

## ***Rola procesów ekstremalnych w transformacji stoków pogórskich (na przykładzie zlewni Dworskiego Potoku)***

### **Wstęp**

W obrębie progów Pogórza Karpat dużą rolę w przekształcaniu stoków odgrywa spłukiwanie. Spowodowane jest to powszechnym występowaniem pyłowych utworów lessopodobnych i rolniczym użytkowaniem tego obszaru. Wystąpienie spłukiwania oraz jego morfologiczna skuteczność zależą od częstotliwości, wysokości, intensywności oraz czasu trwania opadu.

Opad nie zawsze wywołuje spłukiwanie na całej powierzchni wszystkich stoków w zlewni, a przemieszczanie materiału jest procesem nierównomiernym i niejednoczesnym. Częstość występowania spłukiwania oraz jego morfologiczna efektywność zależy głównie od stopnia pokrycia stoków przez roślinność oraz stanu powierzchni gruntu w okresie bezpośrednio poprzedzającym wystąpienie procesu (Świąchowicz 2000a,b, 2001, 2002a,b,c). Zdaniem wielu autorów decydującą rolę w transformacji rzeźby odgrywają opady ekstremalne (Gil, Starkel 1979; Starkel 1986, 1996; Kotarba 1994, 1998; Starkel i in. 1997; Śnieżko 1997; Gil 1998; Rodzik i in. 1998), ale również i ich skutki działania są zróżnicowane.

Dotychczasowe badania prowadzone przez wielu autorów wskazują, że nie ma jednej wartości progowej decydującej o uruchomieniu procesu. Każdy obszar posiada bowiem swoje uwarunkowania zarówno klimatyczne, jak i związane z podłożem (Kotarba 1998; Świąchowicz 2000b). Poznanie wartości progowych opadu, który powoduje uruchomienie procesu spłukiwania na stokach i trwałe zmiany morfologiczne w ich obrębie ułatwia określenie prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń ekstremalnych.

Wartości progowe opadu wywołujące spłukiwanie są różne dla poszczególnych odcinków stoków i zmieniają się w ciągu roku. Największą rolę w transformacji stoków odgrywają opady, które powodują powszechne spłukiwanie w całym profilu podłużnym niektórych, bądź wszystkich stoków w zlewni. Spłukiwanie w zależności od struktury upraw może zachodzić zarówno powierzchniowo, jak i linijsie. Erozja linijsza osiąga największe rozmiary na polach zajętych pod uprawy okopowe, o kierunku orki zgodnym ze spadkiem terenu (Świąchowicz 2000b, 2001, 2002a, b, c).

Celem artykułu jest charakterystyka form liniowych powstałych na stokach w wyniku procesu splukiwania podczas opadów, które wystąpiły w maju i czerwcu 2002 r. w zlewni Dworskiego Potoku, położonej w obrębie proggu Pogórza Karpackiego.

## Obszar i metoda badań

Badania przeprowadzono w zlewni Dworskiego Potoku (0,3 km<sup>2</sup>), która położona jest w obrębie niższego stopnia proggu Pogórza Karpat i charakteryzuje się typem rzeźby pogórzy niskich (Ryc. 1a, b). W jej obrębie można wyróżnić płaskie aluwialne dno o szerokości 10-100 m, rozcięte korytem do głębokości 0,5-1,0 m. Dno doliny, na całej niemal długości, oddzielone jest od stoków wyraźną krawędzią, która powstała w wyniku rolniczej uprawy stoków (Ryc. 1c). Stoki w zlewni mają kształty wypukło-wklęsłe lub proste, ich nachylenia najczęściej wynoszą 3-6°. U podnóży stoków występują spłaszczenia, które są rezultatem akumulacji materiału splukiwanego ze stoków. Kształt i nachylenia stoków związane są z dużą plastycznością powszechnie w tym obszarze występujących utworów lessopodobnych, które charakteryzują się znaczną zawartością frakcji pylastej (50-70%) oraz stosunkowo dużym (20%) udziałem iłu koloidalnego ( $\varnothing < 0,002$  mm) wynoszącym od 8-18% (Skiba i in. 1995).

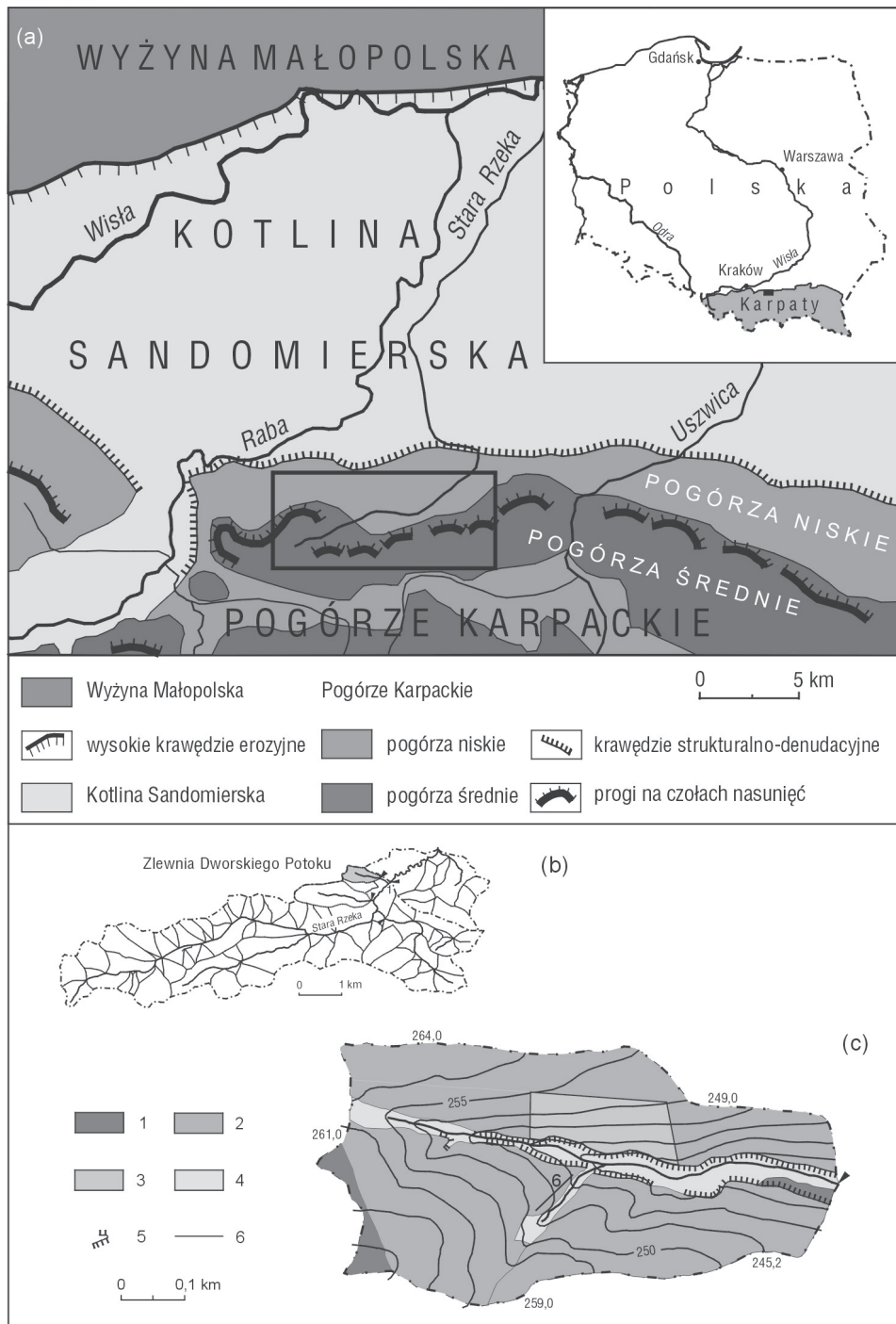
Zlewnia Dworskiego Potoku niemal w całości jest użytkowana rolniczo. Lasy zajmują tylko 2,5%, powierzchni zlewni, a nieużytki 11,7% (Ryc. 1c). W okresie badań dominującą uprawą na gruntach ornych w zlewni Dworskiego Potoku były buraki cukrowe (*Beta vulgaris*).

W artykule wykorzystano wyniki kartowania form powstałych na stokach po opadach, które miały miejsce w maju i w czerwcu 2002 roku. W ramach przeprowadzonych badań zarejestrowano powstałą w wyniku splukiwania liniowego formę oraz wykonano jej profil podłużny i dwadzieścia jeden przekrojów poprzecznych. Pomiarzy zostały powtórzone w tych samych przekrojach poprzecznych formy po opadach mających miejsce w lipcu tego samego roku. Uzyskane wyniki pozwoliły na pokazanie kierunku i tempa przekształcania istniejącej już formy, podczas kolejnych intensywnych opadów.

Charakterystykę opadów przeprowadzono na podstawie – wykonanych na posterunku meteorologicznym Stacji Naukowej IGiGP UJ w Łazach – codziennych pomiarów sum opadów w latach 1987-2001. Szczegółową charakterystykę poszczególnych deszczów w 2002 roku przeprowadzono w oparciu o materiały pluwiograficzne, obejmujące miesiące od maja do września.

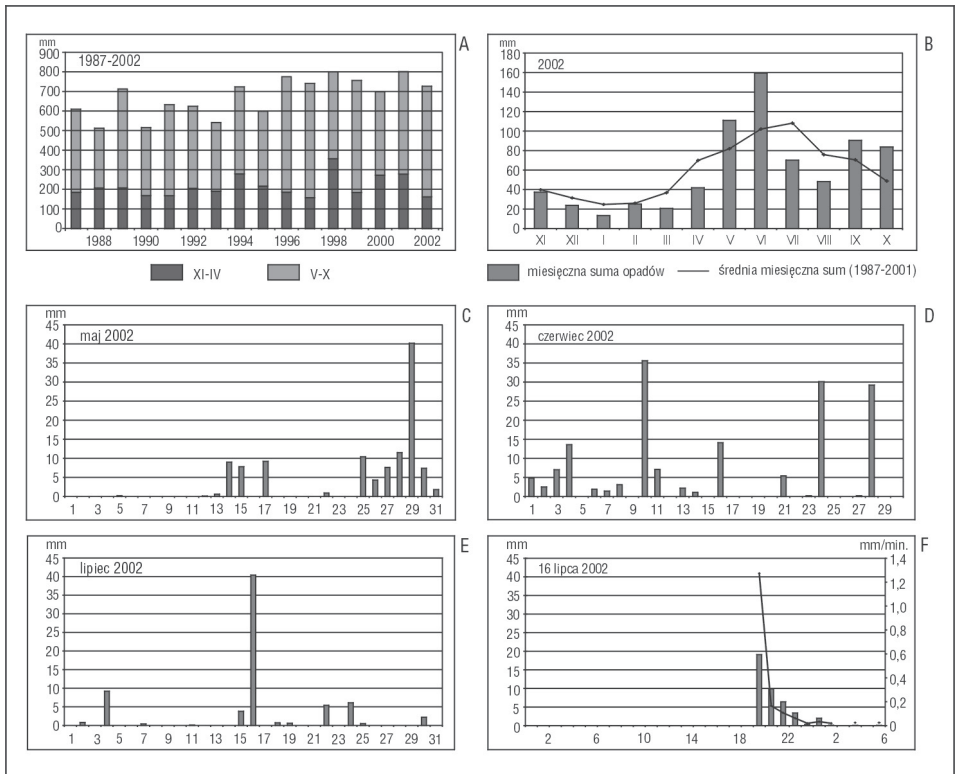
---

Ryc. 1. (a) Położenie obszaru badań (według S. Gilewskiej, L. Starkla 1988; Starkla 1988). (b) Lokalizacja zlewni Dworskiego Potoku (c) użytkowanie ziemi w zlewni Dworskiego Potoku: 1 – lasy, 2 – grunty orne, 3 – łąki, 4 – roślinność hydrofilna (nieużytki), 5 – krawędzie, 6 – badany stok.



## Charakterystyka opadów

W 2002 roku średnia roczna suma opadów wynosiła 725,4 mm, co stanowiło blisko 110% średniej rocznej sumy opadów (667,4 mm) dla szesnastolecia 1987-2001 obliczonej w oparciu o pomiary wykonane na posterunku meteorologicznym Stacji IG UJ w Łazach (Ryc. 2A). Najwyższe miesięczne sumy opadów zanotowano w czerwcu (159,5 mm) i maju (111,0 mm) co stanowiło odpowiednio 22% i 15,3% rocznej sumy opadów w tym roku. W maju suma opadów stanowiła 149%, a w czerwcu 175% (Ryc. 2B) średniej miesięcznej sumy z wielolecia (1987-2001).



Ryc. 2. Charakterystyka opadów (Stacja Naukowa IGiGP UJ w Łazach k/Bochni)

- A – roczne sumy opadów w latach hydrologicznych 1987-2002,
- B – miesięczne sumy opadów w roku hydrologicznym 2002,
- C – dobowe sumy opadów w maju 2002 roku,
- D – dobowe sumy opadów w czerwcu 2002 roku,
- E – dobowe sumy opadów w lipcu 2002 roku,
- F – wysokość oraz średnie natężenie opadów w dniu 16 lipca 2002 roku.

Od 28 do 30 maja spadło 59,1 mm deszczu co stanowiło nieco ponad połowę miesięcznej sumy opadów. Opad trwał ponad 25 godzin, a jego maksymalna intensywność wynosiła 1,2 mm/min (Ryc. 2C). W czerwcu trzykrotnie miały miejsce intensywne opady: od 10 do 11 czerwca, o wydajności 42,7 mm, 24 czerwca o wydajności 30,1 mm oraz 28 czerwca o wydajności 29,2 mm (Ryc. 2D). Dnia 16 lipca wystąpił kolejny opad. W ciągu niecałych 6 godzin spadło 41,3 mm wody. W początkowej fazie opad osiągnął najwyższą intensywność wynoszącą prawie 1,3 mm/min. Opad ten stanowił prawie 59% miesięcznej sumy opadów (Ryc. 2E, F).

## Skutki ekstremalnych opadów w zlewni Dworskiego Potoku

W roku 2002 dominującą uprawą na gruntach ornych w zlewni Dworskiego Potoku były buraki cukrowe (*Beta vulgaris*), które wysiewa się siewnikami w rozstawie 40-50 cm w pierwszej lub drugiej dekadzie kwietnia (Fot. 1). Wschody buraków następują 7-20 dni od wysiewu. Pierwsze ukazują się dwa liścienie, a po 7-10 dniach pierwsza para liści. Kiedy roślina posiada 4 liście wykonuje się przerywkę, po wykonaniu której odstęp między burakami w rzędzie wynosi od 20-25 cm. Tak więc przez długi okres czasu spulchniona gleba pozbawiona jest ochronnej pokrywy liści.

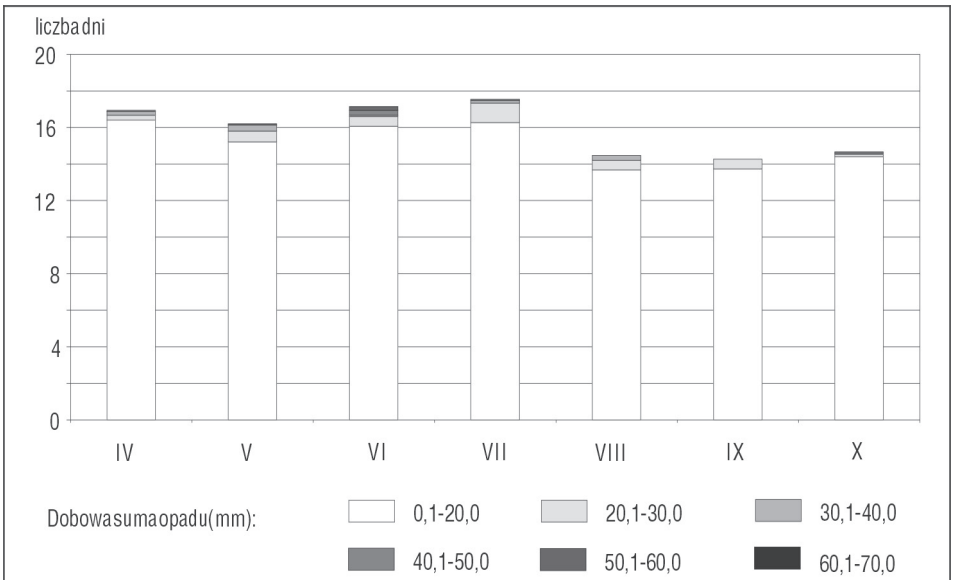
Dnia 29 maja 2002 r. wystąpił opad o sumie 40,2 mm i średnim natężeniu wynoszącym prawie 0,04 mm/min. Opady, które miały miejsce w maju spowodowały spłukiwanie powierzchniowe i linijne, którego efektem był między innymi zbieżny system bruzd erozyjnych, które po połączeniu stały się główną drogą odpływu wody i transportu materiału glebowego (Fot. 1). U wylotu bruzdy, w obrębie spłaszczenia podstokowego powstał rozległy stożek deluwalny (Fot. 2). Bruzda erozyjna, funkcjonowała podczas kolejnych większych opadów, niezależnie od stopnia pokrycia obszaru przez roślinność 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. Po opadzie, który miał miejsce 28 czerwca, długość bruzdy erozyjnej wynosiła nieco ponad 30 m, a maksymalna głębokość – 68 cm (Fot. 3). Rozmywanie gleby ornej doprowadziło do powstania schodowego profilu podłużnego bruzdy, z licznymi wannami i kociołkami eworsyjnymi, a stożek deluwalny został nadbudowany. Dnia 16 lipca miał 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 linijnego nastąpiło pogłębienie bruzdy erozyjnej maksymalnie do 120 cm oraz wzrost szerokości formy w jej środkowym i dolnym odcinku. Nastąpiło również uprzątnięcie pakietów materiału glebowego pochodzącego z obrywania się jej brzegów i przesunięcie początku bruzdy erozyjnej w górę stoku (Fot. 4, 5).

Opisana głęboka bruzda erozyjna jest incydentalnym przykładem skutków spłukiwania linijnego na stoku w obrębie zlewni, a jej powstanie było wynikiem opadu o dużej wydajności (suma dobowa 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. Jednak opisane opady, które doprowadziły do głębokiej transformacji stoku w zlewni Dworskiego Potoku nie wywołały podobnych skutków w przeobrażaniu stoków w sąsiedniej zlewni Brzeźnickiego Potoku. W zlewni tej na stokach występują wąskie i długie pola, przy czym bok dłuższy jest prostopadły do poziomicy, a kierunek orki zgodny ze spadkiem powierzchni. Pola te należą do różnych właścicieli i podzielone są na działki rozmaicie użytkowane. Dlatego przemieszczanie splukiwanego materiału następowało w obrębie działek na niewielkie odległości, a jego akumulacja zwykle w ich dolnej części. Gleba odprowadzana z działek bezpośrednio przylegających do dna doliny deponowana była w obrębie podstokowych równin deluwalnych lub w samym dnie doliny.

Tak więc w transformacji stoków większą rolę odgrywa sposób użytkowania ziemi, powierzchnia upraw oraz faza wzrostu roślin w okresie wystąpienia opadów niż parametry opadów. Opad o takich samych cechach (suma, natężenie i czas trwania) wywołuje inne skutki na stokach w zależności od ich rolniczego użytkowania. Odporność podłoża na rozmywanie zależy bowiem od rodzaju roślinności oraz od przestrzennej struktury upraw.

Opady, które wywołały powstanie bruzdy erozyjnej na stokach w zlewni Dworskiego Potoku, są zdarzeniami sporadycznymi. W ciągu 15 lat obserwacji opady o dobowych sumach przekraczających 40 mm miały miejsce w zlewni 12 razy, przy



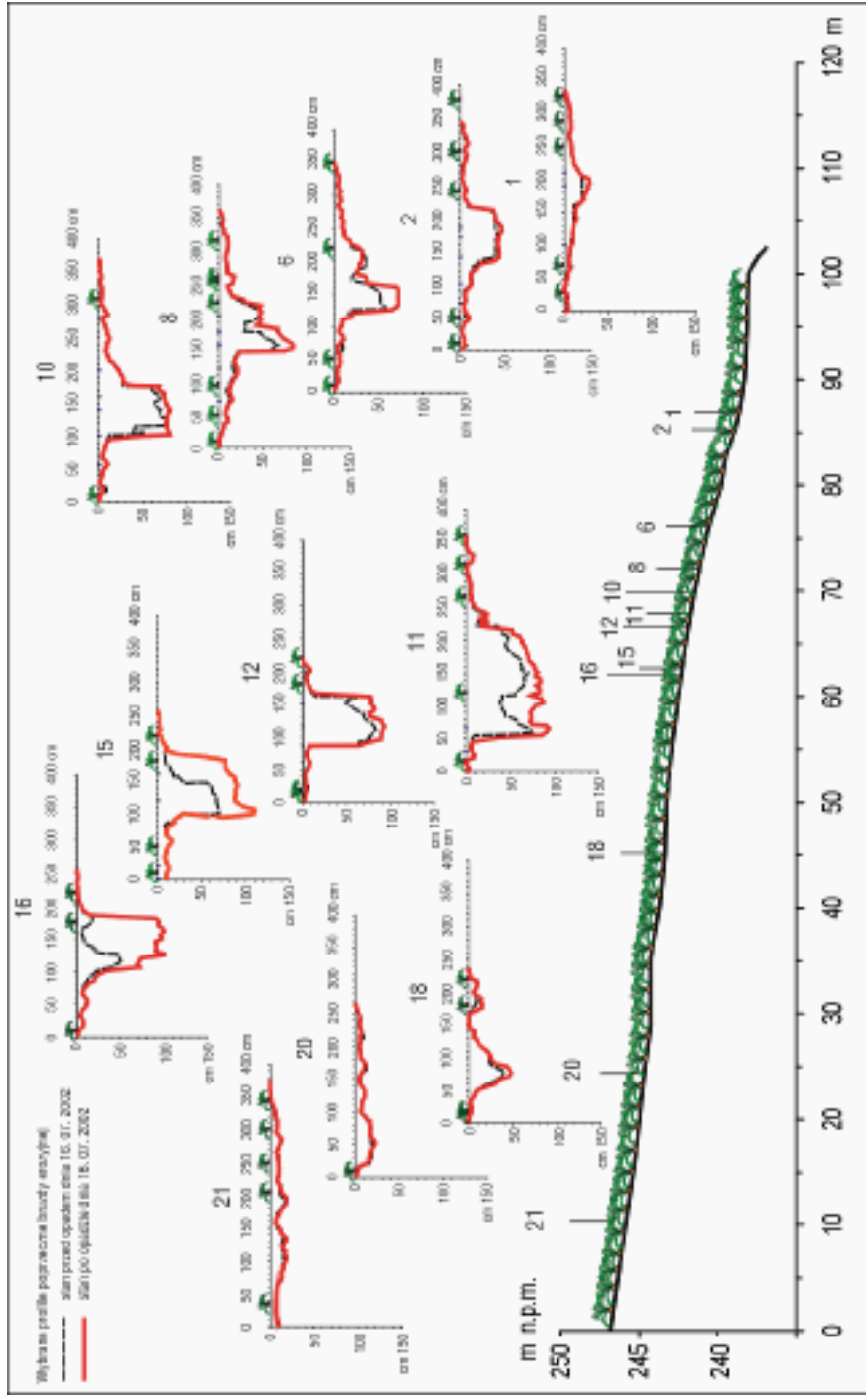
Ryc. 3. Liczba dni z dobową sumą opadu wynoszącą: 0,1-20 mm, 20,1-30 mm, 30,1-40 mm, 40,1-50 mm, 50,1-60 mm, powyżej 60 mm w latach hydrologicznych 1987-2001 (Stacja Naukowa IGiGP UJ)



Fot. 1. Formy erozyjne na polu buraczanym w zlewni Dworskiego Potoku  
(fot. J. Święchowicz)

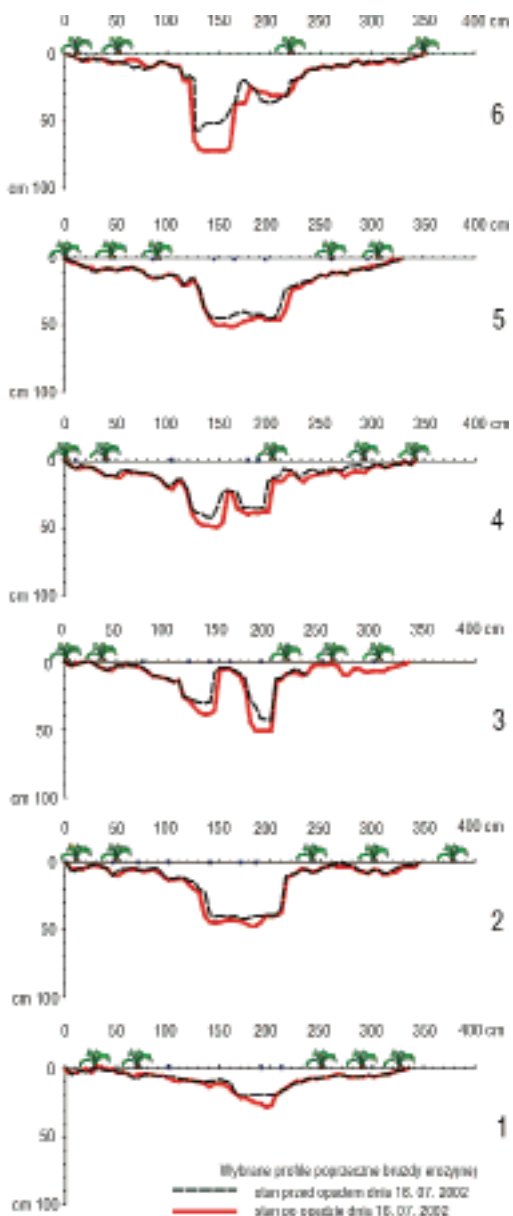


Fot. 2. Fragment stożka deluwialnego zdeponowanego u podnóża stoku, na którym uprawiano buraki cukrowe  
(fot. J. Święchowicz)

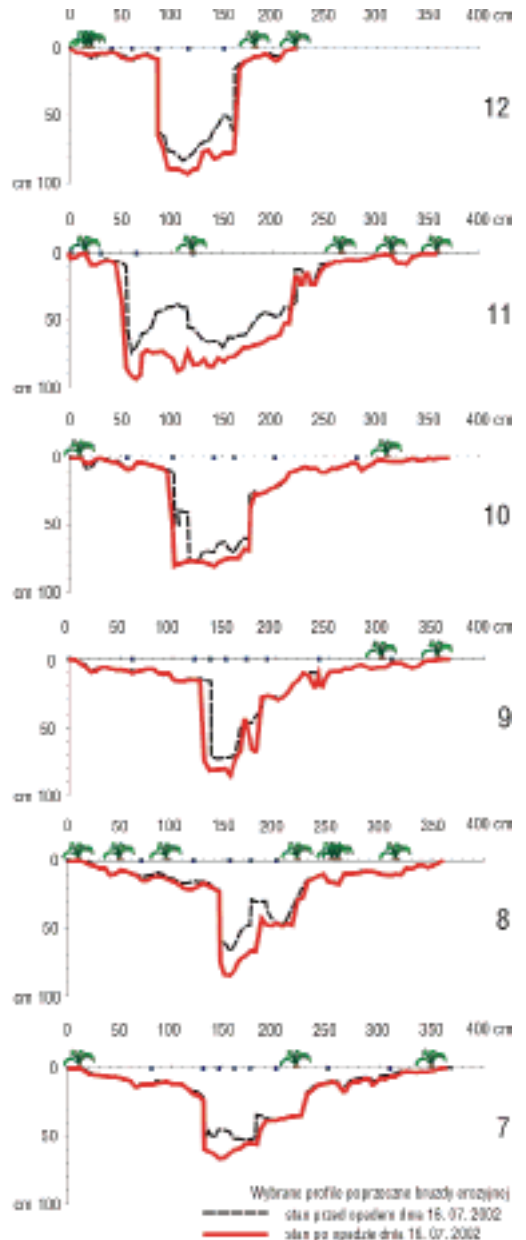


Fot. 3. Profil podłużny stoku i wybrane przekroje poprzeczne brzozy erozyjnej w zlewni Dworskiego Potoku





Fot. 4. Zlewnia Dworskiego Potoku – skutki splukiwania na polu buraków (przekroje 1-6) po opadach w lipcu 2002 roku (fot. J. Świąchowicz)



Fot. 5. Skutki spłukiwania na polu buraków (przekroje 7-12) w zlewni Dworskiego Potoku po opadach w lipcu 2002 roku (fot. J. Świąchowicz)

czym najczęściej występowały w czerwcu (7 przypadków), kiedy większość stoków pokryta była w dostatecznym stopniu przez roślinność (Ryc. 3). Natomiast obsianie tak dużej powierzchni zlewni burakami cukrowymi było jedynym, w ciągu 15 lat, przykładem takiego użytkowania ziemi. Wystąpienie zaś, przy tym typie użytkowania, w stosunkowo krótkim czasie 5 opadów o dobowych sumach przekraczających 30 mm (w tym dwóch o sumach powyżej 40 mm) doprowadziło do głębokiej transformacji stoków w zlewni.

Jednak powstałe wtedy formy erozyjne nie były trwałe. Funkcjonowały tylko w okresie sezonu wegetacyjnego i zostały usunięte po zbiorze buraków cukrowych przez zabiegi agrotechniczne.

## Wnioski

Na stokach pogórskich użytkowanych rolniczo istotnym procesem jest splukiwanie, którego działanie, w większości przypadków, polega na przemieszczaniu materiału mineralnego na niewielkie odległości w profilu podłużnym stoku podczas pojedynczych opadów. Morfologiczna efektywność opadów deszczowych powodujących splukiwanie na stokach jest zróżnicowana i zależy głównie od rodzaju roślinności i przestrzennej struktury upraw.

Incydentalne ekstremalne opady powodują powstawanie nowych form oraz istotne zmiany cech morfometrycznych w obrębie istniejących już na stokach form erozyjnych. Zmiany te polegają głównie na pogłębianiu i zwiększaniu ich szerokości, co w konsekwencji prowadzi do bocznego cofania się stoków. Materiał splukiwany ze stoków akumulowany jest u ich podnóża w obrębie spłaszczeń podstokowych lub w dnie doliny w postaci stożków deluwialnych, co prowadzi do nadbudowywania i poszerzania spłaszczeń podstokowych i podkreślenia kontrastów morfologicznych pomiędzy stokami a dnem doliny.

Jednak powstałe wtedy formy erozyjne nie są trwałe i najczęściej są szybko usuwane przez zabiegi agrotechniczne lub funkcjonują tylko w okresie sezonu wegetacyjnego.

## Literatura

- 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.
- Gil E., Starkel L., 1979, *Long-term extreme rainfalls and their role in the modelling of flysch slopes*, *Studia Geomorph. Carpatho-Balcan.*, 13.
- Gilewska S., Starkel L., 1988, *Geomorfologia*, [w:] K. Trafas (red.), *Atlas Miejskiego Województwa Krakowskiego*, PAN, Kraków.
- Kotarba A., 1994, *Geomorfologiczne skutki katastrofalnych letnich ulew w Tatrach Wysokich*, *Acta Univ. N. Copernici, Geografia* 27, *Nauki Matem.-Przyr.*, 92.
- Kotarba A., 1998, *Morfogenetyczna rola opadów deszczowych w modelowaniu rzeźby Tatr podczas letniej powodzi w roku 1997*, *Dokum. Geogr.*, 12.

- Rodzick 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.
- Skiba S., Drewnik M., Klimek M., 1995, *Gleby pyłowe progę Pogórza Karpackiego między Rabą a Uszvicą*, [w:] L. Kaszowski (red.), *Dynamika i antropogeniczne przeobrażenia środowiska przyrodniczego Progu Karpat między Rabą a Uszvicą*, IG UJ, Kraków.
- Starkel L., 1986, *Rola zjawisk ekstremalnych i procesów sekularnych w ewolucji rzeźby (na przykładzie fliszowych Karpat)*, Czasop. Geogr., 57.
- Starkel L., 1988, *Rzeźba*, [w:] J. Warszńska (red.), *Województwo tarnowskie – monografia*, Kraków: PAN.
- Starkel L., 1996, *Geomorphic role of extreme rainfalls in the Polish Carpathians*, *Studia Geomorph. Carpatho-Balcan.*, 30.
- Starkel L., Czyżowska E., Rutkowski J., 1997, *Rola opadów ulewnych w przekształcaniu rzeźby*, [w:] L. Starkel (red.), *Rola gwałtownych ulew w ewolucji rzeźby Wyżyny Miechowskiej (na przykładzie ulewy w dniu 15 września 1995 roku)*, Dokum. Geogr. IG PAN, 8.
- Śnieszko Z., 1997, *Stan badań nad historyczną erozją gleb nalessowych w Polsce*, [w:] L. Starkel (red.), *Rola gwałtownych ulew w ewolucji rzeźby Wyżyny Miechowskiej (na przykładzie ulewy w dniu 15 września 1995 roku)*, Dokum. Geogr. IG PAN, 8.
- Święchowicz J., 2000a, *Opadowe uwarunkowania wystąpienia spłukiwania na stoku eksperymentalnym w rejonie Łazów (Pogórze Wielickie)*, Zesz. Nauk. UJ, Pr. Geogr., 105.
- Święchowicz J., 2000b, *The threshold conditions for slope wash processes in the foothill catchment (Carpathian Foothills, South Poland)*, *Studia Geomorph. Carpatho-Balcan.*, 34.
- Święchowicz J., 2001, *Rola stoków i den dolin w odprowadzaniu zawiesiny ze zlewni pogórskiej*, [w:] W. Chełmicki (red.), *Przemiany środowiska na Pogórzu Karpackim. Procesy, gospodarka, monitoring*, IG UJ, Kraków.
- Święchowicz 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.
- Święchowicz J., 2002b, *Linkage of slope wash and sediment and solute export from foothill catchment in the Carpathian Foothills of South Poland*, *Earth Surface Processes and Landform*, 27.
- Święchowicz J., 2002c, *Współdziałanie procesów stokowych i fluwialnych w odprowadzaniu materiału rozpuszczonego i zawiesiny ze zlewni pogórskiej*, *Przemiany środowiska na Pogórzu Karpackim*, 3.

## ***Role of extreme processes in slope transformation in the Carpathian Foothills***

### ***Summary***

This paper presents linear forms developed as a result of slope wash in the Dworski Stream catchment (the Carpathian Foothills) in May, June and July 2002. The rate and the direction of the transformation of the existing forms during intensive precipitation have been described.

It has been determined that morphologic effects of the precipitation causing the slope wash is predicated mainly on the vegetation cover in particular areas. Sporadic extreme precipitation causes important morphometric changes within the existing erosion forms, the most important of which are increasing their depth and width. Slope wash material accumulates in the footslope parts or on the bottom of the valley as deluvial fans. That causes a buildup and widening of footslope parts. A clear morphological contrast between the slopes and the bottom of the valley is thus created.

*Translated by author*

*Jolanta Świąchowicz  
Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej  
Uniwersytet Jagielloński*

