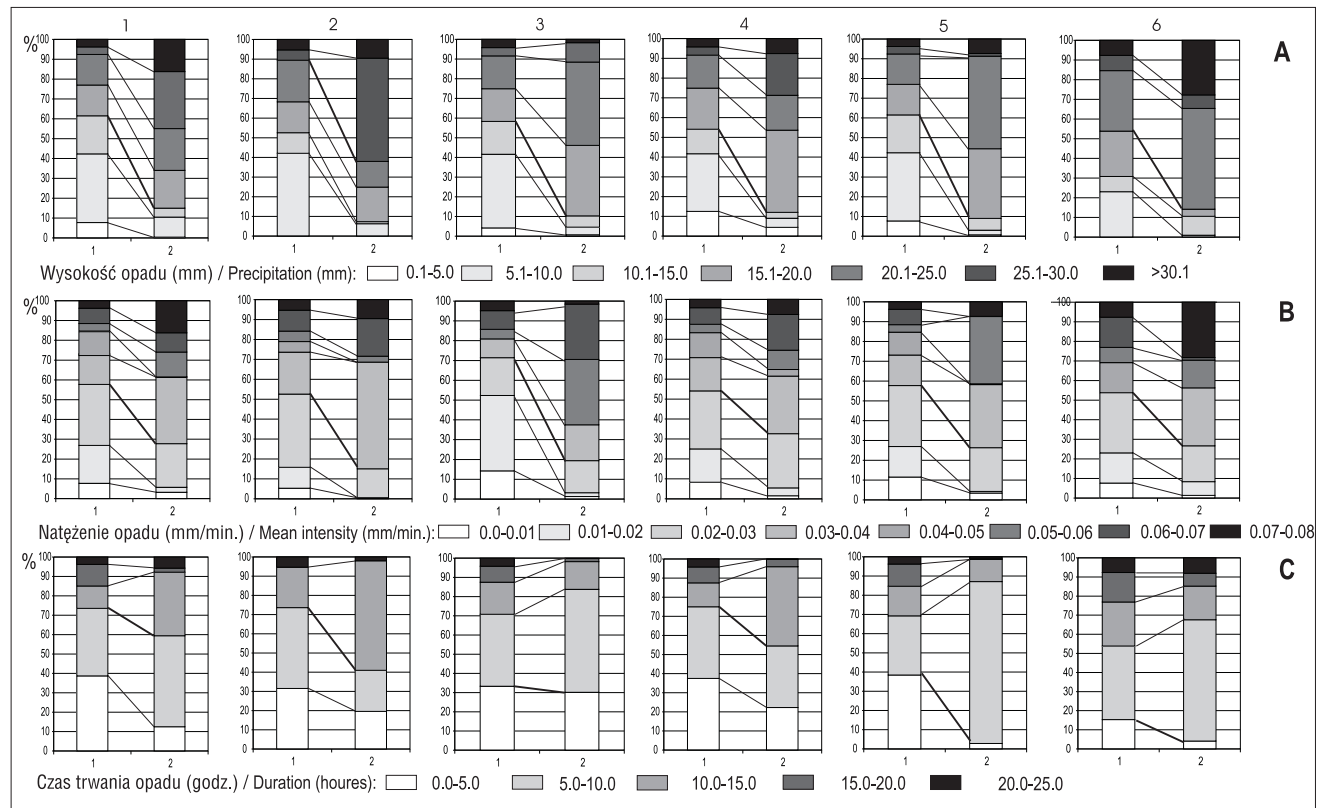
Istotną granicą wydaje się być wysokość opadu 15 mm. Liczba zdarzeń wywołanych na poszczególnych stanowiskach przez opady poniżej tej wartości wynosiła odpowiednio: na stanowisku 1-61,5%, na stanowisku 2-52,6%, na stanowisku 3-58,4%, na stanowisku 4-54,2%, na stanowisku 5-61,5% i na stanowisku 6-30,8%. Podczas tych zdarzeń przemieszczane było: na stanowisku 1 tylko 15% materiału, na stanowisku 2-7,3%, na stanowisku 3-10,3%, na stanowisku 4-12%, na stanowisku 5-9%, na stanowisku 6-10,6% materiału uruchamianego na stoku.

W przypadku zdarzeń wywołanych przez opady o określonym natężeniu wartością graniczną jest 0,03 mm/min. Opady o natężeniu poniżej 0,03 mm/min. wywoływały procentowo więcej zdarzeń spłukiwania, a powodowały przemieszczanie procentowo małej ilości materiału. Na stanowisku 1-57,7% zdarzeń przemieszczało 27,8% materiału, na stanowisku 2-52,6% zdarzeń przemieszczało 15,1% materiału, na stanowisku 3-58,3% zdarzeń przemieszczało 19,4% materiału, na stanowisku 4-54,2% zdarzeń przemieszczało 32,7% materiału, na stanowisku 5-57,7% zdarzeń



Ryc. 6. Liczba przypadków (w %) spłukiwania (A) oraz wielkość transportowanego materiału (B) (w %) na stoku eksperymentalnym podczas opadów o określonym czasie trwania.

Fig. 6. The number of slope wash events (A) (in %) and the total amount (in %) of slope wash material (B) on the experimental slope during rainfalls of variable durations.



Ryc. 7. Liczba przypadków (w %) spłukiwania (1) oraz wielkość (w %) transportowanego materiału (2) na poszczególnych stanowiskach na stoku eksperymentalnym podczas opadów o określonej wysokości (A), natężeniu (B) i czasie trwania (C).

Fig. 7. The number of soil wash events (1) (in %) and the amount of (in %) slope wash material (2) at particular sites on the experimental slope during rainfalls of a different amount (A), mean intensity (B) and duration (C).

przemieszczało 26,3% materiału, natomiast na stanowisku 6-53,9% zdarzeń przemieszczało 26,7% materiału.

Opady o natężeniu powyżej 0,03 mm/min. wywołały procentowo mniej zdarzeń spłukiwania. Procentowo mały udział zdarzeń spłukiwania spowodował przemieszczanie dużej ilości materiału: na stanowisku 1 – podczas 42,3% zdarzeń przemieszczone zostało 72,2% materiału i odpowiednio na stanowisku 2 – podczas 47,4% zdarzeń przemieszczone zostało 84,9% materiału, na stanowisku 3 – podczas 41,7% zdarzeń przemieszczone zostało 80,6% materiału, na stanowisku 4 – podczas 45,8% zdarzeń przemieszczone zostało 67,3% materiału, na stanowisku 5 – podczas 42,3% zdarzeń przemieszczone zostało 73,7% materiału, na stanowisku 6 – podczas 46,1% zdarzeń przemieszczone zostało 73,3% materiału.

Podczas zdarzeń spłukiwania wywołanych przez opady o określonym czasie trwania zależności między liczbą zdarzeń a ilością odprowadzanego materiału wydają się być mniej czytelne. Wartość graniczna była inna na poszczególnych stanowiskach. Na stanowisku 1, 3, 5 i 6 wartością graniczną był opad trwający do 5 godzin. Na stanowisku 1 przypadki spłukiwania spowodowane przez taki opad stanowiły 38,5% zdarzeń, a spowodowały uruchomienie 12,5% materiału, na stanowisku 3-33,3% zdarzeń, a spowodowały przemieszczenie 30,1% materiału, na stanowisku 5 stanowiły 38,5% zdarzeń, a uruchomiły 2,8% materiału, na 6 zaś stanowiły 15,4% zdarzeń, a spowodowały uruchomienie 4,1% materiału. Na stanowiskach 2 i 4 opady trwające zarówno do 5, jak i od 5 do 10 godzin miały większy udział w ogólnej liczbie zdarzeń i równocześnie przemieszczały mniej materiału. Na stanowisku 2 opady o tym czasie trwania wywołały 73,7% zdarzeń, a spowodowały przemieszczenie 41% materiału. Na stanowisku 4 stanowiły one 75% zdarzeń, a uruchomiły 54,7% materiału.

5. Wnioski

Na podstawie badań przeprowadzonych w obrębie stoku eksperymentalnego można stwierdzić, że proces spłukiwania jest procesem epizodycznym, zachodzącym stosunkowo rzadko. Dni z opadem stanowiły 42,4% w badanym okresie, natomiast dni, w których wystąpił spływ powierzchniowy i spłukiwanie – tylko 6,1% (pastwiskowa część stoku) i 3,0% (zadrzewiona krawędź).

Podczas każdego zdarzenia spływu powierzchniowego wystąpił proces spłukiwania na stoku eksperymentalnym. Nie zawsze występował on jednocześnie na wszystkich stanowiskach badawczych. Stąd wniosek, że opad o takich samych parametrach nawet w obrębie krótkiego i mało zróżnicowanego stoku nie będzie zawsze wywołać spłukiwania na całej jego długości. Zdaje się to potwierdzać tezę o nierównomiernym przemieszczaniu materiału na stoku.

Liczba przypadków spłukiwania nie zależała od typu konkretnego opadu, ale od cech morfologiczno-morfometrycznych stoku oraz jego użytkowania. W środkowej części stoku (*pas intensywnej erozji*) liczba przypadków spłukiwania była mniejsza, ale potrzebne były wyższe wartości progowe opadu (wysokość, natężenie i czas), by wywołać proces przemieszczania materiału. W środkowej części stoku efektywność morfologiczna opadów o wyższych parametrach była większa, czyli spowodowały one

przemieszczanie większej ilości materiału. Duża liczba zdarzeń spłukiwania nie musi jednak gwarantować przemieszczania dużej ilości materiału.

Dla poszczególnych odcinków kateny można wyznaczyć wartości graniczne wielkości, natężenia i czasu trwania opadu, powyżej których występuje procentowo niewielka liczba zdarzeń spłukiwania, natomiast podczas tych zdarzeń następuje przemieszczanie procentowo dużej ilości materiału. Poniżej zaś tej granicy zależność jest odwrotna. Opady wywołują procentowo dużą liczbę zdarzeń spłukiwania, podczas których następuje przemieszczanie niewielkiej ilości materiału.

Zdarzenia spłukiwania, które wystąpiły w badanym okresie, można podzielić na trzy grupy:

1. Zdarzenia spłukiwania, których było stosunkowo dużo, ale do wywołania których nie były potrzebne wysokie wartości progowe opadu, przy czym każde z tych zdarzeń powodowało przemieszczenie niewielkich ilości materiału, tak więc efektywność morfologiczna tych zdarzeń na stoku była bardzo mała.

2. Zdarzenia spłukiwania, których było mało, ale do wywołania których potrzebne były wysokie wartości progowe opadu, i podczas których następowało przemieszczanie dużej ilości materiału. Jednak ze względu na małą liczbę tych zdarzeń suma przemieszczanego przez nie materiału na stoku była również mała.

3. Zdarzenia spłukiwania, które wystąpiły stosunkowo często, do wywołania których potrzebne były pewne średnie wartości progowe opadu, i podczas których następowało przemieszczanie średniej ilości materiału. Procentowy udział tych zdarzeń w przemieszczaniu materiału na stoku był największy.

W badaniu procesu spłukiwania, który jest procesem epizodycznym, należy uwzględnić zarówno liczbę zdarzeń, jak i ich wielkość. Równocześnie należy rozróżnić częstość zdarzeń od ich morfologicznej efektywności. Nie zawsze zdarzenia największe mają największy udział w całkowitym przemieszczaniu materiału na stoku, jeśli zdarzają się bardzo rzadko.

Spłukiwanie zachodzi na stokach nawet o bardzo małym nachyleniu. Ilość przemieszczanego materiału zmienia się wraz z długością i nachyleniem stoku. Zależy również od kształtu stoku. W zależności od wysokości pojedynczego opadu, przepuszczalności podłoża i odległości od działu wodnego ilość spłukiwanego materiału jest zróżnicowana; może zarówno rosnąć, jak i zmniejszać się w dół stoku. Materiał spłukiwany podlega skokowemu przemieszczaniu w dół stoku. Podczas jednego zdarzenia bardzo rzadko następuje przemieszczenie materiału z górnego odcinka stoku aż do jego podnóża. W obrębie stoków można obserwować następstwo odcinków degradacji i depozycji, a procesem powszechnym jest redepozycja.

W obrębie stoku można wyróżnić dwa odcinki charakteryzujące się różną morfodynamiką. Są nimi górna, dłuższa (120 m) część stoku użytkowana jako pastwisko i dolna, krótka (13 m), zadrzewiona krawędź.

Środkowy odcinek stoku w części pastwiskowej podlega większej degradacji na skutek procesu spłukiwania niż pozostałe jego fragmenty. Akumulacja materiału glebowego zachodzi w obrębie spłaszczenia podstokowego oraz na granicy zadrzewionej krawędzi. W jej obrębie ilość przemieszczanego materiału jest znikoma,

a przemieszczanie następuje podczas zdarzeń o najwyższych parametrach opadów. Zadrzewiona krawędź stanowi więc swoistą barierę uniemożliwiająca dotarcie większej ilości materiału do dna doliny i koryta potoku.

Literatura

- Gerlach T., 1966, *Współczesny rozwój stoków w dorzeczu Górnego Grajcarcka (Beskid Wysoki)*, Prace Geogr. IG PAN, 52, 1-124.
- Gerlach T., 1976, *Współczesny rozwój stoków w polskich Karpatach Fliszowych*, Prace Geogr. IG PAN, 122, 1-116.
- Gil E., 1976, *Sptukiwanie gleby na stokach fliszowych w rejonie Szymbarku*, Dokumentacja Geogr., 2, 1-60.
- Gil E., 1986, *Rola użytkowania ziemi w przebiegu sptywu powierzchniowego i sptukiwania na stokach fliszowych*, Przegl. Geogr., 58, 1-2, 51-65.
- Kaszowski L., 1991, *Stacja Naukowa Instytutu Geografii UJ w Łazach - cele i zadania*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 83, 159-163.
- Kaszowski L., 1995, *Założenia metodologiczne i metodyczne projektu badawczego, [w:] Dynamika i antropogeniczne przeobrażenia środowiska przyrodniczego progu Karpat między Rabą a Uszwicką*, L. Kaszowski (red.), IG UJ, Kraków, 11-16.
- Klimaszewski M., 1978, *Geomorfologia ogólna*, PWN, Warszawa, 270-291.
- Słupik J., 1973, *Zróżnicowanie sptywu powierzchniowego na fliszowych stokach górskich*, Dokumentacja Geogr., 2, 1-112.
- Słupik J., 1981, *Rola stoku w kształtowaniu odpływu w Karpatach fliszowych*, Prace Geogr. IG PAN, 142, 1-98.
- Starkel L., 1996, *Geomorphic role of extreme rainfalls in the Polish Carpathians*, *Studia Geomorph. Carp.-Balc.*, 30, 21-38.
- Świąchowicz J., 1991, *Budowa geologiczna i rzeźba zlewni Starej Rzeki*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geogr., 83, 165-184.
- Świąchowicz J., 1992, *Naturalne i antropogeniczne uwarunkowania rzeźby w zlewni Starej Rzeki*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geogr., 88, 49-69.
- Świąchowicz J., 1995, *Opadowe uwarunkowania wystąpienia sptywu powierzchniowego w zlewni Starej Rzeki na Pogórzu Karpackim, [w:] Dynamika i antropogeniczne przeobrażenia środowiska przyrodniczego progu Karpat między Rabą a Uszwicką*, L. Kaszowski (red.), IG UJ, Kraków, 185-193.
- Świąchowicz J., 1998, *Sptukiwanie gleby na stoku eksperymentalnym w rejonie Łazów (Pogórze Wielickie)*, [w:] *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie i tendencje rozwoju geosystemów Polski*, A. Kostrzewski (red.), Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, 217-227.
- Wit-Jóźwik K., 1977, *Analiza deszczów w Szymbarku w latach 1969-1973 (w okresie od maja do września)*, Dokumentacja Geogr., 6, 23-67.

Rainfall conditions for soil wash occurrence on the slope in Łazy (Carpathian Foothills)

Summary

The paper presents the rainfall conditions for soil wash occurrence on the experimental slope in the Stara Rzeka foothill drainage basin. The investigation was carried out on the slope profile, which is 133 m long, from the local water divide (245 m a.s.l.) to the bottom of the valley at six measuring sites from August 1989 to October 1990. The slope is convex-concave and N-exposed. The angle of the upper part of the slope is 6.5° whilst that of the lower part is 4.5°. The slope steeply (14°) changes into the valley bottom, which is filled with both alluvia and deluvia and cut by the Dworski Potok channel. The analysed slope was used as a pastureland except for a tree-covered edge at the border between the pastureland and the valley bottom.

The analysis takes into account the differences in the amount of the material transported at particular sites during a single soil wash event in relation to the parameters of rainfall (amount, mean intensity, duration).

The slope wash process is occasional and occurs relatively seldom. The number of days with precipitation constituted 42.2% of the period of investigation but the number of days on which slope wash events occurred – only 6.1% (for the pastureland) and 3.0% (for the tree-covered edge).

The slope wash events did not take place simultaneously at all the sites. Thus the same rainfall occurring even within a short and uniform slope does not have to bring about the soil wash everywhere. It seems to confirm unequal transportation of the soil wash material on the slope.

The total number of slope wash events was not determined by the rainfall parameters (amount, mean intensity, duration) but by the hillslope shape and the vegetation cover.

In the middle part of the slope (*belt of erosion*) the number of slope wash events was smaller but there needed to be higher threshold values of the rainfall (amount, mean intensity, duration) in order to produce the transport of the material on the slope. In the middle part of the slope the morphological effectiveness of rainfall of higher parameters was greater. It means that it caused transport of larger amounts of the material. However, a large number of slope wash events does not have to result in transporting a significant amount of the material. For particular segments of the slope it is possible to establish thresholds of rainfall above which the number of slope wash events is relatively small. However, during these events the amounts of the transported material are relatively large. Below that threshold the relation is reverse. The rainfalls produce a relatively large number of slope wash events, during which the amounts of slope wash material are small.

Slope wash events, which took place in the period of investigation, fall into three categories:

1. Slope wash events, which took place relatively often but did not require high threshold values of rainfall to occur. However, each soil wash event caused transport

of insignificant amounts of the material so that the overall morphological effectiveness of the events on the slope was relatively small.

2. Slope wash events, which were not numerous but required high threshold values of rainfall to occur, and during which large amounts of the material were transported. Due to the small number of the events, the total amount of the material transported by them was also small.

3. Slope wash events, which occurred quite often and required medium threshold values to take place, and during which medium amounts of the material were transported. The events were responsible for the transport of the largest amounts of the material on the slope.

When studying the process of slope wash, which is occasional, the number of the events as well as their intensity have to be considered. At the same time, the frequency of the events and their morphological effectiveness should be taken into account. The most intensive events, if they occur very seldom, do not always have the greatest influence on the total transport of the material on the slope.

Slope wash occurs even on gentle slopes. The amounts of the transported material change in relation to the length of the slope and its shape. Degradational processes resulting from slope wash are greater in the midslope segment which is used as a pastureland than in the other segments on the slope. The soil material is accumulated within the area of flattened footslope and at the border with the tree-covered edge. Within the tree-covered edge the amounts of the material are insignificant and their transport takes place only during rainfalls of the highest intensity. Thus the tree-covered edge constitutes kind of a barrier preventing larger amounts of the material from reaching the valley bottom and the stream channel.

In relation to a single rainfall, infiltration of soil and the distance from the watershed, the amount of the slope wash material is different; it may either increase or decrease down the slope. During a single slope wash event the transport of the material from the upper part of the slope to the foothill is very rare. Down the slope degradational segments alternate with depositional ones.

Translated by Alicja Waligóra-Zblewska

*Jolanta Święchowicz
Zakład Geomorfologii Instytutu Geografii Uniwersytetu Jagiellońskiego
ul. Grodzka 64, 31-044 Kraków*