PRZEGLĄD GEOGRAFICZNY
2009, 81, 3, s. 399–418

Rola opadów nawalnych w kształtowaniu stoków i koryt w Gorcach na przykładzie zlewni potoków Jaszcze i Jamne

The role of shortlived downpours in shaping slopes and valley bottoms in the Gorce Mountains (as exemplified by the Jaszcze and Jamne catchments)

ANNA BUCAŁA
Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. S. Leszczyckiego PAN
31-018 Kraków, św. Jana 22; abucala@zg.pan.krakow.pl

Zarys treści. W artykule opisano rolę opadów nawalnych w przebiegu procesów stokowych i korytowych w Gorcach na przykładzie dolin potoków Jaszcze i Jamne podczas opadów w lipcu 1997 i 2008. Skutki ulew z pierwszej dekady lipca 1997 r. opisano na podstawie analizy zdjęć lotniczych, na których zarejestrowane zostały płytkie formy osuwiskowe na stokach. Natomiast w czasie badań w lipcu 2008 r. obserwowano bezpośrednio przebieg i skutki krótkotrwałych ulew, które spowodowały największe przekształcenia w korycie potoku Jamne oraz przyczyniły się do powstania na stokach kilku małych zerw zwietrzelinowych. Stwierdzono, że podczas opadów nawalnych większe zmiany zachodzą w korytach potoków niż na stokach.

Słowa kluczowe: opady nawalne, ruchy osuwiskowe, procesy korytowe, Gorce.

Wstęp

Rola opadów nawalnych w kształtowaniu procesów stokowych i korytowych jest jednym z najczęściej podejmowanych problemów badawczych w Karpatach. Zainteresowanie tą tematyką wzrosło zwłaszcza po powodzi w 1997 r. (Starkel i Grela, red., 1998; Kotarba, 1998; Grela i inni, red., 1999; Ziętara, 2002; Gorczyca, 2004) oraz w wyniku coraz częściej występujących ulew lokalnych (Starkel, red., 1997; Cebulak i inni, 2008), czy gwałtownych powodzi (Ziętara, 2007).

Podczas ekstremalnych zdarzeń opadowych następują największe przekształcenia rzeźby obszarów górskich. Gwałtowne ulewy i powodzie przyspieszają procesy erozji i denudacji na stokach oraz erozji i akumulacji w dnach dolin (Słupik, 1981; Starkel, 1996; Gil, 1998; Ziętara, 1968). Ich skutek geomorfologiczny zależy nie tylko od wysokości i czasu trwania opadów, ale także od ich

natężenia i zasięgu przestrzennego. Biorąc pod uwagę wymienione czynniki L. Starkel (1976, 1986) wyróżnił trzy główne typy opadów. Opady **ulewne**, krótkotrwałe o charakterze burzowym, sumach dobowych osiągających 100–150 mm i natężeniu 1–3 mm/min; powodują gwałtowny spływ powierzchniowy i spłukiwanie. Skutki takich wezbrań mają zasięg linijny lub pasowy. Opady **rozlewne** o wysokościach 200–600 mm i natężeniu do 10 mm/godz., trwają do kilku dób. Mają duży zasięg, są przyczyną powstawania płytkich osuwisk i powodzi w dolinach rzek. **Pory opadowe** cechuje natomiast opad ciągły, trwający nawet kilka miesięcy, z niewielkimi przerwami. Suma opadów może osiągnąć 100–200 mm w miesiącu, a powolna i głęboka infiltracja uruchamia głębokie osuwiska skalne.

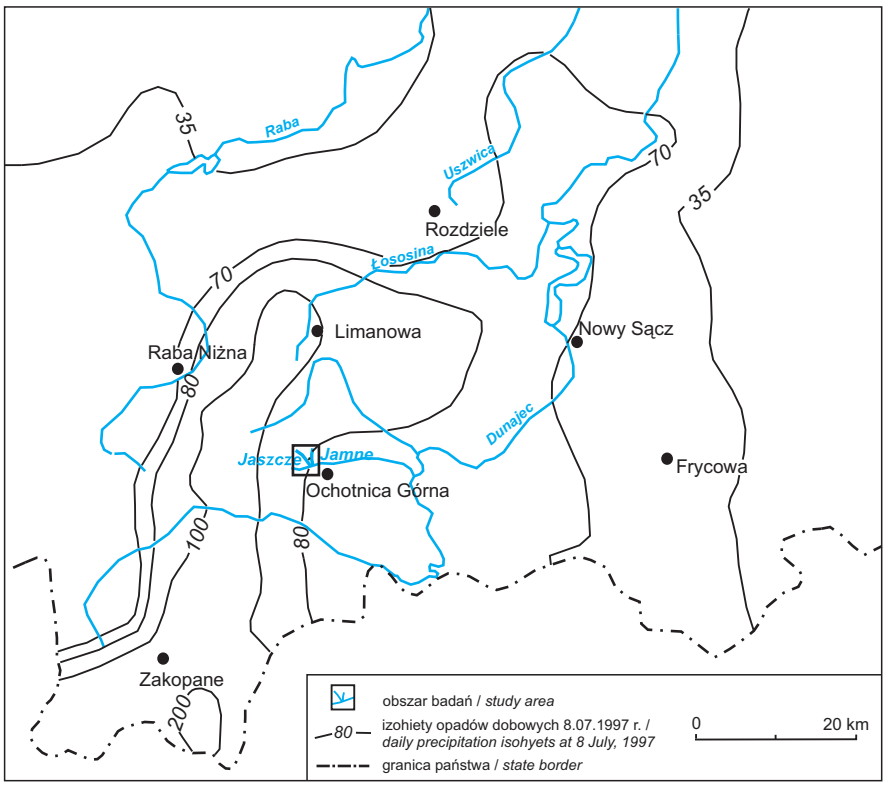
Na Stacji Naukowej IGiPZ PAN w Szymbarku zanotowano w 1974 r. tego typu opady (Gil i Starkel, 1979) oraz opisano ich rolę w modelowaniu stoków fliszowych. Opad jesienią i w zimie 1974 r. należy uznać za zjawisko ekstremalne (w październiku wyniósł prawie 200 mm), po którym wystąpiły ruchy masowe. Po przekroczeniu granicy stabilności nawet niewielki wzrost opadów daje impuls do rozpoczęcia osuwania.

Na podstawie stacjonarnych badań prowadzonych w Szymbarku E. Gil (1994) stwierdził, że na stokach zbudowanych z utworów łupkowych i łupkowo-piaskowcowych głębokie ruchy osuwiskowe obserwuje się, gdy suma opadów w ciągu 20–40 dni przekracza 200–250 mm, a poprzedzający je okres charakteryzowały wyższe opady i wilgotność podłoża. Są to przeważnie opady niezbyt obfite, średnio 7–11 mm na dobę.

M. Govi i inni (1982) podjęli próbę wyznaczenia progowych wartości opadowych, uruchamiających spływy gruzowo-błotne w zlewniach Piemontu. Katastrofalne ulewy i długotrwałe deszcze w czasie 10 lat spowodowały powstanie licznych osuwisk typu potoków błotnych i gruzowych na stokach i w niszach źródłowych małych dolinek, a także powodzie przekształcające dna dolin wskutek dostawy dużej ilości materiału ze stoków. Autorzy stwierdzili, że formy tego typu tworzą się podczas 1–3-dniowych tzw. opadów krytycznych, które stanowią 13–14 % sumy opadów rocznych (opad roczny 700–2100 mm). Wysokość opadów krytycznych uzależniona jest od ilości opadów w 30–35-dniowym okresie poprzedzającym, który nazywany jest suchym, jeśli opady wynoszą do 70 mm lub wilgotnym, gdy opady wynoszą 140–300 mm.

Często obserwowanym zjawiskiem jest nakładanie się na siebie różnych typów opadu, zwłaszcza ulew o charakterze burzowym na opady rozlewne, trwające kilka dni lub powtarzające się codzienne ulewy. Taka sytuacja miała miejsce w lipcu 1997 r. w dorzeczu Dunajca, gdzie doszło do naruszenia stabilności stoków i uaktywnienia ruchów masowych. W zachodniej części dorzecza Dunajca najwyższe sumy opadów notowane były 8 lipca (ryc. 1), a dalej na wschód i północ 9 lipca (Grela i inni, red., 1999).

Celem artykułu jest przedstawienie roli opadów nawalnych w kształtowaniu rzeźby dolin potoków Jaszcze i Jamne w Gorcach na przykładzie opadów w lipcu 1997 i 2008 r. w porównaniu ze skutkami katastrofalnego wezbrania wód z 18 lipca 1970 r.



Ryc. 1. Położenie obszaru badań na tle mapy opadów w dniu 8.07.1997 r.
Na podstawie: Grela i inni, red. (1999).

Study area against the background of a map for rainfall on 8 July, 1997
After Grela *et al.* (eds.), (1999).

Rejestrację zmian ułatwił fakt, że w latach 1960. w dolinach potoków Jaszcze i Jamne prowadzono kompleksowe badania, kierowane najpierw przez K. Figułę, a później przez A. Medwecką-Kornaś. Obejmowały one kartowanie elementów środowiska przyrodniczego w skali 1:10 000 i dotyczyły ukształtowania terenu (Gerlach i Niemirowski, 1968), geologii (Sikora i Żytko, 1968), klimatu (Obrębska-Starklowa, 1969, 1970), stosunków wodnych (Niemirowska i Niemirowski, 1968), gleb (Adamczyk i Komornicki, 1970) i szaty roślinnej (Medwecka-Kornaś i Kornaś, 1968).

Prowadzono również badania procesów stokowych (Gerlach, 1976) i korytowych (Niemirowski, 1972, 1974), zwłaszcza po katastrofalnym w skutkach wezbraniu wód w potokach Jaszcze i Jamne w lipcu 1970 r., który powstał po opadach nawalnych trwających 3 dni (266,8 mm), z kulminacją opadu dobowego z 18 lipca o wysokości 154,9 mm. Podczas tego zdarzenia transport rumowiska objął wszystkie frakcje znajdujące się w korycie do 95 cm włącznie. Podcinane ściany uległy cofnięciu w korycie Jaszcze do 1,2 m, a w aluwialnym korycie potoku Jamne do 7,0 m. Suma długości podcięć w Jamne wyniosła na lewym brzegu 468 m, a na prawym brzegu 770 m. W korycie potoku Jaszcze lewy brzeg został podcięty na długości 154 m, a prawy na 166 m. Całkowitemu odnowieniu uległy łachy kamieńców w obrębie równin zalewowych obu potoków. Akumulacja w potoku Jaszcze osiągnęła niewielkie rozmiary, gdyż w dnie doliny zostało osadzone tylko 191 m^3 materiału rumowiskowego, natomiast w obrębie dna potoku Jamne zostało zakumulowane 1474 m^3 materiału (Niemirowski, 1972, 1974).

Obszar badań

Potoki Jaszcze (11,398 km^2) i Jamne (8,950 km^2) są lewobrzeżnymi dopływami górnego biegu rzeki Ochotnicy w Gorcach (ryc. 1). V-kształtne, głęboko wcięte (do 300 m) doliny, mają wąskie dna erozyjne z licznymi progami. Ponad 61% powierzchni całego obszaru zajmują stoki o nachyleniu powyżej 18°, przy czym dolne odcinki stoków są bardziej nachylone od górnych. Zlewnie tych potoków (o łącznej powierzchni 20,348 km^2) znajdują się w piętrze regla dolnego, która sięga do 1150 m npm., a tylko części grzbietowe są położone w reglu górnym.

Zlewnię potoku Jamne budują głównie utwory serii marglisto-krzemianowej, podczas gdy w dolinie potoku Jaszcze zaznacza się większy udział odporniejszych skał serii kwarcowo-krzemianowej. Z tego wynikają różnice nachylenia i kształtu stoków oraz różny stopień wykształcenia pokrywy glebowej. Ten ostatni wpłynął na różnicę w zalesieniu obydwu zlewni. Obecnie w Jaszcze lasy zajmują 76,70%, a w Jamne 55,46%.

Gleby rozwinięte na wymienionych utworach są średnio głębokie (80–100 cm), zawierają dużo części szkieletowych i charakteryzuje je znaczny stopień uwilgotnienia. Skały podłoża okryte są pokrywą zwietrzelinową gliniasto-piaszczystą o miąższości do 2 m (Niemirowska i Niemirowski, 1968; Adamczyk i Komornicki, 1970). Średnia roczna suma opadów atmosferycznych z wielolecia (1970–2007) dla badanego obszaru wynosi 832 mm (dane IMGW).

Zlewnia potoku Jaszcze jest węższa od Jamne, o bardzo stromych zboczach, porośnięta w części górnej zwartym lasem, o stokach eksponowanych na południe i północny wschód. W wyższych partiach położone są także łąki i pastwiska, w niższych dominują grunty orne. W Jamnem przeważają stoki o niewielkim nachyleniu, o ekspozycji południowej, w znacznym stopniu wylesione. Ze

względu na południową ekspozycję leja źródłowego, obok łąk i pastwisk również grunty orne sięgają tu wyżej do 1100 m npm. (Obrębska-Starklowa, 1970).

Na stromych zboczach w dolnych partiach dolin występują formy osuwiskowe, łącznie zajmujące około 10% powierzchni obu zlewni (Gerlach i Niemirowski, 1968).

Koryta obydwu potoków w źródłowym biegu mają szerokość około 1 m i spadek ponad 100 ‰. Na tym odcinku kształtowane są głównie przez erozję wgłębną. Pozostałe odcinki dolin mają dna szersze, wzrastające od kilku metrów w górnych biegach do około 150 m w dolnych, gdzie są często sterasowane. Charakteryzuje je większa szerokość koryta – od 1,5 do 3 m, mniejszy spadek – 30‰ w odcinkach ujściowych, dominacja erozji bocznej i akumulacji. Koryta potoków wycięte są w litym podłożu z licznymi progami i wychodniami skalnymi (fot. 1). Tylko w dolnym biegu potoku Jamne koryto wycięte jest w aluwiach,

Fot. 1. Środkowy bieg koryta potoku Jaszcze
The Jaszcze channel bed along its middle course
(Fot./Photo: *A. Bucała*)

ale również docina się do litej skały. Pomiędzy skalnymi odcinkami, a zwłaszcza u wylotu bocznych dolinek, gdzie szerokość koryta wzrasta nawet do 10 m (w potoku Jamne), występują stosunkowo szerokie równiny kamieńca i łachy

żwirowe. Strefy te podczas kolejnych zdarzeń powodziowych ulegają transformacji (fot. 2). Gęstość sieci dolinnej w zlewni Jaszcze wynosi 4,26 km/km^2, a w Jamne 5,33 km/km^2 (Niemirowska i Niemirowski, 1968).

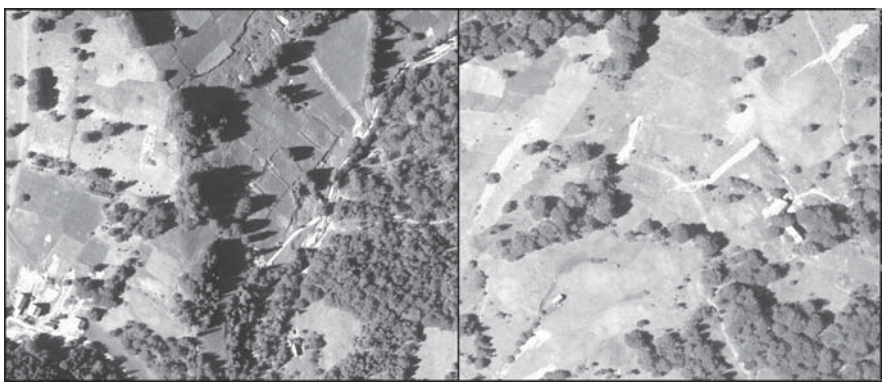
Fot. 2. Dolny bieg koryta potoku Jamne
The lower course of the Jamne channel bed
(Fot./Photo: *A. Bucała*)

Metody badań

Podstawą do określenia roli opadów nawalnych w kształtowaniu procesów stokowych i korytowych były badania terenowe, przeprowadzone w lipcu i we wrześniu 2008 r. oraz analiza zdjęć lotniczych (1:9 000, 1997), wykonanych bezpośrednio po opadach w lipcu 1997 r. (fot. 3). Zdjęcia zostały udostępnione przez Dyrekcję Gorczańskiego Parku Narodowego i na ich podstawie odtworzono rozmieszczenie form osuwiskowych powstałych w lipcu 1997 r. Nawiązano również do wyników badań M. Niemirowskiego (1974), który w zlewniach Jaszcze i Jamne prowadził badania procesów fluwialnych.

Badania terenowe polegały na kartowaniu skutków wezbrania z 23.07.2008 oraz porównaniu rejestracji zmian w obrębie form, powstałych w lipcu 1997 r. Następnie sporządzono mapę lokalizacji form osuwiskowych, powstałych podczas opisywanych zdarzeń oraz mapę podatności na osuwanie, z zastosowaniem

landslide index method (Van Westen, 1994) i technik GIS. Ważnym punktem odniesienia przy opracowywaniu powyższych map były mapa geologiczna (Sikora i Żytko, 1968) i mapa geomorfologiczna T. Gerlacha i M. Niemirowskiego (1968) z zaznaczonymi formami osuwiskowymi, a także mapy kształtów stoków i nachyleń, sporządzone na podstawie cyfrowego modelu terenu o rozmiarze komórki 10 x 10 m oraz mapy użytkowania ziemi, wykonanej na podstawie czarno-białych ortofotomap (1:13 000, wielkość piksela 0,25 m). Ponadto skorzystano z dobowych danych opadowych z posterunku meteorologicznego w Ochotnicy Górnej (IMGW).



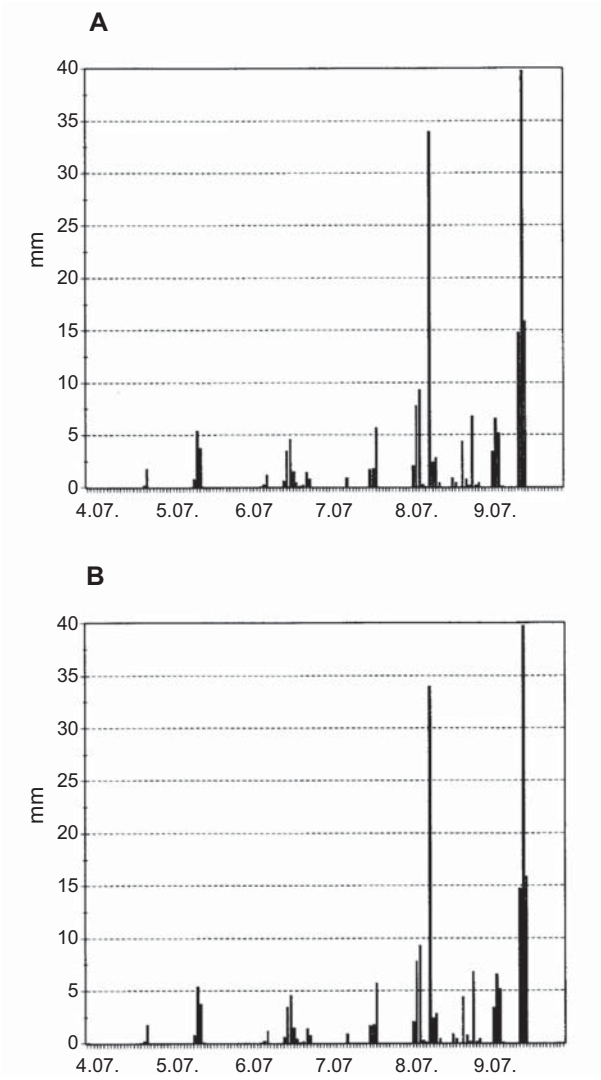
Fot. 3. Zdjęcie lotnicze z zarejestrowanymi płytkimi formami osuwiskowymi w 1997 r. (lokalizacja na ryc. 4)
Źródło: Gorczański Park Narodowy, Poręba Wielka.

Air photo with registered superficial landslides in 1997 (for location, see Fig. 4)
Source: Gorczański National Park, Poręba Wielka.

Rola opadów nawalnych kształtowaniu stoków i koryt

Intensywne opady w pierwszej dekadzie lipca 1997 w Beskidach, a zwłaszcza opady burzowe o dużym natężeniu godzinowym (ryc. 2) w dniach 8 i 9 lipca w Beskidach wywołały kilkakrotne przekroczenie stabilności systemu stokowego i korytowego. Sytuacja ta spowodowała uaktywnienie ruchów masowych na stokach oraz katastrofalną powódź w dnach dolin w dorzeczu Dunajca.

Na przykład w zlewni potoku Homerka na skutek 4,5-godzinnego opadu nawalnego 9 lipca, podczas którego spadło 68 mm deszczu, a jego chwilowe natężenia przekroczyły 2 mm/min, stwierdzono transport pojedynczych piaskowcowych bloków skalnych o średnicy 55–75 cm na odległość 580 m (Froehlich, 1998). Natomiast w dorzeczu Łososiny opady rozlewne o dobowych wartościach 10–30 mm w okresie od 4 do 7 lipca i 85 mm 8 lipca (stacja IMGW w Limanowej – Gorczyca, 2008) zakończyły się 9 lipca 90-minutową ulewą,



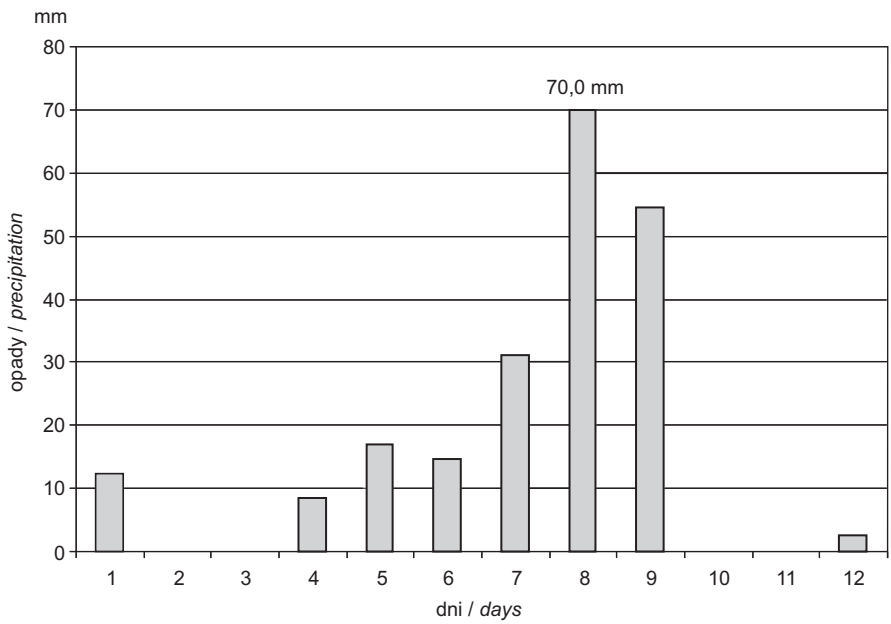
Ryc. 2. Przebieg opadów (sumy godzinowe) w okresie 4–9 lipca 1997 r.;
A – Raba Niżna, B – Limanowa
Na podstawie: Grela i inni, red. (1999).

Course of rainfalls (hourly totals) in the period 4–9 July 1997;
A – Raba Niżna, B – Limanowa
Based on: Grela i inni, red. (1999).

w czasie której na stacji meteorologicznej w Rozdzielu zanotowano 120,2 mm (German, 1998). Spowodowały one uruchomienie na 9,5-kilometrowym odcinku doliny Łososiny, między okolicami Młynnego i Kamionki Małej, 19 głębokich osuwisk skalnych i 27 spływów gruzowo-błotnych (Gorczyca i Krzemień, 1998).

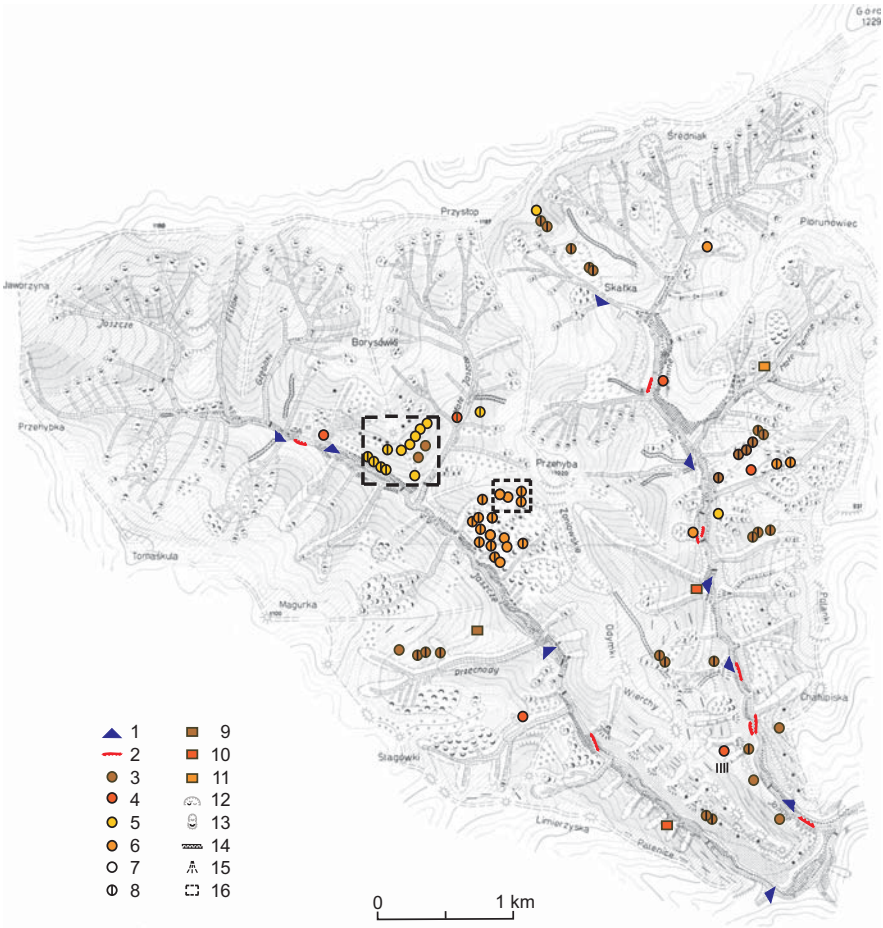
Również na obrzeżach Beskidu Wyspowego w dolinie Uszwicy (rejon Lipnicy Murowanej) w dniach 7, 8 i 9 lipca wystąpiły obfite opady burzowe, szczególnie w środkowej części dorzecza, gdzie przekroczyły odpowiednio 50, 80 i 120 mm. Wskutek tych zdarzeń doszło do podcięcia i zawieszenia ujściowych odcinków bocznych dolinek i akumulacji materiału żwirowego na równinie zalewowej. Wysokie krawędzie teras sprzyjały odnawianiu podcięć i rozwojowi niewielkich form osuwiskowych (Patkowski, 2002).

W dolinach potoków Jaszcze i Jamne rejestrowano podobne zdarzenia. Bezpośrednią przyczyną transformacji stoków i koryt w 1997 r. były krótkotrwałe ulewy o dużym natężeniu w dniach 8–9 lipca, o wysokości odpowiednio 70 mm i 54,6 mm (ryc. 3). Opad atmosferyczny rejestrowano u wylotu doliny Jaszcze (posterunek meteorologiczny Ochotnica Górna IMGW), natomiast największe zmiany powstały w górnej i środkowej części dolin (ryc. 4 i 5), co wskazuje, że opad mógł tam być odpowiednio wyższy.



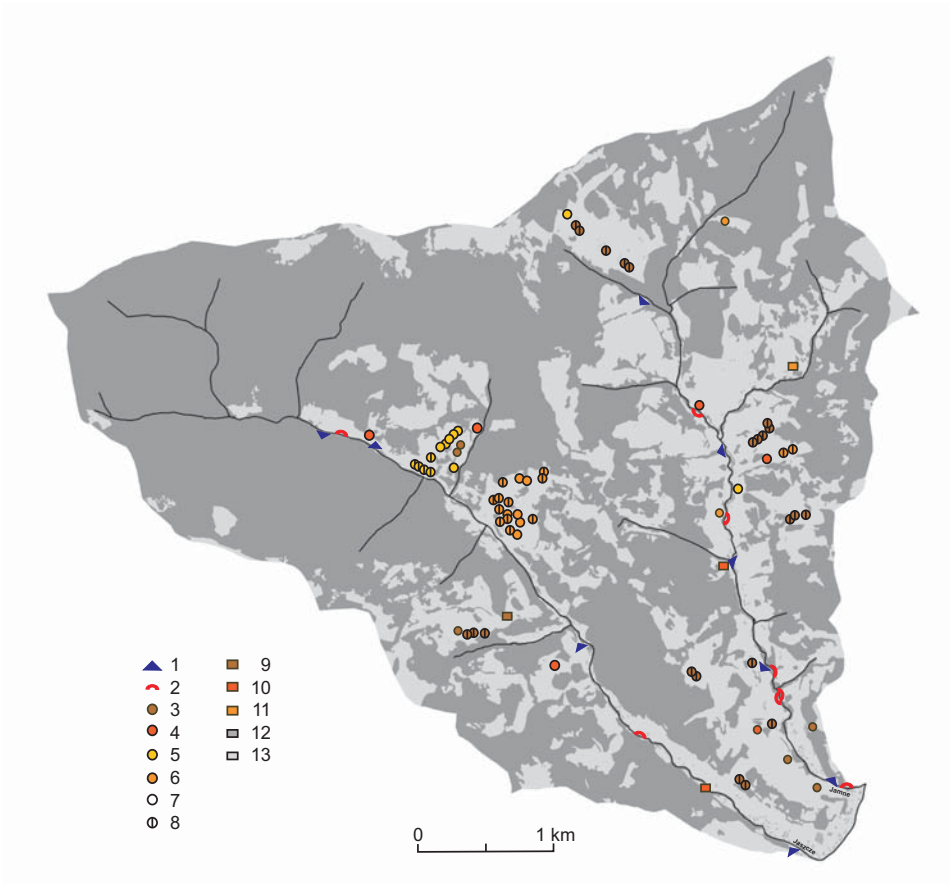
Ryc. 3. Opady dobowe w okresie 1–12 lipca 1997 r. (stacja IMGW w Ochotnicy Górnej)
Daily (24-hour) precipitation in the period 1–12 July 1997 (at the IMGW station at Ochotnica Górna)

Na podstawie analizy zdjęć lotniczych stwierdzono występowanie 85 form (55 w zlewni potoku Jaszcze i 30 w zlewni potoku Jamne) o łącznej powierzchni 29 700 m^2 (tab. 1). Zajmują one łącznie około 0,5% powierzchni użytków rolnych (gruntów ornych, łąk i pastwisk) w obu zlewniach. Dominowały zerwy,



Ryc. 4. Lokalizacja form rzeźby powstałych podczas opadów nawalnych w lipcu 1997 i 2008 r. na tle mapy geomorfologicznej zlewni potoków Jaszcze i Jamne (Gerlach i Niemirowski, 1968) 1 – stożek napływowy u wylotu dróg (lipiec 2008); 2 – podcięcie brzegów koryt (lipiec 2008); 3 – zerwa i spływ błotny na sterasowanych polach ornych; 4 – zerwa na krawędziach podcięć drogowych; 5 – zerwa na stokach o nachyleniu >20°; 6 – zerwa w obrębie starych osuwisk; 7 – formy powstałe w 1997 (zachowane w 2008); 8 – formy z lipca 1997 (niezachowane); 9 – zerwa i spływ błotny na sterasowanych polach ornych (2008); 10 – zerwa na krawędziach podcięć drogowych (2008); 11 – zerwa w obrębie starych osuwisk (2008); 12 – nisze osuwiskowe; 13 – małe zerwy i zsuwy zwietrzelinowe; 14 – wcięcia drogowe; 15 – stożki napływowe; 16 – zasięg fragmentów zdjęć lotniczych przedstawionych na fot. 3

Location of relief forms created falls of rain in the July of 1997 and 2008, as set against a geomorphological map of the Jaszcze and Jamne catchments (Gerlach and Niemirowski, 1968) 1 – alluvial fan at the outlet of a cart-track (July 2008); 2 – undercut at the channel bank (July 2008); 3 – slump and mudflow on field terraces; 4 – slump on edges of road cut; 5 – slump on >20° slopes; 6 – slump within old landslides; 7 – forms created in 1997 (still preserved as of 2008); 8 – forms at July 1997 (not preserved by 2008); 9 – slump and mudflow on field terraces (2008); 10 – slump at edges of road cut (2008); 11 – slump within old landslides (2008); 12 – landslide niches; 13 – small slumps and landslides; 14 – road incisions; 15 – alluvial funs; 16 – location of air photo presented in Plate 3



Ryc. 5. Lokalizacja form rzeźby powstałych podczas opadów nawalnych w lipcu 1997 i 2008 r. na tle mapy użytkowania ziemi zlewni potoków Jaszcze i Jamne
1 – stożek napływowy u wylotu dróg (lipiec 2008); 2 – podcięcie brzegów koryt (lipiec 2008); 3 – zerwa i spływ błotny na sterasowanych polach ornych; 4 – zerwa na krawędziach podcięć drogowych; 5 – zerwa na stokach o nachyleniu >20°; 6 – zerwa w obrębie starych osuwisk; 7 – formy powstałe w 1997 (zachowane w 2008); 8 – formy z lipca 1997 r. (niezachowane); 9 – zerwa i spływ błotny na sterasowanych polach ornych; 10 – zerwa na krawędziach podcięć drogowych (2008); 11 – zerwa w obrębie starych osuwisk (2008); 12 – lasy; 13 – użytki rolne

Location of relief forms created during falls of rain in the July of 1997 and 2008, as set against the land-use map of the Jaszcze and Jamne catchments
1 – alluvial fan at the outlet of a cart-track (July 2008); 2 – undercut at the channel bank (July 2008); 3 – slump and mud flow on field terraces; 4 – slump at edges of road cut; 5 – slump on >20° slopes; 6 – slump within old landslides; 7 – forms created in 1997 (still preserved as of 2008); 8 – forms at July 1997 (not preserved by 2008); 9 – slump and mud flow on field terraces (2008); 10 – slump at edges of road cut (2008); 11 – slump within old landslides (2008); 12 – forests; 13 – agricultural land

przechodzące niżej w spływy błotne zwietrzeliny gliniasto-piaszczystej. Formy te powstały głównie na zadarnionych skarpach teras rolnych, w obrębie stromo nachylonych stoków (≥20°) oraz koluwiów starych osuwisk; nie zaobserwowano ich zaś na obszarach zalesionych. Obecnie 33 formy są nadal widoczne w terenie (tab. 2). Wyraźnie zachowane są przeważnie nisze zerw, bez dokładnie widocznych wałów koluwialnych. Są to formy ustabilizowane i ulegające zarastaniu. Jedynie w obrębie starych form osuwiskowych, przy wzmożonych opadach możliwy jest dalszy ich rozwój, ze względu na miąższość pokryw koluwialnych.

Tabela 1. Parametry form osuwiskowych powstałych w 1997 r.
Parameters of landslide forms created in 1997

Zlewnia *Catchment*	Liczba zerw *Number of slumps*	Wielkość form *Size of forms*		Powierzchnia *Total area* (m^2)
		dł./*length* (m)	szer./*width* (m)	
Jamne	30	10–70	3–18	7400
Jaszcze	55	10–130	5–20	22300

Opracowanie własne / Own elaboration.

Tabela 2. Parametry form osuwiskowych powstałych w 1997 r., stan w 2008 r.
Parameters of landslide forms created in 1997, state in 2008

Zlewnia *Catchment*	Liczba zerw *Number of slumps*	Wielkość form *Size of forms*		Powierzchnia *Total area* (m^2)
		dł./*length* (m)	szer./*width* (m)	
Jamne	12	10–30	5–18	1647,86
Jaszcze	21	8–27	5–15	1644,70

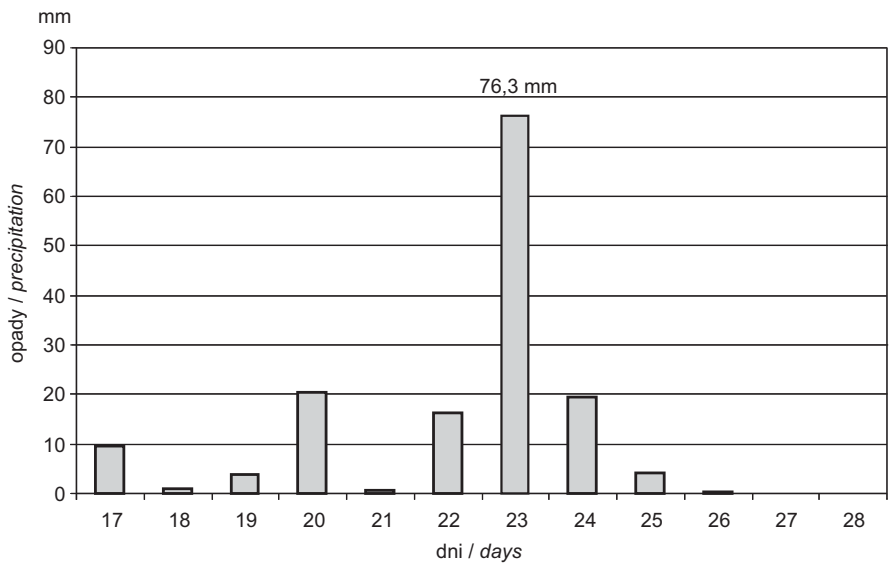
Opracowanie własne / Own elaboration.

Na stokach, zwłaszcza użytkowanych rolniczo, zachodziła intensywna erozja linijna, która prowadziła do rozcinania pokryw stokowych oraz pogłębiania dolin wciosowych (dane zarejestrowane na zdjęciach). Drogi polne stały się głównymi liniami spływu, odprowadzając zwietrzelinę ze stoku do koryt (Froehlich i Słupik, 1986). Podczas tego opadu oprócz skutków geomorfologicznych lokalnie miały miejsce zniszczenia gospodarstw domowych, mostów i dróg (informacja ustna).

Przekształceniu uległy również koryta potoków, które na zdjęciach lotniczych nie zostały zarejestrowane ze względu na małą szerokość i zadrzewienie koryt. Jedynie na podstawie analizy mapy topograficznej 1:10 000 i badań terenowych w lipcu 2008 r. stwierdzono zmianę w środkowym biegu potoku Jaszcze na długości 30 m. Powódź w korytach potoków w lipcu 1997 r. można porównać

z wezbraniem wód z 18 lipca 1970 r., które wystąpiło po kilkudniowych opadach rozlewnych o podobnej wysokości, a ich efekt został opisany w części wstępnej artykułu. Można zatem wnioskować, że przekształcenia morfologiczne koryt potoków w 1997 r. mogły być zbliżone do skutków wezbrania w 1970.

Z kolei w czasie badań w 2008 r. obserwowano bezpośredni przebieg i skutki krótkotrwałych opadów. Wezbranie z 23 lipca 2008 wiązało się z opadem ulewnym, którego suma dobowa na posterunku w Ochotnicy Górnej wyniosła 76,3 mm (ryc. 6). Najwyższy stan wód w potokach Jaszcze i Jamne podczas kulminacyjnej fali wezbrania (około 1 m) wystąpił koło godziny 17.00. Większe zmiany zaszły w korycie potoku Jamne, ze względu na mniejszą lesistość doliny i gęst-



Ryc. 6. Opady dobowe w okresie 17–28 lipca 2008 r. (stacja IMGW w Ochotnicy Górnej)
Daily (24-hour) precipitation in the period 17–28 July 2008 (at the IMGW station at Ochotnica Górna)

szą sieć rzeczną w stosunku do doliny potoku Jaszcze. Wyraźnie dominowała erozja boczna nad denną, powodując odświeżenie starych podcięć erozyjnych i powstanie nowych, o wysokości do 3,5 m. Transportowany był materiał o frakcji do 25 cm, erodowany z pokryw rzecznych i stokowych wyścielających dolinę, w konsekwencji prowadząc do akumulacji rumowiska w korycie. Łachy żwirowe uległy porozcinaniu i nadbudowaniu, zostały także usypane nowe. Na stokach powstały 3 małe zerwy zwietrzeliny gliniasto-piaszczystej (tab. 3). W obszarach zalesionych form tego typu nie stwierdzono.

Tabela 3. Parametry form osuwiskowych powstałych w 2008 r.

Parameters of landslide forms created in 2008

Forma *Form*	Zlewnia *Catchment*	Data i przyczyny powstania *Data and reasons of creations*	Szerokość *Width* (m)	Długość *Length* (m)	Koluwia, miąższość *Colluvium, thickness* (m)
Zerwa zwietrzeliny	Jamne	23.07.2008 ok.17.30; intensywne opady	8	12	zdeponowane na drodze, około 1,5
Spływ błotny na skarpie terasy rolnej	Jaszcze	23.07.2008; intensywne opady	3,5–4	66	zdeponowane w dolnej części stoku o mniejszym nachyleniu
Zerwa zwietrzeliny	Jaszcze	23.07.2008; intensywne opady	7	15	zdeponowane na drodze, około 1,0
Osuwisko zwietrzelinowe	Jamne	19/20.09.2008; intensywne opady, działalność człowieka	13–36	56	zdeponowane na drodze, około 1,5

Opracowanie własne / Own elaboration.

Fot. 4. Odmłodzona dolna część starego osuwiska powstałego w 2008 r. w zlewni potoku Jamne

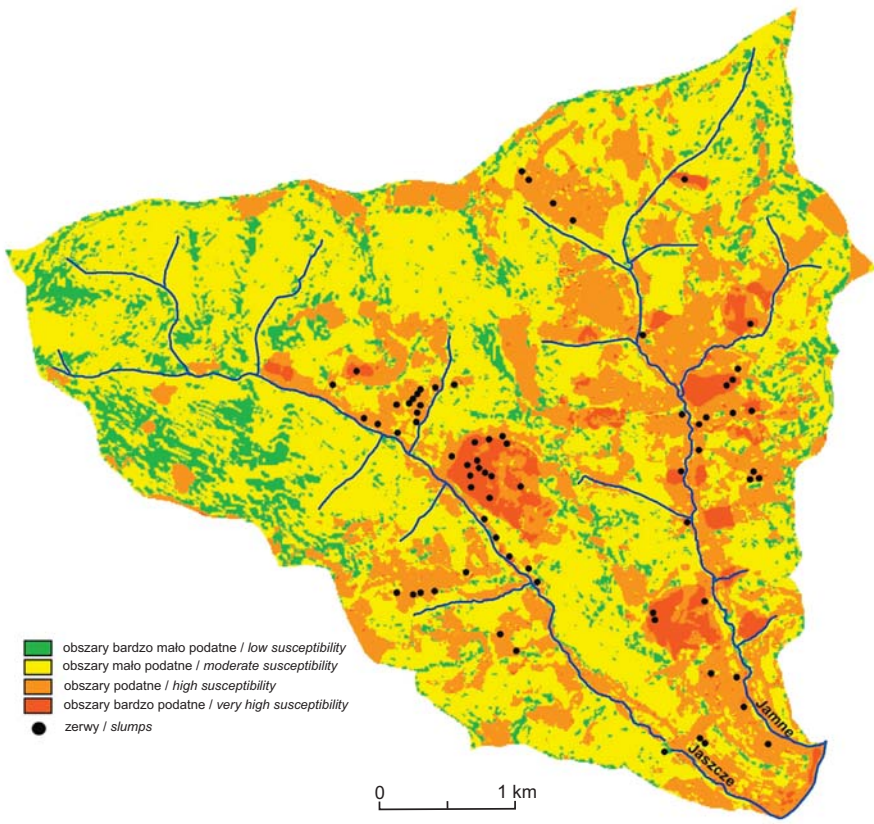
Photo 4. Rejuvenation of the lower part of an old landslide created in 2008 within the Jamne catchment

(Fot./Photo: *M. Długosz*)

Drogi stanowiły naturalne linie odpływu, sypiące niewielkie stożki napływowe. U wylotu dróg zrywkowych doszło do rozcięcia jednego stożka napływowego (szerokości 3,5–4,20 m i długości 6,70 m) na głębokość 40–50 cm i szerokość 50–80 cm.

Również w drugiej połowie września 2008 r., na skutek intensywnych opadów atmosferycznych i podcięcia stoku osuwiskowego w wyniku przebudowy drogi polnej, w dolinie potoku Jamne nastąpiło odmłodzenie w dolnej części starego osuwiska (tab. 3, fot. 4).

Mapę form osuwiskowych sporządzoną na podstawie zdjęć lotniczych z 1997 r. poddano analizie statystycznej, której celem było opracowanie mapy podatności na osuwanie (ryc. 7), z zastosowaniem *landslide index method* (Van Westen, 1994). Zarejestrowane na zdjęciach lotniczych formy porównano z mapami tematycznymi uwarunkowań wpływających na powstanie ruchów



Ryc. 7. Mapa podatności na osuwanie
Opracowanie własne z wykorzystaniem metody C.J. Van Westen (1994).

Landslide susceptibility map
Author's own elaboration applying the method of C.J. Van Westen (1994).

masowych (budowa geologiczna, użytkowanie terenu, mapa osuwisk, mapa nachyleń, mapa kształtów stoku). Metoda ta pozwala na wytypowanie obszarów podatnych na osuwanie oraz umożliwia rozpoznanie i analizę uwarunkowań osuwiskowych danego obszaru badań. Mapa przedstawia obszary potencjalnie zagrożone ruchami masowymi terenu badań, które obejmują lewe, osuwiskowe zbocze w środkowym biegu potoku Jaszcze i oba zbocza doliny Jamne, szczególnie na obszarach starych osuwisk. Ze względu na małe zróżnicowanie budowy geologicznej najbardziej podatne na lokalizację tego typu form są stoki strome (≥20°) i wylesione, użytkowane jako grunty orne lub użytki zielone, a także stoki okryte koluwiami starszych osuwisk.

Dyskusja i wnioski

Przemodelowywanie rzeźby terenu, stoków i koryt potoków osiąga największe nasilenie w czasie opadów o dużej wysokości i natężeniu. Opad o mniejszym natężeniu i dłuższym czasie trwania daje znacznie mniejsze efekty. Skutkiem krótkotrwałych ulew o dużym natężeniu są płytkie osuwiska zwietrzelinowe (zerwy) oraz spływy gruzowo-błotne.

Na natężenie ruchów masowych i gwałtowność wezbrań wpływają rzeźba, typ i miąższość gleby oraz litologia podłoża, decydując o wielkości infiltracji i spływu powierzchniowego. Ważną rolę w uaktywnianiu ruchów masowych odgrywa także gospodarcza działalność człowieka (użytkowanie ziemi, szata roślinna, terasowy układ pól, sztuczne podcinanie stoków). W czasie badanych kilku zdarzeń wylesione stoki o nachyleniu ponad 20° i mała miąższość pokryw gliniasto-szkieletowych sprzyjały powstawaniu tylko lokalnie płytkich form osuwiskowych. Nie obserwowano głębokich osuwisk skalnych, które mogą być uruchamiane tylko w wyniku długotrwałych opadów o małym natężeniu.

Porównanie rejestracji form powstałych po ulewach z mapą geologiczną wykazuje, że budowa geologiczna głębszego podłoża nie odgrywa istotnej roli w postawaniu płytkich form osuwiskowych (Gil, 1994).

Trudno też wyznaczyć wartości progowe opadów, po których mogą nastąpić różnego rodzaju ruchy masowe na stokach, jeśli nie mamy pomiarów natężenia i czasu trwania, a także zasięgu przestrzennego opadów. Dlatego wraz ze wzrostem odległości badanego obszaru od punktu pomiarowego rekonstrukcja skali procesów związanych z wielkości opadów może być obarczona znacznym błędem.

W trakcie wezbrań w 1970 i 1997 r. w obydwu potokach najważniejszą rolę odgrywała erozja boczna. Udział erozji wgłębnej był mniejszy, ponieważ pokrywy akumulacyjne łatwiej ulegały podcinaniu i rozmywaniu. Wychodnie litej skały w korytach były niszczone powoli, a bardziej odporne ławice były wypreparowywane. W dolinie potoku Jamne rozmiary przekształceń były wielokrotnie większe niż w zlewni Jaszcze, co wynika z szybkiego, skoncentrowanego spływu

wód do koryta i uruchomiania aluwiów wypełniających dno doliny. Zaznacza się zatem wyraźna różnica między oboma korytami, związana również z różną miąższością pokryw rumoszowo-gliniastych, złożonych w dnie doliny Jamne prawdopodobnie jeszcze w ostatnim glacjale.

Podczas niewielkiego wezbrania po krótkotrwałej ulewie 23 lipca 2008 r. natężenie procesów fluwialnych także okazało się znacznie większe w potoku Jamne niż w Jaszcze.

Największe skutki geomorfologiczne podczas ulew nastąpiły zatem w korytach potoków, natomiast przekształcenia stoków pod wpływem ruchów masowych były niewielkie.

Opisane zdarzenie z 23 lipca 2008 r. było typowe i może powtarzać się na obszarze Karpat fliszowych niemal corocznie. Należy się również spodziewać, że dalsze zmiany użytkowania ziemi oraz ograniczenie eksploatacji lasu w związku z powstaniem Gorczańskiego Parku Narodowego spowoduje zmniejszenie natężenia transportu rumowiska w korytach. Przy mniejszej dostawie do koryt będziemy mieć do czynienia z tendencją do erozji wgłębnej, na skutek niedociążenia koryt materiałem dostarczanym ze stoków w czasie ulew (co obserwowano w górnym biegu potoku Jaszcze).

*

Składam podziękowania Oddziałowi Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Krakowie za udostępnienie do mojej przyszłej rozprawy doktorskiej danych opadowych z posterunku IMGW w Ochotnicy Górnej, jak również Dyrekcji Gorczańskiego Parku Narodowego za zdjęcia lotnicze z 1997 r. Profesorowi Leszkowi Starklowi dziękuję za dyskusję, a recenzentom za cenne uwagi.

Piśmiennictwo

Adamczyk B., Komornicki T., 1970, *Charakterystyka gleboznawcza dolin potoków Jaszcze i Jamne,* Studia Naturae, Seria A, 3, s. 102–153.

Cebulak E., Limanówka D., Malota A., Niedbała J., Pyrc R., Starkel L., 2008, *Przebieg i skutki ulewy w dorzeczu górnego Sanu w dniu 26 lipca 2005 roku,* Materiały Badawcze: Seria Meteorologia, 40, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.

Froehlich W., 1998, *Transport rumowiska i erozji koryta potoków beskidzkich podczas powodzi w lipcu 1997 roku,* [w:] L. Starkel, J. Grela (red.), *Powódź w dorzeczu górnej Wisły w lipcu 1997 roku*, Wydawnictwo PAN, Kraków, s. 133–144.

Froehlich W., Słupik J., 1986, *Rola dróg w kształtowaniu spływu i erozji w karpackich zlewniach fliszowych,* Przegląd Geograficzny, 58, 1–2, s. 67–87.

Gerlach T., 1976, *Współczesny rozwój stoków w polskich Karpatach Fliszowych,* Prace Geograficzne, IGiPZ PAN, 122, s. 25–46.

Gerlach T., Niemirowski M., 1968, *Charakterystyka geomorfologiczna dolin Jaszcze i Jamne*, [w:] A. Medwecka-Kornaś (red.), *Doliny potoków Jaszcze i Jamne w Gorcach,* Studia Naturae, Seria A, 2, s. 11–22.

German K., 1998, *Przebieg wezbrania powodzi 9 lipca 1997 roku w okolicach Żegociny oraz ich skutki krajobrazowe,* [w:] L. Starkel, J. Grela (red.), *Powódź w dorzeczu górnej Wisły w lipcu 1997 roku,* Wydawnictwo PAN, Kraków, s. 177–184.

Gil E., 1994, *Meteorologiczne i hydrologiczne warunki ruchów osuwiskowych*, Conference Papers, IGiPZ PAN, 20, s. 89–102.

–, 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,* Dokumentacja Geograficzna, 11, Warszawa, s. 85–107.

Gil E., Starkel L., 1979, *Long-term extreme rainfalls and their role in the modelling of flysch slopes,* Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica, 13, s. 207–220.

Gorczyca E., 2004, *Przekształcenie stoków fliszowych przez procesy masowe podczas katastrofalnych opadów (dorzecze Łososiny),* Wydawnicwo UJ, Kraków.

–, 2008, *Rola płytkich ruchów osuwiskowych w kształtowaniu stoków fliszowych (na przykładzie Beskidu Wyspowego i Bieszczadów),* Przegląd Geograficzny, 80, 1, s. 105–126.

Gorczyca E., Krzemień K., 1998, *Geomorfologiczne skutki katastrofalnych opadów w lipcu 1997 r. w dolinie Łososiny (Beskid Wyspowy),* [w:] K. Pękala (red.), *Główne kierunki badań geomorfologicznych w Polsce, Stan aktualny i perspektywy*, UMCS, Lublin, s. 117–118.

Govi M., Sorzana P. F., Tropeano D., 1982, *Landslide mapping as evidence of extreme regional events,* Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica, 15, s. 81–98.

Grela J., Słota H., Zieliński J. (red.), 1999, *Dorzecze Wisły. Monografia powodzi lipiec 1997*, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.

Kotarba A., 1998, *Morfogenetyczna rola opadów deszczowych w modelowaniu rzeźby Tatr podczas letniej powodzi w roku 1997,* [w:] A. Kotarba (red.), *Z badań fizycznogeograficznych w Tatrach – III,* Dokumentacja Geograficzna, 12, Warszawa, s. 9–23.

Medwecka-Kornaś A., Kornaś J., 1968, *Zbiorowiska roślinne dolin Jaszcze i Jamne,* [w:] A. Medwecka-Kornaś (red.), *Doliny potoków Jaszcze i Jamne w Gorcach,* Studia Naturae, Seria A, 2, s. 50–91.

Niemirowska J., Niemirowski M., 1968, *Stosunki hydrograficzne zlewni potoków Jaszcze i Jamne,* [w:] A. Medwecka-Kornaś (red.), *Doliny potoków Jaszcze i Jamne w Gorcach,* Studia Naturae, Seria A, 2, s. 39–48.

Niemirowski M., 1972, *Comparison of the effects of flood in two catchment basins if the Gorce Mts (Beskid Sądecki),* Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica, 6, s. 201–203.

–, 1974, *Dynamika współczesnych koryt potoków górskich (na przykładzie potoków Jaszcze i Jamne w Gorcach),* Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne, 34.

Obrębska-Starklowa B., 1969, *Stosunki mikroklimatyczne na pograniczu pięter leśnych i pól uprawnych w Gorcach,* Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne, 23.

–, 1970, *Mezoklimat zlewni potoków Jaszcze i Jamne*, Studia Naturae, Seria A, 3.

Patkowski B., 2002, *Rola ekstremalnych wezbrań w kształtowaniu koryta Uszwicy (na przykładzie powodzi w latach 1997–1998),* Prace Instytutu Geografii AŚ w Kielcach, 6, Kielce, s. 139–152.

Sikora W., Żytko K., 1968, *Warunki geologiczne dolin Jaszcze i Jamne*, [w:] A. Medwecka-Kornaś (red.), *Doliny potoków Jaszcze i Jamne w Gorcach,* Studia Naturae, Seria A, 2, s. 23–38.

Słupik J., 1981, *Rola stoku w kształtowaniu odpływu w Karpatach fliszowych*, Prace Geograficzne, IGiPZ PAN, 142.

Starkel L., 1976, *The role extreme (catastrophic) meterological events in contemporary evolution of slopes*, [w:] E. Derbyshire (red.), *Geomorphology and Climate*, Wiley, Chichester, s. 203–246.
–, 1986, *Rola zjawisk ekstremalnych i procesów sekularnych w erozji gleby (na przykładzie fliszowych Karpat),* Czasopismo Geograficzne, 57, 2, s. 203–213.
–, 1996, *Geomorphic role of extreme rainfalls in the Polish Carpathians,* Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica, 30, s. 21–39.
Starkel L. (red.), 1997, *Rola gwałtownych ulew w ewolucji rzeźby Wyżyny Miechowskiej (na przykładzie ulewy w dniu 15 września 1995 roku),* Dokumentacja Geograficzna, 8, Warszawa.
Starkel L., Grela J. (red.), 1998, *Powódź w dorzeczu górnej Wisły w lipcu 1997 roku,* Wydawnictwo PAN, Kraków.
Van Westen C. J., 1994, *GIS in landslide hazard zonation: a review, with examples from the Andes Colombia,* [w:] M. F. Price, D. I. Heywood (red.), *Mountain Environments and Geographic Information System*, International Institute for Aerospace Survey & Earth Sciences Enschede, The Netherlands, s. 132–165.
Ziętara T., 1968, *Rola gwałtownych ulew i powodzi w modelowaniu rzeźby Beskidów,* Prace Geograficzne, IGiPZ PAN, 60, Warszawa.
Ziętara T., 2002*, Rola gwałtownych ulew i powodzi w modelowaniu rzeźby terenu oraz niszczeniu infrastruktury osadniczej w górnej części dorzecza Wisły,* [w:] Z. Górka, Jelonek A. (red.), *Geomorfologiczne uwarunkowania rozwoju Małopolski,* Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Kraków, s. 37–54.
–, 2007, *Rola powodzi błyskawicznych w niszczeniu infrastruktury osadniczej w Karpatach,* [w:] J. Lach, M. Borowiec, T. Rachwał (red.), *Procesy transformacji społeczno-ekonomicznych i przyrodniczych struktur przestrzennych*, Akademia Pedagogiczna, Kraków, s. 662–670.

[Wpłynęło: kwiecień; poprawiono: lipiec 2009 r.]

ANNA BUCAŁA

THE ROLE OF SHORTLIVED DOWNPOURS IN SHAPING SLOPES AND VALLEY BOTTOMS IN THE GORCE MOUNTAINS (AS EXEMPLIFIED BY THE JASZCZE AND JAMNE CATCHMENTS)

Heavy downpours and flash floods accelerate the denudation of slopes, as well as erosion, and hence accumulation in the bottoms of valleys (Słupik, 1981; Starkel, 1996; Gil, 1998). However, the geomorphological impact depends less on the amount and duration of falls of rain, and more on intensity and spatial extent. The intensity of mass movements and floods also depends on relief, the type and thickness of soil, the lithology and tectonic history of rocks, which together determine infiltration rates and runoff. An important role in triggering mass movements is also played by human activity (land use, terracing and the undercutting of slopes). This paper presents the role of short-duration downpours occurring in the July of 1997 and 2008 where the shaping of the Jaszcze and Jamne valleys in the Gorce Mountains is concerned.

The narrow valley of the Jaszcze has very steep slopes and is covered by dense patches of forest. In contrast, the Jamne Valley with its predominantly gentle slopes has been largely deforested.

At higher elevations, the Jaszcze catchment has a prevalence of meadows and pastures that contrasts with the dominant arable land lower down. The Jamne catchment in turn has meadows and pastures of its own, plus arable fields reaching altitudes of 1100 m a.s.l. (Obrębska-Starklowa, 1970).

Following the rainfall of July 1997, it proved possible to register 85 new superficial landslides on air photos (55 in the Jaszcze Valley and 30 in the Jamne Valley), these covering a total area of c. 29,700 m^2. Among dominant forms were slumps and mudflows of loamy-sandy regolith, created mainly on steep, grass-covered slopes (≥20°), on the edges of field terraces and on the colluvium of old landslides.

A flood of 23 July 2008 was also connected with a heavy downpour, daily rainfall that day reaching 76.3 mm at the river outlet. The highest level in the Jaszcze and Jamne was noted at about 17.00.

The most marked changes characterised the Jamne channel, this reflecting its more limited forest cover and the higher density of the river network. Lateral erosion prevailed over downcutting, causing the reactivation of old undercuts and the development of new ones, the height reaching 3.5 m. Boulders up to 25 cm in size were transported, and the deposition of debris followed. Older gravel bars were cut and new ones built up. Only a few small earth slumps appeared on the slopes, and these were never in forest.

A map showing the potential susceptibility of the Jaszcze and Jamne catchments was prepared on the basis of field data and a statistical analysis, using the landslide index method (Van Westen, 1994).

While the greatest geomorphological effects of rainfall are to be noted in stream channels, the transformation of slopes by mass movements is less remarkable. However superficial landslides are characteristic of deforested slopes covered by a thin loamy regolith over flysch sandstones and shales. GIS analysis and field observations make it clear that the geological structure deeper down does not play an important role in triggering of superficial landslides.

http://rcin.org.pl