

Rola płytkich ruchów osuwiskowych w kształtowaniu stoków fliszowych (na przykładzie Beskidu Wyspowego i Bieszczadów)*

*The role of shallow landslides in transforming flysch slopes
(as exemplified by the Beskid Wyspowy and Bieszczady Mountains)*

ELŻBIETA GORCZYCA

Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński,
30-387 Kraków, ul. Gronostajowa 7; e.gorczyca@geo.uj.edu.pl

Zarys treści. Procesy osuwiskowe są najbardziej efektywne morfotwórczo w kształtowaniu stoków Karpat fliszowych (Starkel, 1960). Przy obecnych warunkach klimatycznych i sposobie zagospodarowania stoków najczęściej inicjowane są płytkie ruchy osuwiskowe. W artykule podjęto próbę oceny znaczenia płytkich ruchów osuwiskowych, uaktywnianych podczas ekstremalnych zdarzeń pogodowych w przekształcaniu stoków fliszowych. Rolę płytkich ruchów osuwiskowych w kształtowaniu stoków beskidzkich przedstawiono na przykładzie dorzecza Łososiny (Beskid Wyspowy) i dorzecza Hoczewki (Bieszczady).

Słowa kluczowe: ruchy osuwiskowe, Beskid Wyspowy, Bieszczady, stoki fliszowe, ekstremalne zdarzenia pogodowe, wartości progowe.

Wstęp

Osuwanie¹ jest procesem często występującym na stokach karpackich, szczególnie w Beskidzie Wyspowym, Beskidzie Niskim oraz w niektórych rejonach Pogórza, gdzie proces ten odgrywa znaczącą rolę rzeźbotwórczą (Starkel, 1960). Szczególnie predysponowane do osuwania są te obszary, gdzie występują kompleksy piaskowców oraz grube pokrywy stokowe podścielone łupkami. Rezultatem procesu osuwania jest – według L. Starkla (1960) – zasadnicza zmiana

* Artykuł zawiera wstępne wyniki badań przeprowadzonych w ramach grantu PBZ-KBN-086/P04/2003.

¹ W niniejszym opracowaniu do form osuwiskowych zaliczono także formy niewykształcające powierzchni poślizgu (np. spływy). Oparto się na definicji osuwisk występującej w literaturze angielskiej. Regułą jest w niej bowiem posługiwanie się terminem *landslides* na określenie całości ruchów masowych – *mass movements* (Varnes, 1978; Crozier, 1986). W literaturze polskiej szerszym znaczeniem pojęcia osuwisko posługuje się W. Margielewski (2004).

kształtu stoków. Z pierwotnego stoku wypukłego czy też wypukło-wklęsłego powstaje stok wklęsły.

Najistotniejszym czynnikiem klimatycznym decydującym o wystąpieniu, typie i intensywności ruchów osuwiskowych są opady atmosferyczne. Szczególne znaczenie w uaktywnianiu ruchów osuwiskowych na stokach mają opady o dużym natężeniu. Wielokrotnie stwierdzano ścisły związek pomiędzy koncentracją osuwisk w danym rejonie a zasięgiem lokalnych ulew (Starkel, 1960, 1998; Jakubowski, 1968, 1974; Ziętała, 1968, 1975; Mrozek i inni, 2000; Lach i Lewik, 2002). Sugerowano nawet, że w Karpatach fliszowych periodyczność powstawania osuwisk nawiązuje do powtarzalności okresów wzmożonych opadów atmosferycznych (Jakubowski, 1974).

Według M. J. Croziera (1986) wyjaśnieniem pojawiania się osuwisk zwietrzelinowych „z dnia na dzień” jest zmienny stopień saturacji pokryw stokowych. Podobnie K. Jakubowski (1964) wiąże powstawanie płytkich osuwisk zwietrzelinowych w Karpatach fliszowych z wystąpieniem gwałtownych i obfitych opadów, trwających krótko – zwykle 2–3 dni. Zatem tworzenie się płytkich osuwisk nie musi wiązać się koniecznie z tzw. „latami mokrymi”, o bardzo wysokich sumarycznych opadach w miesiącach letnich. Również badania prowadzone w Piemontie we Włoszech (Govi i Sorzana, 1980) ukazały ścisły związek między występowaniem opadów o dużym natężeniu a uaktywnianiem osuwisk. Szczegółowa analiza ekstremalnych zdarzeń pogodowych, ich zasięgu i skuteczności w modelowaniu rzeźby stoków fliszowych pozwala na określenie warunków progowych uaktywniania procesów osuwiskowych.

Beskid Wyspowy i Bieszczady są jednymi z obszarów, w których ekstremalne zdarzenia meteorologiczne przekształcały system stokowy w ostatnim dziesięcioleciu. W latach 1997–2000 w dorzeczu Łososiny (Beskid Wyspowy) miały miejsce trzy zdarzenia opadowe i roztopowe, które przyczyniły się do uaktywnienia procesów osuwiskowych na stokach (Gorczyca, 2004). W lipcu 2005 r. miało miejsce ekstremalne zdarzenie opadowe, które przyczyniło się do dużego przekształcenia rzeźby w dorzeczu Hoczewki i rejonie Jeziora Solińskiego w Bieszczadach (Gorczyca i Krzemień, 2006).

Celem opracowania jest próba określenia roli, jaką płytkie ruchy osuwiskowe inicjowane w okresie 1997–2005 odegrały w kształtowaniu systemu stokowego w badanych obszarach. Wspomniane powyżej wyniki wcześniejszych badań sugerują, że rzeźbotwórcza rola tych procesów jest efektem ich dużej powtarzalności, wynikającej ze współczesnych warunków klimatycznych w Karpatach. Dlatego przeanalizowano szczegółowo sytuacje pogodowe, które spowodowały uaktywnienie procesów osuwiskowych. Wyniki tej analizy posłużyły do przedyskutowania zawartych w literaturze przedmiotu progowych wartości opadu, inicjującego płytkie ruchy osuwiskowe na stokach fliszowych.

Obszary badań

Obydwa obszary badań leżą w Karpatach zewnętrznych (fliszowych). Pierwszy z nich znajduje się w dorzeczu Łososiny w Beskidzie Wyspowym, drugi zaś w dorzeczu Hoczewki i w rejonie Jeziora Solińskiego w Bieszczadach (ryc. 1).



Ryc. 1. Położenie obszarów badawczych (na podstawie: Balon i inni, 1995)

Study areas (based on: Balon et al., 1995)

Łososina jest lewostronnym dopływem Dunajca. Obszar jej zlewni zbudowany jest głównie ze skał fliszowych płaszczowiny magurskiej wieku głównie kredowego i paleogeńskiego (Cieszkowski, 1992). Wschodnia część dorzecza Łososiny należy do tzw. strefy Michalczowej – struktury geologicznej ukośnej do głównego, równoleżnikowego kierunku struktur karpackich (Cieszkowski, 1992). Obszar badań obejmuje środkową i wschodnią część dorzecza Łososiny – o powierzchni 241 km², co stanowi około 60% jego terytorium. Badana część dorzecza Łososiny, od Tymbarku do ujścia do zbiornika czchowskiego, leży na wysokości od 905 do 230 m n.p.m. Rzeźba badanej części Beskidu Wyspowego nawiązuje do litologii budujących ją utworów. Mniej odporne – cienkoławicowe, naprzemianległe warstwy łupków i piaskowców serii podmagurskiej budują dolne partie stoków o niewielkich nachyleniach, a bardziej odporne, gruboławicowe piaskowce serii magurskiej budują główne grzbiety, nadając górnym partiom stoków duże nachylenia dochodzące do 30°.

Drugi obszar badań obejmuje środkową część dorzecza Hoczewki i zlewnie lewostronnych dopływów Jeziora Solińskiego o łącznej powierzchni 94 km².

Badany obszar leży na wysokości od 748 do 400 m npm. Budują go warstwy jednostki śląskiej – głównie piaskowce cienkoławicowe i łupki, rzadziej piaskowce gruboławicowe z łupkami i łupki otryckie. Rzeźba tego obszaru ma cechy pogórskie z charakterystycznymi twardzielcowymi grzbietami sterczącymi 200–300 m nad niższym pogórskim poziomem (Starkel, 1972).

Metody badań

Podstawową metodą badawczą było kartowanie form osuwiskowych. W dorzeczu Łososiny w Beskidzie Wyspowym kartowanie prowadzono po każdym epizodzie osuwiskowym, który wystąpił w okresie od lipca 1997 do grudnia 2002 r. W dorzeczu Hoczewki i w rejonie Jeziora Solińskiego (Bieszczady) skartowano formy powstałe w lipcu 2005 r. Lokalizację form zweryfikowano na podstawie zdjęć lotniczych i naniesiono na mapy topograficzne w skali 1:10 000 oraz scharakteryzowano je, biorąc pod uwagę następujące cechy:

- wysokość górnej krawędzi niszy npm.,
- cechy morfometryczne: długość, szerokość niszy, a także długość jęzora i miąższość koluwiów,
- usytuowanie na stoku względem innych form rzeźby i infrastruktury gospodarczej.

Wykonano również plany i profile podłużne w skali 1:5 000 wybranych form, przy użyciu klizymetru i taśm geodezyjnych oraz dokumentację fotograficzną.

Następnie określono liczbę powstałych form, ich gęstość (liczba form na 1 km²), sumaryczną powierzchnię form osuwiskowych i ich udział w całkowitej powierzchni stoków badanych obszarów.

W latach 1998–2000 monitorowano zmiany, jakie zachodziły w obrębie skartowanych w Beskidzie Wyspowym form osuwiskowych. Kierunki rozwoju badanych form osuwiskowych określono dzięki szczegółowej analizie dokumentacji fotograficznej, planów osuwisk oraz porównywaniu stanu i rozmiarów badanych form w danym roku w odniesieniu do charakterystycznych punktów w terenie i różnego rodzaju reperów, np. drzew, słupów, ścian budynków czy krawędzi dróg.

Stopień przekształcenia stoków przez procesy osuwiskowe w badanych obszarach zestawiono z danymi nt. miesięcznych i dobowych sum opadów ze stacji meteorologicznych i posterunków opadowych IMGW w: Limanowej i Rozdzielu w Beskidzie Wyspowym oraz w Baligrodzie-Mchawie, Lesku, Solinie i Komańczy – w Bieszczadach. Dla opadów z lipca 1997 r. określono również przestrzenny ich rozkład, opierając się na materiałach kartograficznych i obrazie satelitarnym (Niedźwiedz i Czekerda, 1998). Parametry opadów – wysokość, czas trwania i intensywność – interpretowano jako wartości progowe, umożliwiające powstawanie osuwisk zwietrzelinowych na stokach fliszowych i porównywano między sobą i z wartościami zaczerpniętymi z literatury (Gil, 1997).

Przekształcenie stoków w dorzeczu Łososiny przez procesy osuwiskowe

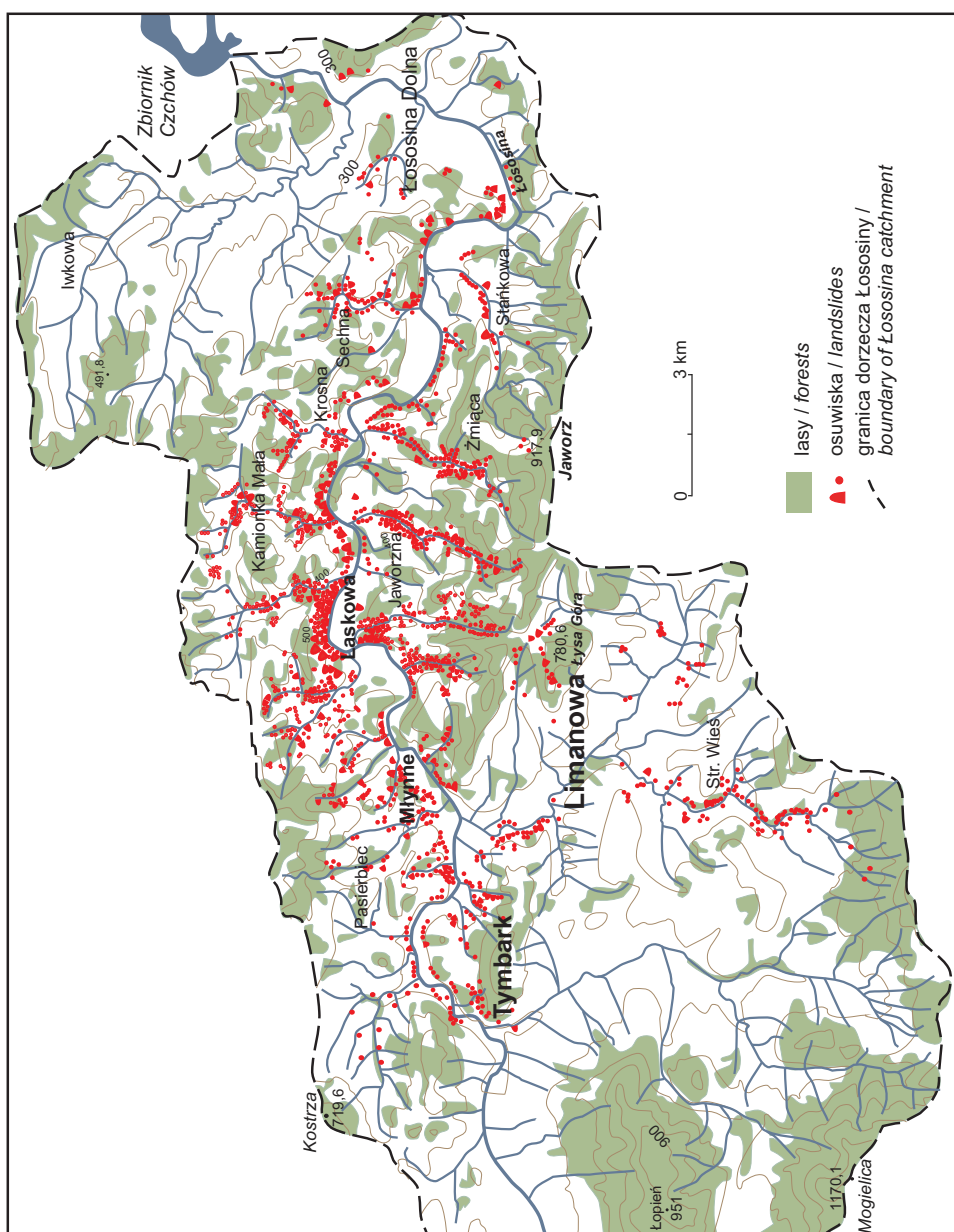
Geomorfologiczne skutki opadu z lipca 1997 r.

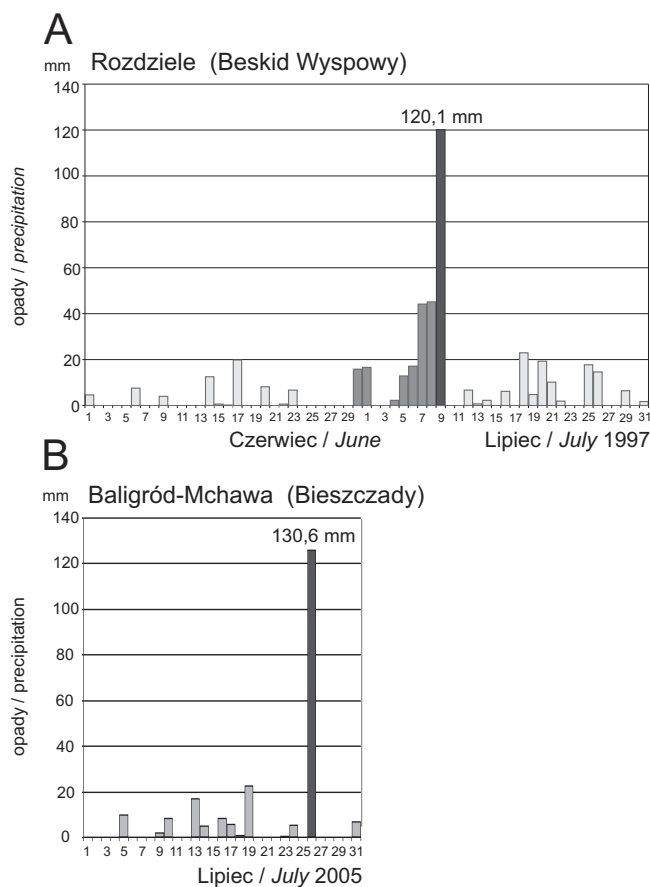
W Beskidzie Wyspowym w lipcu 1997 r. intensywne deszcze, łączące w sobie cechy opadów rozlewnych i nawałnych, doprowadziły do powodzi w dolinie Łososiny i powszechnej aktywizacji procesów osuwiskowych na stokach (ryc. 2).

W środkowej części dorzecza Łososiny, po południu w dniu 9 lipca wystąpił opad nawałny o wysokości osiągającej 150 mm, który trwał około dwu godzin. Opad ten poprzedziły opady rozlewne o dobowych wartościach 10–30 mm w okresie od 4 do 7 lipca i 85 mm w dniu 8 lipca (na stacji IMGW w Limanowej). Suma opadów między 4 i 9 lipca wyniosła 218,4 mm na stacji IMGW w Limanowej i 241,8 mm w Rozdzielu (ryc. 3), zaś średnie natężenie opadu w całym tym okresie wyniosło w Limanowej 0,123 mm na minutę. Średnie natężenie opadu nawałnego (wg klasyfikacji K. Chomicza, 1951) 9 lipca, który był bezpośrednią przyczyną ożywienia ruchów masowych, wyniosło: około 1,25 mm·min⁻¹ w centrum opadu, 1 mm·min⁻¹ na stacji opadowej w Rozdzielu i 0,504 mm·min⁻¹ w Limanowej. O ile zasięg opadów w całym okresie od 4 do 8 lipca obejmował południową część Polski i północną część Czech, o tyle opad burzowy z 9 lipca objął swym zasięgiem jedynie wschodnią część Beskidu Wyspowego i graniczące z nim części Pogórza Wiśnickiego i Ciężkowickiego oraz Gorców. Centrum obszaru objętego opadem nawałnym znajdowało się na pograniczu Beskidu Wyspowego i Pogórza Wiśnickiego w okolicy Laskowej (Niedźwiedz i Czekerda, 1998).

To ekstremalne zdarzenie opadowe, wynikające z nałożenia się opadów nawałnych na opady rozlewne przyczyniło się do uaktywnienia ruchów masowych na stokach. Dodatkowym czynnikiem, który nasilił procesy osuwiskowe na zboczach doliny Łososiny i jej dopływów było podcięcie stoków przez wody powodziowe. Na stokach obszaru badań skartowano 1193 nowo powstałe formy osuwiskowe. Stwierdzono także uaktywnienie części starych osuwisk i złażisk, z których 89 zostało częściowo, a 21 w znacznym stopniu uaktywnionych w następstwie opadów z lipca 1997 r. (Gorczyca, 2004) – rycina 2.

Zdecydowana większość nowych form osuwiskowych powstałych w lipcu 1997 r. to niewielkie zerwy (786 form – 60%). Inne charakterystyczne powstałe wówczas formy osuwiskowe to wąskie, długie i płytkie zsuwy zwietrzeline (417 – 32%). Wiele form powstało w wyniku działania zarówno mechanizmów zsuwania, jak i spływu, łącząc w sobie cechy osuwiska w części górnej i spływu ziemnego czy gruzowo-błotnego w części dolnej (13% form). Nowo powstałe formy charakteryzuje nierówna powierzchnia niszy i transport osuwających się mas materiału na duże odległości (do 90–100 m). Pokrywa zwietrzelinowa na





Ryc. 3. Opady dobowe: A – na stacji IMGW w Rozdziele (Beskid Wyspowy);
B – na stacji IMGW w Baligródzie-Mchawie (Bieszczady)
Daily precipitation: A – at the IMGW station at Rozdziele (Beskid Wyspowy Mts.);
B – at the IMGW station at Baligród-Mchawa (Bieszczady Mts.)

stokach – z reguły o miąższości nieprzekraczającej 1–2 m – w wyniku osuwania została w znacznym stopniu wyniesiona poza niszę.

Formy osuwiskowe powstałe w lipcu 1997 r. są bardzo zróżnicowane pod względem morfometrycznym. Powierzchnia form nowo powstałych i uaktywnionych starych osuwisk zawiera się w przedziale od kilku m² do blisko 20 tys. m²,



Ryc. 2. Lokalizacja osuwisk powstałych i uaktywnionych w latach 1997–2000 w dorzeczu Łososiny

Location of landslides developed or activated during the years 1997–2000 in the Łososina catchment

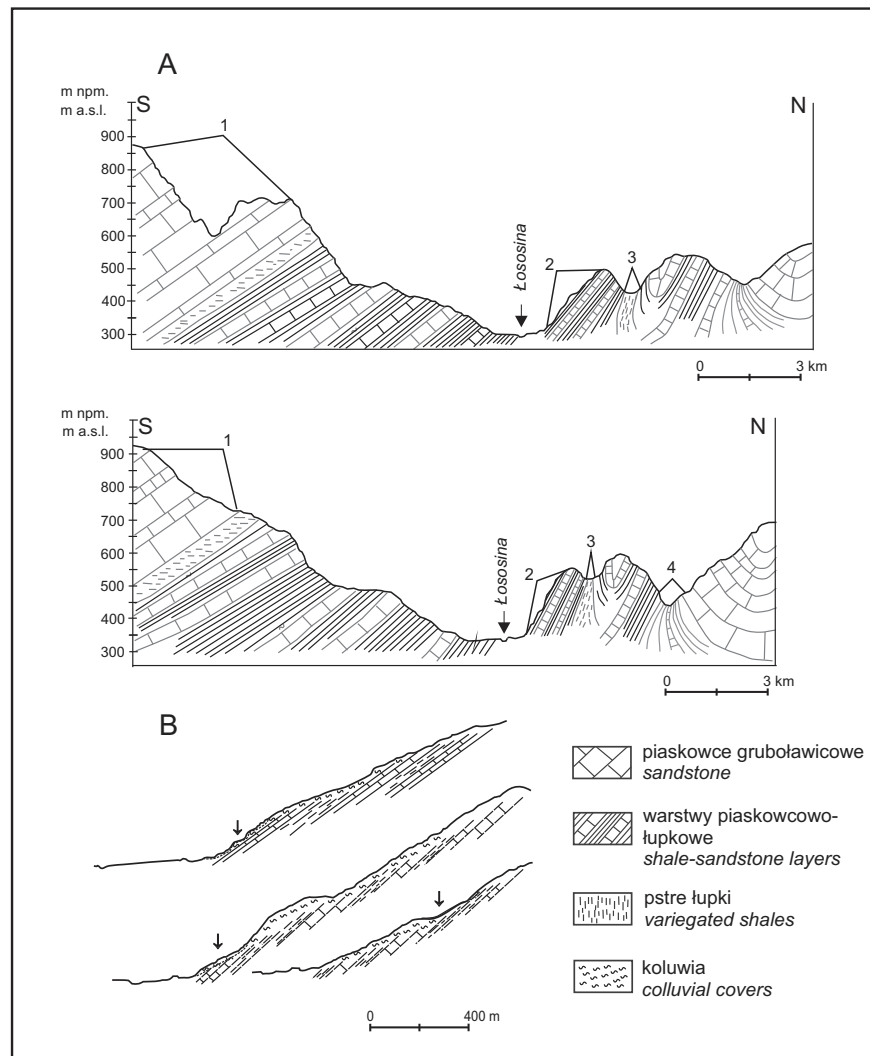
a długość od 2 do 240 m. Powierzchnia większości płytkich osuwisk mieściła się w przedziale od kilku do kilkuset m², a największe z nich miało 3750 m².

Powierzchnia stoków obszaru badań wynosi 202,4 km². Łączna powierzchnia 1193 nowo powstałych form osuwiskowych – to około 0,25 km², zajmują one zatem tylko 0,13% powierzchni stoków. Gęstość nowo powstałych osuwisk wynosi 5,9 form na 1 km² (Gorczyca, 2004) – tabela 1. Dla porównania obliczono również udział powierzchni starych osuwisk, zarówno tych nieaktywnych w okresie badań, jak i w różnym stopniu uaktywnionych (tab. 1). Stoki osuwiskowe zajmują w obszarze badań łącznie powierzchnię około 8 km², ich udział w całkowitej powierzchni stoków badanego obszaru wynosi więc 4%. Stare osuwiska nieaktywne zajmują 2,5% powierzchni stoków badanej części dorzecza Łososiny, stare osuwiska częściowo uaktywnione 1,22%, zaś osuwiska w znacznym stopniu uaktywnione – 0,2% powierzchni (tab. 1).

Tabela 1. Charakterystyki stoków osuwiskowych w obszarach badań
Characteristics of the landslide-affected slopes within the study areas

	Stare osuwiska nieaktywne	Stare osuwiska częściowo aktywne	Stare osuwiska uaktywnione	Nowe osuwiska i zerwy w obrębie starych form osuwiskowych	Nowe formy osuwiskowe	Łącznie wszystkie formy
Dorzecze Łososiny						
Liczba form	37	89	21	272	921	1340
Powierzchnia form (m ²)	5 028 475	2 435 679	375 582	123 176	131 215	7 970 951*
Udział osuwisk w powierzchni obszaru (%)	2,5	1,22	0,2	0,13		4
Liczba osuwisk na 1 km ²	0,2	0,4	0,1	5,9		6,6
Dorzecze Hoczewki						
Liczba form	brak danych	3	–	9	179	191
Powierzchnia form (m ²)	–	470	–	154	34 340	34 810*
Udział osuwisk w powierzchni obszaru (%)	–	0,0005	–	0,04%		0,04%
Liczba osuwisk na 1 km ²	–	0,03	–	2		2,03

* odjęto powierzchnię nowych form powstałych w obrębie starych osuwisk.



Ryc. 4. A. Profile poprzeczne doliny Łososiny z zaznaczonymi częściami stoków przemodelowanymi przez procesy osuwiskowe

1 – stoki krawędziowe zbudowane z piaskowców magurskich przemodelowane przez dawne procesy osuwiskowe, występujące tu głębokie osuwiska skalne współcześnie są nieaktywne; 2 – zbocza doliny Łososiny wycięte w warstwach piaskowcowo-łupkowych serii podmagurskiej, o upadzie zbliżonym do nachylenia stoków z licznymi formami osuwiskowymi współcześnie okresowo aktywnymi; 3 – wąski fragment stoków wyciętych w mało odpornych łupkach pstrych; 4 – strefa stoków modelowanych przez osuwanie na kontakcie warstw piaskowcowych i piaskowcowo-łupkowych; (na podstawie: Burtan i Skoczylas-Ciszewska, 1964; Cieszkowski, 1992)

B. Profile stoków przemodelowanych przez procesy osuwiskowe

A. Łososina valley cross-sections with marked sections of slopes transformed by landsliding
 1 – edge slopes of Magura sandstone reshaped by old landsliding processes with inactive deep rockslide features; 2 – Łososina valley slopes on sandstone and shale Podmagurska series with similar layer and slope gradients – numerous temporary active landslide features; 3 – narrow portion of slopes on low-resistance spotted shale; 4 – slope zone shaped by landsliding at the point of contact between sandstone and sandstone/shale layers (based on: Burtan and Skoczylas-Ciszewska, 1964; Cieszkowski, 1992)

B. Profiles of slopes reshaped by landsliding

Poszczególne generacje form osuwiskowych skartowane w dorzeczu Łososiny różnią się nie tylko skalą przemodelowania powierzchni stoków, ale również położeniem w obrębie kateny stokowej. Aby ocenić rolę procesów osuwiskowych w modelowaniu rzeźby dorzecza Łososiny, poprowadzono przez dolinę rzeki szereg profili poprzecznych (ryc. 4) i wydzielono na nich części stoku szczególnie predysponowane do wystąpienia tych procesów.

W badanej środkowej i wschodniej części dorzecza Łososiny występują głębokie osuwiska skalne, położone w górnych partiach stoków, w wydzielonej części stoków A (ryc. 4). Zajmują one duże powierzchnie (ponad 7 km²) i lokalnie znacząco wpłynęły na przekształcenie rzeźby. Należą do nich m.in. osuwiska na północnych stokach Sałasza-Jaworza, na Miejskiej i Łysej Górze w okolicy Limanowej, a także na Kostrzy, Kamionnej i Łopieniu (Flis, 1958; Bajgier-Kowalska, 1998). Powstały one głównie w górnych częściach stoków krawędziowych na wychodniach warstw gruboławicowych piaskowców magurskich lub na kontakcie piaskowców magurskich i warstw podmagurskich. Osuwiska te są obecnie w większości zalesione i cechują się dużą wyrazistością form.

W niższych partiach stoków (wydzielone części stoków B, C, D – ryc. 4) w całym badanym obszarze występują liczne stare osuwiska zwietrzelinowe i skalno-zwietrzelinowe. Powstały one zwłaszcza w miejscach podcięć erozyjnych na zboczach doliny Łososiny i jej większych dopływów (Starowiejski Potok, Kamionka, Żmiąca). Stopień zachowania morfologii tych form pozwala na twierdzenie o ich różnym wieku. W porównaniu z położonymi w górnej części stoków głębokimi osuwiskami skalnymi, formy te mają mniej wyrazistą morfologię – łagodniejsze stoki w obrębie krawędzi nisz i często trudne do wyróżnienia ślady akumulacji osuwiskowej.

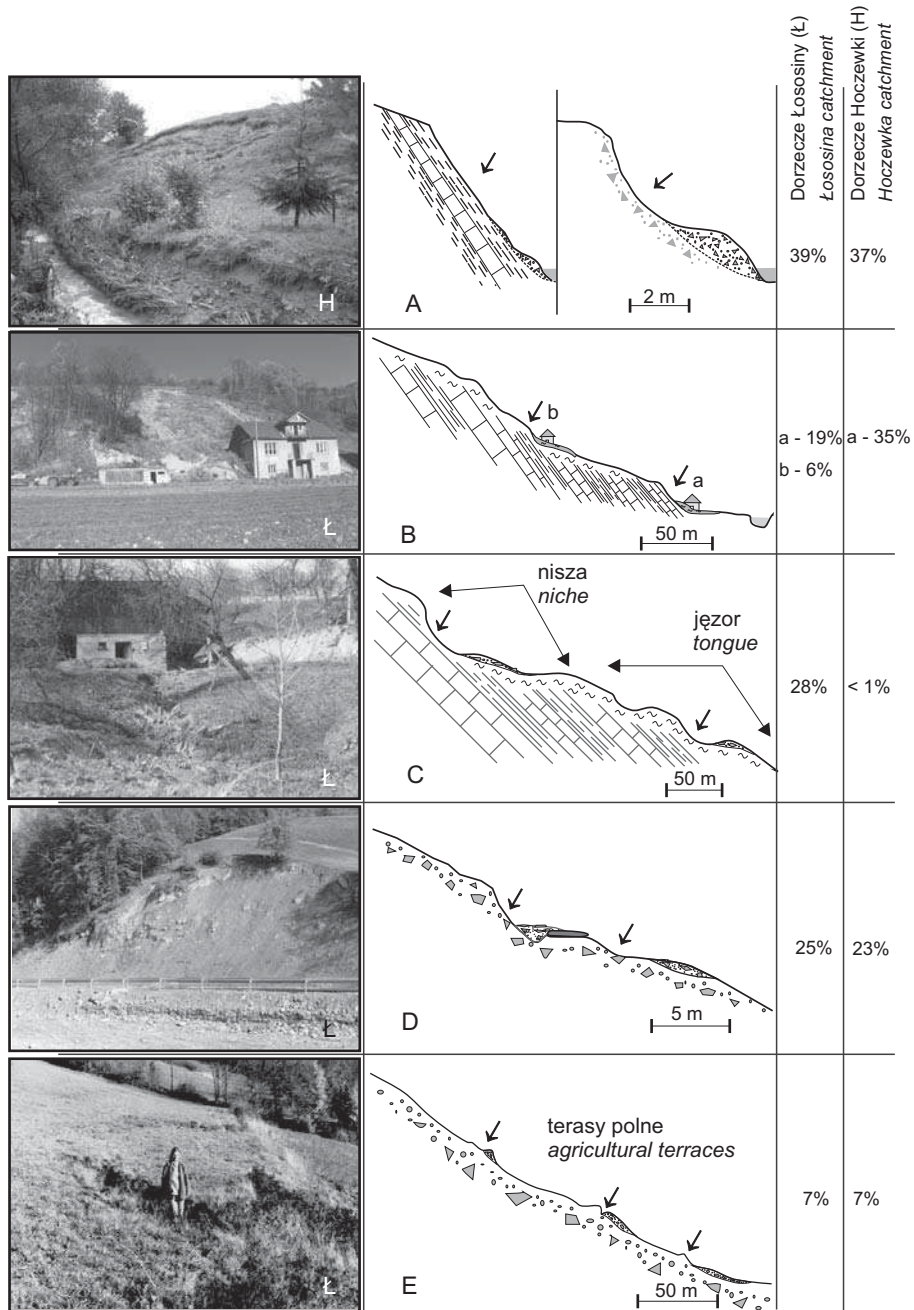
W lipcu 1997 r. najbardziej przemodelowane przez procesy osuwiskowe zostały stoki strefy B, chociaż wiele nowych form powstało też w strefach C i D (ryc. 4). Powstałe w strefie B formy osuwiskowe – choć przeważnie niewielkie – ze względu na dużą liczbę i zagęszczenie przyczyniły się lokalnie do znacznego przekształcenia rzeźby. Silnie przemodelowane przez płytkie procesy osuwiskowe zostały zbocza V-kształtnych dolinek (ryc. 5). Cofnięciu i przekształcaniu uległy też krawędzie wyższych teras, krawędzie podcięć drogowych, krawędzie

Ryc. 5. Najczęstsza lokalizacja form osuwiskowych i ich udział (%): w dorzeczu Łososiny (Beskid Wyspowy) oraz w dorzeczu Hoczewki i rejonie zbiornika solińskiego (Bieszczady)

Lokalizacja form: A – na zboczach V-kształtnych dolin, B – na krawędzi zboczy teras wyższych i podcięć denudacyjnych (a), na zboczach podciętych pod zabudowę (b), C – w obrębie starych form osuwiskowych, D – na krawędziach podcięć drogowych, E – wzdłuż teras rolnych

Typical location of landslides and their frequency (%): in the Łososina catchment (Beskid Wyspowy Mts.) and in the Hoczewka catchment and Solina Reservoir region (Bieszczady Mts.)

Location of landslides: A – sides of V-shaped valleys, B – higher-level terrace slope edges and denudational undercuts (a), undercuts approaching buildings (b), C – within old landslide, D – roadside undercut edges, E – agricultural terraces



warstwy piaskowcowo-tupkowe
shale-sandstones layers

pokrywy koluwalne
colluvial covers

pokrywy zwietrzelinowe
waste-mantle covers

przekształcona część stoku
part of slope failure

podcięć pod zabudowania i terasy rolne. W profilu stoków zwiększył się udział odcinków nieregularnych – falistych. Lokalnie doszło też do pogłębienia odcinków wklęsłych i niewielkiego nadbudowania stoku koluwiami.

Miejscami, które w lipcu 1997 r. okazały się predysponowane do płytkich ruchów osuwiskowych były stare stoki osuwiskowe zlokalizowane w strefach B, C i D, a zwłaszcza niewielkie wklęsłości w ich obrębie – nisze osuwisk i zagłębienia w obrębie jezorów. Częściową reaktywację stwierdzono jednak tylko w przypadku niektórych starych osuwisk. Większość niewielkich i płytkich nowo powstałych osuwisk, zlokalizowanych w obrębie starszych form przekształcała je tylko nieznacznie i prawdopodobnie nie nawiązywała do starych powierzchni poślizgu. Epizod osuwiskowy z lipca 1997 r. przyczynił się zatem do przekształcenia rzeźby wielu starych form osuwiskowych.

Aktywność osuwiskowa w dorzeczu Łososiny w okresie 1998–2000

W latach 1998 i 1999 roczne sumy opadów przekroczyły w dorzeczu Łososiny średnie wartości wieloletnie (Mrozek i inni, 2000), jednak opady miesięczne były znacznie niższe niż te w lipcu 1997. W dniu 4 czerwca 1998 r. wystąpił jednak opad burzowy, który można uznać za ekstremalne zdarzenie opadowe. Wysokość opadu w leżącej w jego centrum Limanowej wyniosła 83,1 mm i była to wartość porównywalna z tą z 9 lipca 1997. Geomorfologiczne skutki ulewy ograniczyły się głównie do erozyjnej działalności wód wezbranych potoków. Nasycenie pokryw stokowych wodą opadową przyczyniło się przede wszystkim do wtórnych ruchów osuwiskowych w obrębie form powstałych i uaktywnionych w poprzednim roku (około 70 przypadków). Wtórne ruchy osuwiskowe objęły głównie jezory i wały koluwalne. Nowo powstałe formy to kilkanaście niewielkich zerw na zboczach dolin i podcięciach drogowych, głównie w zlewni Sowliny.

Na wiosnę 2000 r. nastąpiła kolejna faza nasilenia ruchów osuwiskowych w dorzeczu Łososiny. Bodźcem uruchamiającym procesy osuwiskowe okazał się opad deszczu z 5 kwietnia 2000 r., który po kilku godzinach przekształcił się w intensywny opad śniegu. Opad w tym dniu wyniósł 51,8 mm na stacji IMGW w Limanowej i 41,2 mm na posterunku opadowym w Rozdzielu i był najwyższym zanotowanym od początku zimy. Nasycenie pokryw wodami opadowymi i roztopowymi z topniejącego przez kilka dni śniegu było przyczyną uaktywnienia procesów osuwiskowych. Powszechne w kwietniu 2000 były wtórne ruchy osuwiskowe, które stwierdzono w obrębie ponad 100 form. Doszło również do znacznego rozwoju 22 form powstałych i uaktywnionych w lipcu 1997. Powstało też wówczas kilka nowych, niewielkich form osuwiskowych. Największe przekształcenie rzeźby w kwietniu 2000 r. miało miejsce w Stańkowej i dotyczyło starego osuwiska, które już w 1997 wykazywało pewną niestabilność – świadczy o niej obecność szczelin i niewielkich zerw.

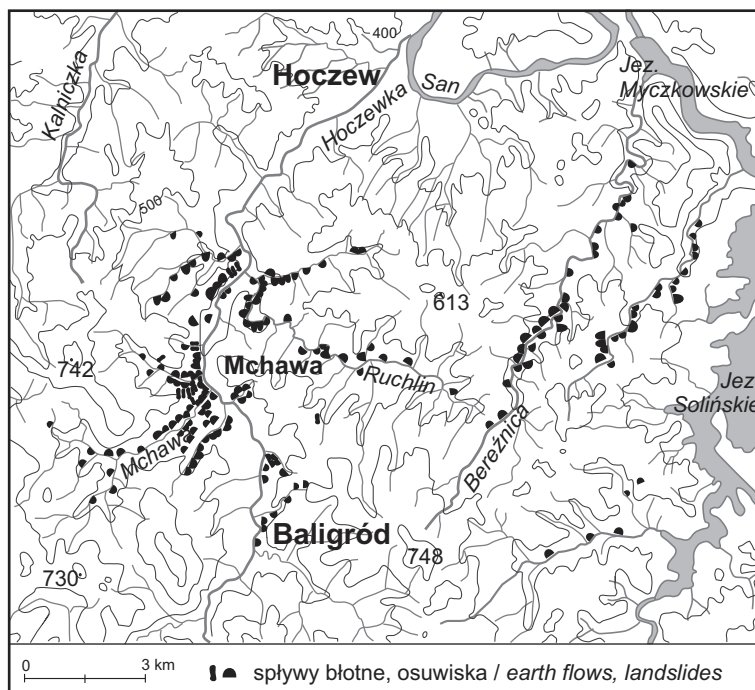
W latach 1998–2000 monitorowano zmiany, jakie zachodziły w obrębie form osuwiskowych skartowanych w dorzeczu Łososiny w 1997 r. W tym czasie ponad połowa form poza zarośnięciem nie uległa większym przekształceniom, pozostałe zaś zostały w różnym stopniu przemodelowane przez procesy naturalne i przez człowieka. Dotyczy to zwłaszcza koluwiów. Jeszcze w 1997 r. mieszkańcy badanego terenu usunęli powierzchniowe warstwy przemieszczonych mas koluwalnych w obrębie ponad 200 osuwisk. W tym roku i w kolejnych koluwia wielu osuwisk podlegały również degradacji w wyniku rozmywania, osiadania i splezywania. W dużo mniejszym stopniu niszczone były krawędzie nisz. Tylko w obrębie około 10% monitorowanych form stwierdzono wtórne ruchy osuwiskowe, wiążące się głównie z opisanymi powyżej ekstremalnymi zdarzeniami opadowymi i roztopowymi. W momencie zakończenia badań terenowych – trzy lata po głównej fazie ruchów masowych – zdecydowana większość form nadal cechowała się dużą wyrazistością poszczególnych części morfologicznych. Krawędzie nisz były ostro zarysowane. W obrębie badanych form pomimo licznych rozcięć erozyjnych nie stwierdzono zorganizowanego odpływu powierzchniowego (Gorczyca, 2004).

Przekształcenie stoków w dorzeczu Hoczewki i rejonie Jeziora Solińskiego przez procesy osuwiskowe

W dorzeczu Hoczewki w Bieszczadach wystąpiło jedno ekstremalne zdarzenie opadowe – pojedynczy opad burzowy w dniu 26 lipca 2005 r. Na posterunku opadowym IMGW w Baligrodzie-Mchawie w ciągu dwu i pół godziny spadło tego dnia 130,6 mm deszczu (ryc. 3). Bardzo intensywny opad, o cechach opadu nawalnego, doprowadził do powodzi w dolinie Hoczewki i jej dopływów oraz aktywizacji procesów grawitacyjnych na stokach. Na stokach i zboczach powstało 188 płytkich osuwisk zwietrzelinowych (ryc. 6). Uaktywniły się też trzy starsze osuwiska (tab. 1).

Zdecydowana większość form to niewielkie zerwy, których powstało 132, pozostałe zaś to spływy błotne i zwietrzelinowe (26) oraz płytke osuwiska zwietrzelinowe (26 form). Prawie wszystkie formy powstały w wyniku działania mechanizmów zarówno zsuwania, jak i spływu, przede wszystkim na stokach pokrytych darnią. Charakterystyczne jest dla nich to, że wszystkie powstały na krawędziach naturalnych lub antropogenicznych, głównie na zboczach dolin, wzdłuż podcięć drogowych i teras rolnych (ryc. 5).

Powierzchnia stoków obszaru badań wynosi 94 km², zaś 191 skartowanych form osuwiskowych zajmuje łącznie 0,035 km². Udział osuwisk w całkowitej powierzchni stoków obszaru badań wynosi więc zaledwie 0,04%. Gęstość wszystkich form osuwiskowych to 2 formy na 1 km².



Ryc. 6. Lokalizacja osuwisk powstałych w lipcu 2005 r. w dorzeczu Hoczewki i rejonie zbiornika solińskiego

Location of landslides developed in July 2005 in the Hoczewka catchment and Solina Reservoir region

Dyskusja

Omówione powyżej epizody osuwiskowe, które wystąpiły w badanych obszarach w ostatnim dziesięcioleciu, zostały wywołane przez ekstremalne zdarzenia opadowe i roztopowe. Nawiązując do zaproponowanej przez L. Starkla (2003) charakterystyki ekstremalnych zdarzeń meteorologicznych można stwierdzić, że w badanych obszarach wystąpiły zdarzenia o charakterze prostym i złożonym. Najbardziej morfotwórczo skutecznym zdarzeniem były opady w lipcu 1997 r. w dorzeczu Łososiny. Miały one cechy zdarzenia złożonego, w którym opad nawalny poprzedziły opady rozlewne. Opady rozlewne o wielkości 120–140 mm i średnim natężeniu $0,123 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ nasyciły wodą pokrywy zwietrzelinowe, czyniąc je podatnymi na działanie opadu nawalnego, który był decydującym impulsem uaktywniającym procesy osuwiskowe.

Porównanie rozmieszczenia niewielkich, płytkich osuwisk zwietrzelinowych z zasięgiem opadu burzowego z 9 lipca 1997 r. pozwala stwierdzić, że o uruchomieniu ruchów masowych na dużą skalę zadecydował dwugodzinny opad o wielkości co najmniej 70 mm. W centrum opadu nawalnego, gdzie opad był wyższy niż 100 mm, a natężenie sięgało około $1,25 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, nastąpiło powszechne uaktywnienie procesów osuwiskowych. Powstało tu najwięcej form osuwiskowych, a przemieszczane masy zwietrzelinowe i ziemne były w dużym stopniu upłynnione.

Zróżnicowanie parametrów opadu warunkuje uaktywnienie odmiennych typów procesów masowych. Według L. Starkla (1996) krótkotrwałe lokalne opady o natężeniu $1\text{--}3 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ są przyczyną uruchomienia takich procesów jak spłukiwanie i spływy ziemne w Karpatach fliszowych, a w Tatrach spływy gruzowe. Opady rozlewne o wysokości 150–400 mm trwające 2–5 dni prowadzą do powstania osuwisk ziemnych i zwietrzelinowych. Natomiast do uruchomienia głębokich osuwisk skalnych może dojść w trakcie długotrwałych opadów rozlewnych o sumach miesięcznych 100–500 mm. Podobne wartości progowe uaktywniania procesów osuwiskowych podaje E. Gil (1997). Głębokie skalno-zwietrzelinowe osuwiska powstają w warunkach pełnej saturacji. Warunki takie występują podczas 20–45-dniowego okresu opadowego o sumie 250–300 mm i średnim natężeniu nie przekraczającym $0,025 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Podczas opadów o większej intensywności przy niepełnej saturacji występują płytkie ruchy osuwiskowe i odmładzane są osuwiska okresowo aktywne. Parametry opadów, które zainicjowały epizod osuwiskowy w dorzeczu Łososiny w lipcu 1997 r. są w dużej mierze zgodne z progowymi wartościami opadów określonymi przez L. Starkla (1996) i E. Gila (1997). Różnice wynikają ze złożonego charakteru zdarzenia opadowego z okresu 4–9 lipca 1997 r. Przesycenie pokryw stokowych w całym okresie opadowym umożliwiło bowiem powstanie płytkich zsuwów ziemnych i zwietrzelinowych oraz uaktywnienia starych osuwisk zwietrzelinowych, zaś duże natężenie opadu z 9 lipca 1997 r. spowodowało upłynnienie osuwianego materiału i inicjację spływów ziemnych.

W badanych obszarach w okresie 1997–2005 miały miejsce 3 zdarzenia pogodowe, które przyczyniły się do uaktywnienia płytkich ruchów osuwiskowych. W dorzeczu Łososiny były to: złożone zdarzenie ekstremalne w roku 2000, kiedy na roztopy nałożyły się wysokie opady (41,2 mm) i proste zdarzenie ekstremalne w 1998 r. w postaci pojedynczego opadu ulewnego (51,8 mm). W dorzeczu Hoczewki w lipcu 2005 wystąpiło proste zdarzenie ekstremalne – opad burzowy o wielkości 130,6 mm. Wszystkie te opady można uznać za ulewne w klasyfikacji A. Chomicza (1951). Jednakże złożone ekstremalne zdarzenia meteorologiczne w większym stopniu przyczyniły się do zaktywizowania procesów osuwiskowych. W dorzeczu Łososiny dużo bardziej skuteczny geomorfologicznie okazał się opad z 5 kwietnia 2000 r. Był on mniejszy od opadu z 4 czerwca 1998, ale spadł na grunt nasycony wodami roztopowymi. Duża geomorfologiczna sku-

teczność ulewy, która w 2005 r. wystąpiła w dorzeczu Hoczewki tylko pozornie zaprzecza opisanej zależności. Wielkość tego opadu była bowiem porównywalna z opadem z 9 lipca 1997 r., a skala przekształcenia stoków przez procesy osuwiskowe dużo mniejsza niż w dorzeczu Łososiny.

Określając progowe wartości opadu inicjujące płytkie ruchy osuwiskowe należy jednak pamiętać o wewnętrznych warunkach systemu stokowego, mogących lokalnie wzmocnić lub osłabić potencjał impulsu opadowego. Utrudnia to porównywanie zdarzeń opadowych uaktywniających płytkie ruchy osuwiskowe. Jak podaje M.J. Crozier (1986), podatność pokryw stokowych na osuwanie zwiększa się wraz ze wzrostem miąższości zwietrzliny. Można przypuszczać, że usunięcie części zwietrzliny przez epizod osuwiskowy z lipca 1997 r. obniżyło podatność systemu stokowego dorzecza Łososiny na osuwanie, podwyższając wartość progową opadu potrzebnego do zainicjowania procesów osuwiskowych. Stoki w dorzeczu Łososiny i Hoczewki mogą być ponadto w różnym stopniu podatne na osuwanie. Wynika to z różnic w budowie geologicznej badanych obszarów oraz z różnego stopnia ich przekształcenia przez wcześniejsze epizody osuwiskowe.

Częste występowanie płytkich osuwisk zwietrzelinowych w obrębie starszych – głębszych i większych form osuwiskowych jest prawidłowością obserwowaną nie tylko w dorzeczu Łososiny, lecz także w innych obszarach górskich umiarkowanej strefy klimatycznej (Nemčok, 1982; Crozier, 1986; La Roca Cervigon i inni, 1988). Wklęsłe fragmenty stoków, w których zlokalizowane są stare osuwiska, można uznać za bardziej aktywne pod względem geomorfologicznym niż fragmenty wypukłe. Koncentruje się tu bowiem spływ wód powierzchniowych i gruntowych. Może to prowadzić do wcześniejszego niż na sąsiednich stokach przesylenia zwietrzliny wodą i wystąpienia ruchów osuwiskowych. Inne czynniki decydujące o preferencyjnym występowaniu osuwisk w obrębie starszych form to: obecność „uśpionych” powierzchni poślizgu oraz z reguły większa niż w sąsiedztwie miąższość zwietrzliny. Na stokach dorzecza Łososiny lokalizacja osuwisk w obrębie stoku wklęsłego charakteryzuje ponad 300 form. Wynika to z wcześniejszego, znacznego przemodelowania stoków przez procesy osuwiskowe i występowania tu licznych stoków wklęsłych w obrębie nisz i wałów koluwalnych. Natomiast na badanych stokach bieszczadzkich rola osuwisk w przekształceniu stoków jest nieznaczna, brak tu form wklęsłych związanych ze starymi stokami osuwiskowymi. Tu zdecydowana większość form powstała w obrębie części wypukłych stoku, tj. wszelkiego rodzaju załomów i krawędzi.

Występowaniu płytkich osuwisk sprzyjało także zadarnienie stoku. Rośliność trawiasta utrudnia spłukiwanie i na dłużej zatrzymuje wodę opadową. Dzięki temu grunt z pokrywą darniową pod wpływem wody znacznie zwiększa swój ciężar, a jednocześnie zmniejsza się spójność pokryw.

Do poznania rzeźbotwórczej roli płytkich ruchów osuwiskowych istotne jest określenie czasu, po jakim następuje wygaśnięcie ruchów w obrębie powstałej

formy. Według K. Jakubowskiego (1974) największą wyrazistość w morfologii stoku osuwiskowego zachowuje nisza, natomiast jęzor osuwiskowy ulega w krótkim czasie wyrównaniu. Ma to uzasadnienie w płytkości i gliniastości koluwiów, które „z definicji” ulegają szybkiej stabilizacji. Na podobny przebieg stabilizacji form osuwiskowych wskazują badania płytkich procesów osuwiskowych w górskich obszarach Nowej Zelandii (Crozier, 1997). Zacieranie rzeźby osuwiskowej zaczyna się tam od odprowadzenia koluwiów w wyniku działania procesów spłukiwania i spęływania, a następnym etapem jest maskowanie niszy przez ruchy wtórne i roślinność. Również w dorzeczu Łososiny najszybciej zanikają jęzory i wały koluwalne osuwisk powstałych w lipcu 1997 r., nisze zaś po kilku latach od głównego epizodu osuwiskowego charakteryzowała duża wyrazistość. Jedyna widoczna zmiana w ich obrębie polegała na zarośnięciu. Rola roślinności ograniczała się jednak tylko do zamaskowania form w pełni sezonu wegetacyjnego i zmniejszenia intensywności procesów erozyjnych w obrębie niszy. M.J. Crozier (1997) zwraca uwagę na dużą rolę człowieka w przyśpieszaniu zaniku form osuwiskowych (usuwanie szkód). Podobnie na stokach dorzecza Łososiny usuwanie szkód w 1997 r. przyczyniło się w wielu przypadkach do usunięcia i wyrównania koluwiów. Przypuszczalnie podobnie przebiegać będzie zanik form osuwiskowych powstałych na stokach dorzecza Hoczewki i rejonu Jeziora Solińskiego w lipcu 2005 r.

Ostatecznie pozostałością po formie osuwiskowej jest zmieniony kształt stoku. Jak wspomniano we wstępie, osuwanie prowadzi do przekształcenia pierwotnego stoku wypukłego, czy też wypukło-wklęsłego w stok wklęsły (Starkel, 1960). Analiza przekształcenia stoków badanych obszarów wskazuje, że płytkie ruchy osuwiskowe przyczyniają się do zwiększenia w profilu stoków udziału odcinków nieregularnych – falistych. Lokalnie dochodzi też do pogłębienia odcinków wklęsłych i niewielkiego nadbudowania stoku koluwiami.

Na koniec należy podjąć próbę oceny roli płytkich ruchów osuwiskowych w kształtowaniu stoków fliszowych. W odróżnieniu od głębokich ruchów osuwiskowych wydaje się ona być niewielka w dłuższym czasie. Powstałe formy są bowiem nieduże, płytke i prawdopodobnie ich ślad w rzeźbie będzie stosunkowo krótkotrwały. Jedynie większe osuwiska o wydłużonym, rynnowym kształcie mogą stać się obszarami wzmożonej działalności procesów denudacyjnych i erozyjnych, przyczyniając się do rozwoju sieci dolinnej w przyszłości. Jednak w wielu obszarach górskich ruchom masowym wraz z erozją liniową przypisuje się współcześnie największą rolę morfolotwórczą w rozwoju stoków i dolin (m.in. Starkel, 1960; Rapp, 1963; Govi i inni, 1982; Bălteanu, 1997). Obecne warunki klimatyczne decydują zaś o tym, że bardzo często uaktywnianym na stokach fliszowych rodzajem ruchów masowych są płytke ruchy osuwiskowe. W połączeniu ze znacznym zagęszczeniem osuwisk ziemnych i zwietrzelinowych, może to skutkować dużą skutecznością epizodów płytkich ruchów osuwiskowych w przemieszczaniu materiału stokowego. Znaczne upłynnienie osuwanych mas

zwietrzelinowych skutkuje zaś często dostawą materiału stokowego do koryt i jego usuwaniem poza zlewnię. Skupianie się płytkich osuwisk w dolnej części stoków, często w nawiązaniu do krawędzi antropogenicznych decyduje ponadto o ich dużej uciążliwości dla lokalnych społeczności.

Wnioski

Analiza stopnia przekształcenia stoków w badanych obszarach przez płytkie ruchy osuwiskowe w następstwie zdarzeń opadowych i roztopowych w latach 1997, 1998, 2000 i 2005 wykazała, że bardziej skuteczne geomorfologicznie są zdarzenia o charakterze złożonym. Opady o dużej intensywności spadające na podłoże nasycone już wodą inicjują płytkie ruchy osuwiskowe łączące cechy zsuwu i spływu oraz uaktywniają starsze osuwiska. Prowadzi to do przemieszczeń dużych objętości materiału zwietrzelinowego, który często dociera do systemu korytowego. Materiał ten jest w znacznym stopniu wynoszony poza zlewnię, jako że ekstremalne zdarzenia opadowe powodują jednocześnie wezbrania w rzekach.

Wartości progowe wielkości opadów, które zainicjowały płytkie ruchy masowe i uaktywniły stare osuwiska w badanych obszarach pozostają w zgodzie z wartościami stwierdzonymi dla stoków beskidzkich we wcześniejszych badaniach. Określając progową wartość opadu uaktywniającego osuwanie należy jednak pamiętać, że geomorfologiczna skuteczność bodźca opadowego zależy również od uwarunkowań wewnętrznych systemu stokowego. Te zaś charakteryzuje duże zróżnicowanie przestrzenne, co utrudnia znalezienie uniwersalnych progowych wielkości opadu inicjującego osuwanie nawet na stokach o podobnych cechach jak w przypadku fliszowych stoków beskidzkich.

W obrębie stoku płytkie ruchy osuwiskowe najczęściej występowały w miejscach utrudnionego spływu powierzchniowego i śródpokrywowego. Były to stoki zadarnione, zarówno wypukłe, jak i wklęsłe. Wypukłe części stoku, na których powstawały osuwiska ziemne i zwietrzelinowe – to przeważnie załomy na stoku, bądź pochodzenia naturalnego bądź antropogeniczne. Wklęsłe części stoku, w których koncentrował się spływ wód powierzchniowych i gruntowych nawiązywały bardzo często do nisz starszych i głębszych osuwisk zwietrzelinowych. Równoczesne występowanie wezbrań w korytach rzecznych powodowało podcinanie stoków i uruchamianie procesów osuwiskowych na zboczach V-kształtnych dolinek.

Stopień przekształcenia stoków przez płytkie ruchy osuwiskowe jest niewielki w porównaniu z przekształcaniem rzeźby przez głębokie ruchy osuwiskowe. Stosunkowo szybki jest też zanik płytkich osuwisk ziemnych i zwietrzelinowych – większość z nich nie przyczyni się do rozwoju sieci dolinnej. Warunki klimatyczne Beskidów i wewnętrzne uwarunkowania systemu stokowego decydują jednak o częstym inicjowaniu płytkich ruchów osuwiskowych na stokach flisz-

wych i dużym zagęszczeniu tworzonych przez nie form. Płytkie ruchy osuwiskowe wpływają też znacząco na kształt stoku. Przyczyniają się one do wzrostu w profilu stoków udziału odcinków nieregularnych – falistych i zwiększają fragmentację stoku. Stoki górskie przekształcane przez płytkie ruchy osuwiskowe wyróżniają się zatem nieregularnym kształtem w profilu podłużnym i poprzecznym.

Piśmiennictwo

- Bajgier-Kowalska M., 1998, *Rozmieszczenie i geneza osuwisk w Beskidzie Wyspowym (Karpaty fliszowe)*, [w:] *Główne kierunki badań geomorfologicznych w Polsce. Stan aktualny i perspektywy, IV Zjazd Geomorfologów Polskich, Lublin, 3–6 czerwca 1998, t. I – Referaty i komunikaty*, Wydawnictwo UMCS, Lublin, s. 97–103.
- Balon J., German K., Kozak J., Malara H., Widacki W., Ziaja W., 1995, *Regiony fizyczno-geograficzne*, [w:] J. Warszńska (red.), *Karpaty Polskie. Przyroda, człowiek i jego działalność*, Uniwersytet Jagielloński, Kraków, s. 117–129.
- Bălteanu D., 1997, *Mass movements and climate in Romania*, [w:] J.A. Matthews, D. Brunsten, B. Frenzel, B. Gläser, M.M. Weiß (red.), *Rapid Mass Movement as a Source of Climatic Evidence for the Holocene*, *Paleoclimate Research*, 19, s. 127–136.
- Burtan J., Skoczylas-Ciszewska K., 1964, *Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski*, 1:50 000, arkusz Limanowa, Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa.
- Chomicz K., 1951, *Ulewy i deszcze nawalne w Polsce*, *Wiadomości Służby Hydrologicznej*, 2, 3, s. 5–88.
- Cieszkowski M., 1992, *Płaszczowina magurska i jej podłoże na północ od Kotliny Sądeckiej*, *Przegląd Geologiczny*, 40, 7, s. 410–416.
- Crozier M.J., 1986, *Landslides: Causes, Consequences and Environment*, Croom Helm, London.
- , 1997, *The climate-landslide couple: a Southern Hemisphere perspective*, [w:] J.A. Matthews, D. Brunsten, B. Frenzel, B. Gläser, M.M. Weiß (red.), *Rapid Mass Movement as a Source of Climatic Evidence for the Holocene*, *Paleoclimate Research*, 19, s. 333–354.
- Flis J., 1958, *Formy terenu wywołane grawitacyjnymi ruchami mas skalnych w Sądecczyźnie*, *Roczniki Naukowo-Dydaktyczne, WSP, Geografia B*, s. 35–53.
- Gil E., 1997, *Meteorological and hydrological conditions of landslides, Polish Flysch Carpathians*, *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 31, s. 143–158.
- Gorczyca E., 2004, *Przekształcanie stoków fliszowych przez procesy masowe podczas katastrofalnych opadów (dorzecze Łososiny)*, Wydawnictwo UJ, Kraków.
- Gorczyca E., Krzemień K., 2006, *Rola ekstremalnych zdarzeń opadowych w kształtowaniu rzeźby Karpat fliszowych (na przykładzie Beskidu Wyspowego i Bieszczadów Niskich)*, [w:] A. Kostrzewski (red.), *Przemiany środowiska geograficznego Polski Północno-Zachodniej. Ogólnopolska Konferencja Naukowa, 20–21 marca 2006, Poznań*, UAM, Poznań, s. 184–186, powielone.
- Govi M., Sorzana P.F., 1980, *Landslide susceptibility as a function of critical rainfall amount in Piedmont Basin (North-Western Italy)*, *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 14, s. 43–61.
- Govi M., Sorzana P.F., Tropeano D., 1982, *Landslide mapping as evidence of extreme regional events*, *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 15, s. 81–98.

- Jakubowski K., 1964, *Płytkie osuwiska zwietrzelinowe na Podhalu*, Prace Muzeum Ziemi, 6, s. 113–152.
- , 1968, *Rola płytkich ruchów osuwiskowych zwietrzelin w procesach zboczowych na terenie wschodniego Podhala*, Prace Muzeum Ziemi, 13, s. 173–314.
- , 1974, *Współczesne tendencje przekształceń form osuwiskowych w holoceniowym cyklu rozwojowym osuwisk na obszarze Karpat fliszowych*, Prace Muzeum Ziemi, 22, s. 169–193.
- Lach J., Lewik P., 2002, *Powódź w lipcu 2001 roku na Sądecczyźnie i jej skutki*, [w:] Z. Górka, A. Jelonek (red.), *Geograficzne uwarunkowania rozwoju Małopolski*, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Kraków, s. 199–204, powielone.
- La Roca Cervignón N., Calvo-Cases A., 1988, *Slope evolution by mass movements and surface wash (Valls d'Alcoi, Alicante, Spain)*, Catena, Supplement, 12, s. 95–102.
- Margielewski W., 2004, *Typy przemieszczeń grawitacyjnych mas skalnych w obrębie form osuwiskowych polskich Karpat fliszowych*, Przegląd Geologiczny, 52, 7, s. 603–614.
- Mrozek T., Rączkowski W., Limanówka D., 2000, *Recent landslides and triggering climatic conditions in Laskowa and Pleśna Regions, Polish Carpathians*, Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica, 34, s. 89–112.
- Nemčok A., 1982, *Landslides in the Slovak Carpathians*, Veda, Bratislava.
- Niedźwiedz T., Czekierda D., 1998, *Cyrkulacyjne uwarunkowania katastrofalnej powodzi w lipcu 1997 roku*, [w:] L. Starkel, J. Grela (red.), *Powódź w dorzeczu górnej Wisły*, Wydawnictwo Oddziału PAN, Kraków, s. 53–66.
- Rapp A., 1963, *The debris slides at Ulvdal, western Norway. An example of catastrophic slope processes in Scandinavia*, Nachrichten der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, II. Mathematisch-Physikalische Klasse, 13, s. 195–210.
- Starkel L., 1960, *Rozwój rzeźby Karpat fliszowych w holocenie*, Prace Geograficzne, IG PAN, 22, Warszawa.
- , 1972, *Karpaty Zewnętrzne*, [w:] M. Klimaszewski (red.), *Geomorfologia Polski*, t. I, PWN, Warszawa, s. 52–115.
- , 1996, *Geomorphic role of extreme rainfalls in the Polish Carpathians*, Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica, 30, s. 21–28.
- , 1998, *Funkcja powodzi w środowisku przyrodniczym dorzecza górnej Wisły*, [w:] L. Starkel, J. Grela (red.), *Powódź w dorzeczu górnej Wisły*, Wydawnictwo Oddziału PAN, Kraków, s. 9–21.
- , 2003, *Extreme meteorological events and their role in environmental changes, the economy and history*, Paper in Global Change, 10, s. 7–13.
- Varnes D.J., 1978, *Slope movement types and processes*, [w:] R.L. Schuster, R.J. Krizek (red.), *Landslides: Analysis and Control*, Special Report, 176, Transportation Research Board, National Academy of Science, Washington.
- Ziętara T., 1968, *Rola gwałtownych ulew i powodzi w modelowaniu rzeźby Beskidów*, Prace Geograficzne, IG PAN, 60.
- , 1975, *Wielkość i tempo niszczenia rzeźby Beskidów w czasie powodzi oraz prognozy jej modelowania*, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 162, s. 281–295.

[Wpłynęło: maj; poprawiono: wrzesień 2007 r.]

ELŻBIETA GORCZYCA

THE ROLE OF SHALLOW LANDSLIDES IN TRANSFORMING FLYSCH SLOPES
(AS EXEMPLIFIED BY THE BESKID WYSPOWY AND BIESZCZADY MOUNTAINS)

Extreme events tend to cause large-scale changes in slope systems. Over the last ten years, a series of extreme meteorological events have caused considerable transformation of slopes and valleys in various parts of the Carpathian Mountains. This paper presents the role of shallow landslides in transforming flysch slopes in the Łososina catchment (Beskid Wyspowy Mts.) and the Hoczewka catchment in the area around the Solina Reservoir (Bieszczady Mts.).

Both the Łososina catchment in the Beskid Wyspowy Range and the Hoczewka catchment area adjacent to the Solina Reservoir in the Bieszczady Mountains lie within the Outer (Flysch) part of the Carpathian Mts., which was folded during the Tertiary Period.

Research in the Łososina catchment was carried out between August 1997 and December 2002, while the Hoczewka catchment and the area adjacent to the Solina Reservoir were studied in 2005. Fieldwork involved the mapping on 1:10 000 topographical maps of all landslide forms emerging after extreme rainfall events.

Located in the Beskid Wyspowy Range, the Łososina river catchment has been one of the areas affected by slope-system transformations reflecting extreme meteorological events. During the period 1997–2000 inclusive, three rainfall events contributed to the activation of landsliding. In the first event of the series, on 9 July 1997, a torrential rainstorm ensued after several days of prolonged rain. As a result, landslide processes started in slope covers saturated with rainwater. In contrast, a subsequent event of June 1998 failed to activate any landsliding. The third event involved rapid snow melt further accelerated by intensive rain at the beginning of April 2000. Again, the slope covers were highly saturated and landsliding was reactivated. In July 2005, the other study area experienced an extreme rainfall event that contributed to a large scale transformation of relief in the catchment of the Hoczewka near the Solina Reservoir (Bieszczady Mts.). As a result of a torrential rainstorm lasting two and a half hours, the valley slopes were largely transformed and gravitational processes on the slopes revived.

The study indicates that the potential for an extreme event to initiate the landsliding processes depends on two factors. One is the degree of complexity of the extreme event, inasmuch as that the potential of a single torrential rainfall is much greater when preceded by long-lasting rainfall, than where a single rainstorm (even one of particularly great intensity) takes place. The other factor involves internal circumstances of the slope system, such as lithology, relative elevation and slope gradients.

By comparing the spatial pattern characterising small and shallow waste-mantle landslides (the most frequently occurring landform) with to the footprint of the torrential rain of 9th July 1997, it was possible to determine the threshold precipitation value activating shallow landsliding. The large-scale activation of landslide processes was triggered by a two-hour rainfall totalling at least 70 mm, that followed after several days of steady rain totalling almost 160 mm. This value is regarded as the landslide-activating threshold and is consistent with threshold values proposed in other studies (Starkel, 1996; Gil, 1997).

The shallow landslides transforming the slopes mainly produced effects in V-shaped valley sides, on bends of varied origin on the slopes and in hollows created by earlier landslides. As a result of the landsliding processes, large amounts of debris were dislodged and displaced. Highly liquidised colluvia were included in debris-and-mud flows, causing the material to be transported over long distances, often into the valley beds.

The gravitational processes occurred only locally, and involved limited amounts of slope material, but had a considerable impact on the slope morphology. Mountain slopes transformed by landsliding are characterised by irregular longitudinal and cross sections, as a result of the multitude of convex and concave landforms on the sliding slope.