

Geomorfologiczne skutki oraz rola lokalnych ulew i powodzi w kształtowaniu rzeźby progów Pogórza Karpackiego (na przykładzie ulewy z czerwca 2006 r. w rejonie Sędziszowa Młp.)

Michał Długosz^{*1}, Piotr Gębica²

¹*Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Zakład Geomorfologii i Hydrologii Gór i Wyżyn,
ul. św. Jana 22, 31-018 Kraków*

²*Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie, ul. Mjr. H. Sucharskiego 2, 35-225 Rzeszów*

Morfogenetyczna rola wody płynącej przejawia się w różny sposób i z różną intensywnością, ponadto zależy od struktury opadów, ich wydajności, rozkładu czasowego i przestrzennego. Występowanie ekstremalnych zjawisk erozyjnych jest warunkowane nie tylko intensywnością oraz przestrzennym zasięgiem opadów, ale także stopniem rozczłonkowania terenu, nachyleniem zboczy, podłożem geologicznym, pokrywą roślinną, typami gleb oraz warunkami wilgotnościowymi w podłożu w okresie bezpośrednio poprzedzającym wystąpienie tych zjawisk (Kotarba 1998).

Wpływ opadów nawalnych na kształtowanie rzeźby był przedmiotem wielu opracowań na całym świecie. Szczególnie interesującym aspektem w tego typu pracach jest wyznaczenie wartości progowych opadów uruchamiających ruchy osuwiskowe na stokach. Badania prowadzono w wielu rejonach świata z zastosowaniem zróżnicowanych metod badawczych (Caine 1980, Crozier i in. 1980, Govi i in. 1982, Innes 1983, Terlin 1997, Starkel, Basu (ed.) 2000, Giannecchini 2005).

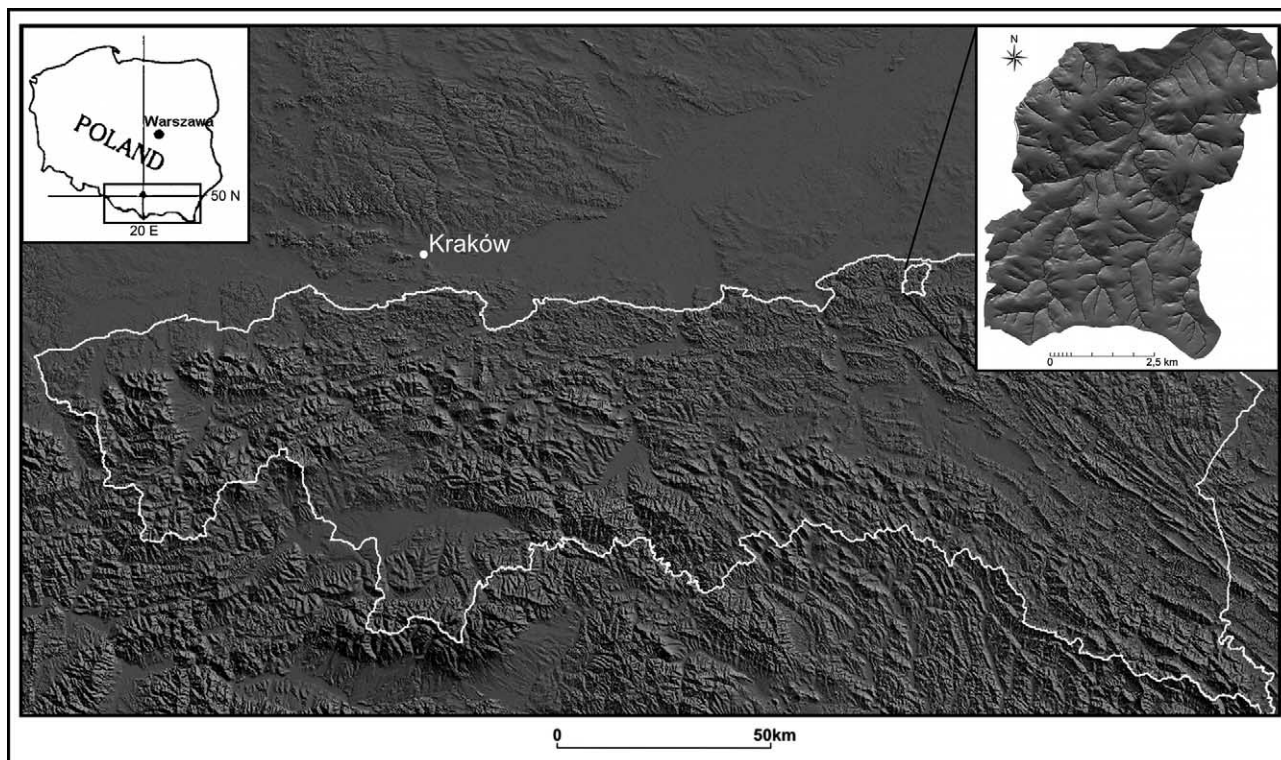
W polskich Karpatach fliszowych również prowadzono badania nad rolą opadów nawalnych w modelowaniu stoków i den dolin (Jakubowski 1964, Zięta-
ra 1968, Gil i in. 1979, Gil 1994, Starkel 1996). Zainteresowanie badaczy tą tematyką wzrosło szczególnie po powodzi w lipcu 1997 roku (Kotarba 1998, Poprawa i in. 1998, Gębica i in. 1998, Rybicki i in. 1998, Gorczyca 2004).

Celem pracy jest określenie roli opadów nawalnych w kształtowaniu rzeźby strefy progowej Pogórza Karpackiego oraz wytypowanie obszarów podatnych na ruchy masowe przy wystąpieniu opadów atmosferycznych o określonej sumie i natężeniu.

Obszar badań

Badania wykonano dla obszaru testowego o powierzchni 37,3 km² obejmującego południową część gminy Sędziszów Małopolski oraz fragment gminy Ropczyce (ryc. 1). Obszar ten wchodzi w skład Pogórza Dynowskiego rozciągającego się na przedpolu Beskidów, od Wisłoki do Sanu oraz Kotliny Sandomierskiej (Starkel 1972). Rzeźbę pogórską tworzą płaskie garby leżące w wysokościach 350–400 m n.p.m. W północnej części Pogórza opada ku Kotlinie Sandomierskiej progami o wysokościach względnych 50–100 m. Próg ten rozcinają doliny należące do dorzecza Wielopolki (Budzisz, Bystrzyca i Gnojnica) o przebiegu południkowym oraz liczne małe formy dolinne. Grzbiety o wyrównanych wierzchołkach rozczłonkowane są dolinami do głębokości 100–150 m, o dnach szerokich, sterasowanych w odcinkach dolnych, a wąskich w odcinkach źródłowych (Starkel 1957, Klimek i in. 1969). Dominują stoki o nachyleniu 3–8° (47%) i 9–14° (27%). Większe nachylenia występują w obrębie stromych zboczy dolin wciosowych, zwłaszcza w południowej części regionu (ryc. 2B). W północnej

* e-mail: dlugosz@zg.pan.krakow.pl



Ryc. 1. Obszar badań

części regionu (Pradolina Podkarpacka) dominuje typ rzeźby wysoczyznowej (Płaskowyż Sędziszowski) z płaskimi garbami lessowymi.

Strefa progów Pogórza Karpackiego na odcinku Sędziszów–Ropczyce należy w południowej części do płaszczowiny skolskiej, a w północnej do zapadliska przedkarpackiego. W budowie podłoża dominują piaskowce i łupki inoceramowe, rozwinięte w dwóch szerokich pasach, zajmujących 70% powierzchni obszaru badań. W północnej części występują również lokalnie piaskowce gruboławicowe i łupki warstw inoceramowych (20% powierzchni). Starsze warstwy skalne, w rejonie wsi Szkoła i Zagorzyce, są rozdzielone cienkimi ławicami młodszych utworów skalnych, w skład których wchodzi pstry łupki eoceńskie oraz warstwy menilitowe (ryc. 2A). Na podłożu skał fliszowych zalegają utwory zwietrzelinowe, stokowe i pokrywa lessu miąższości co najmniej 10 m. Na obszarze Kotliny Sandomierskiej w podłożu występują iły miocenne, przykryte zróżnicowanymi litologicznie utworami czwartorzędowymi, na powierzchni głównie lessami.

Strefa progowa Pogórza Karpackiego leży w obrębie najcieplejszego piętra klimatycznego w Karpatach o średniej rocznej temperaturze powietrza w granicach $+8^{\circ}$ do $+6^{\circ}$ (piętro umiarkowanie ciepłe). Średnie sumy opadów na stacji w Ropczycach w latach 1950–1974 wynosiły 690 mm. Najniższe średnie sumy miesięczne opadu przypadają na styczeń i marzec (38 mm), maksymalne średnie sumy miesięczne opadu notowano w czerwcu i lipcu – 97 mm (Soja 1983).

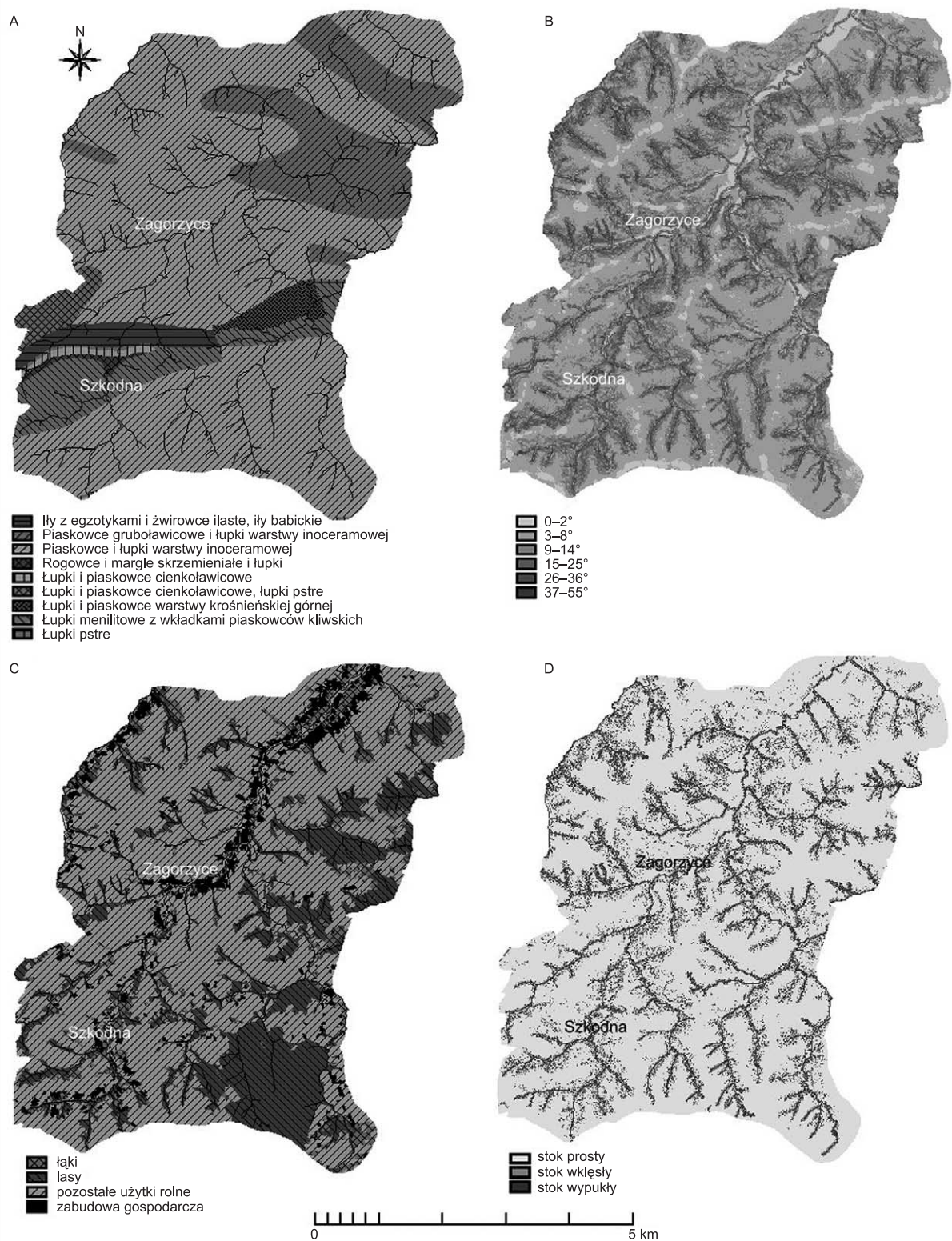
Region pogórski, a szczególnie lessowe przedgórze, to obszary silnie przekształcone przez człowieka. Naturalne zbiorowiska roślinne zostały zastąpione przez pola uprawne i zabudowę. Na badanym obszarze użytki rolne zajmują ponad 23 km², co stanowi blisko 63% powierzchni. Udział lasów jest niewielki i wynosi jedynie 9 km² (23%), pozostałe 14% stanowią łąki oraz zabudowa gospodarcza (ryc. 2C)

Metoda badań

Podstawą badań było kartowanie geomorfologiczne przeprowadzone bezpośrednio po wystąpieniu powodzi podczas objazdu terenowego w czerwcu 2006 r. Prace terenowe kontynuowano jesienią 2006 r oraz wiosną 2007 r. Polegały one na kartowaniu form osuwiskowych oraz koryt potoków z wykorzystaniem formularza do kartowania ruchów masowych, map topograficznych w skali 1:10 000 oraz GPS.

Tło opadowe opracowano na podstawie dobowych sum opadów z maja, czerwca oraz lipca 2006 r. Dane klimatyczne zostały zakupione w IMGW w Krakowie i pochodzą z posterunku opadowego Ropczyce-Witkowice położonego w odległości 5 km od obszaru badań.

Następnie zebrane dane terenowe poddano analizie statystycznej z wykorzystaniem technik GIS. W tym celu wykorzystano metodę badań, określaną jako „landslide index method” (Van Westen 1994). Na



Ryc. 2. A. Mapa geologiczna, B. Mapa nachyleń, C. Mapa użytkowania terenu, D. Mapa kształtu stoków

potrzeby analizy opracowano cyfrowy model terenu, mapę geologiczną, mapę nachyleń, mapę kształtu stoków oraz mapę użytkowania terenu (ryc. 2).

Opady atmosferyczne w maju i czerwcu 2006 r.

Na przełomie maja i czerwca 2006 r. w całych Karpatach polskich notowano wysokie sumy opadów atmosferycznych, znacznie przekraczające średnie

sumy miesięczne. Na posterunku opadowym w Ropczycach opad atmosferyczny w maju wyniósł 112 mm, w czerwcu suma opadu przekroczyła 184 mm.

Okres opadowy, istotny z punktu widzenia przebiegu wezbrania i ruchów osuwiskowych, rozpoczął się 17 maja 2006 r., kiedy w ciągu 3 dni spadło 45 mm deszczu. Po kilku dniach przerwy kolejne opady odnotowano 23 maja, które trwały do 6 czerwca. Suma opadów w przyjętym przedziale czasowym od 17 maja do 3 czerwca 2006 r. wyniosła 169 mm (ryc. 3). Były to opady w większości o małym natężeniu o sumach dobowych nie przekraczających 6 mm. Okres ten zakończył się opadem nawałnym w dniu 3 czerwca, w ciągu doby na posterunku w Ropczycach spadło 55 mm deszczu.

Wpływ opadów ulewnych na ruchy masowe

Intensywne opady atmosferyczne spowodowały powstanie szeregu nowych form osuwiskowych oraz odmłodzenie osuwisk już istniejących. Decydujące znaczenie w przekształceniu rzeźby na stoku miał opad dnia 3 czerwca, którego suma na posterunku w Ropczycach wyniosła 55 mm (ryc. 3).

Na podstawie badań terenowych wyznaczono łącznie 164 formy osuwiskowe różnych typów. Spośród wszystkich form wyodrębniono 89, które powstały bądź zostały odmłodzone w czerwcu 2006 r. Wśród świeżych form dominują zsuwy zwietrzliny (33), spływy błotne (24), podcięcia erozyjne (25) oraz zerwy z osiadania (6).

Płytke zsuwy zwietrzliny, głównie rotacyjne, powstały na stokach niezalesionych o dużym nachyleniu (>15°) w obrębie załomu pomiędzy stokiem a zboczem doliny wciosowej. Formy tego typu obser-

wowano również w obrębie lejów źródłowych dolin wciosowych położonych w lesie. W większości przypadków są to formy starsze, odmłodzone w czerwcu 2006 r. Dominują niewielkich rozmiarów zsuwy, których powierzchnia nie przekracza 3000 m², średnia szerokość wynosi 26 m, a długość 32 m. Posiadają dobrze widoczne nisze o wysokościach 1–2 m, natomiast miąższość koluwiów dochodzi do 3 m.

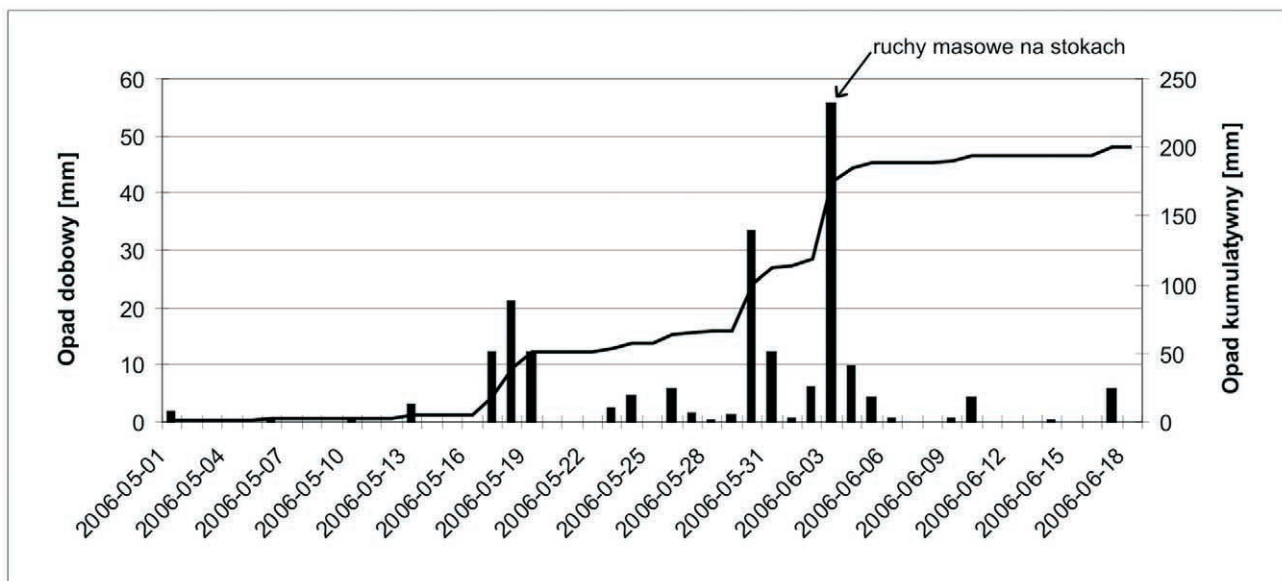
Na zboczach o dużym nachyleniu powstały liczne spływy błotne, a w strefie przykorytowej wskutek podcięcia zbocza – zerwy i obrywy. Są to formy położone głównie w lesie, dobrze widoczne w krajobrazie. Charakteryzują się niewielkimi rozmiarami, średnio 9 m długości i 8 m szerokości. Materiał, który uległ przemieszczeniu, w większości przypadków został odprowadzony przez wodę płynącą.

Największe nagromadzenie opisywanych form występuje w części zachodniej oraz południowo-zachodniej obszar badań (ryc. 4). Wpływ na to miał prawdopodobnie przestrzenny rozkład wielkości i intensywności opadu atmosferycznego oraz występowanie pokryw zwietrzelinowo-ziemnych warunkujących powstanie tego typu form w warunkach pogórskich.

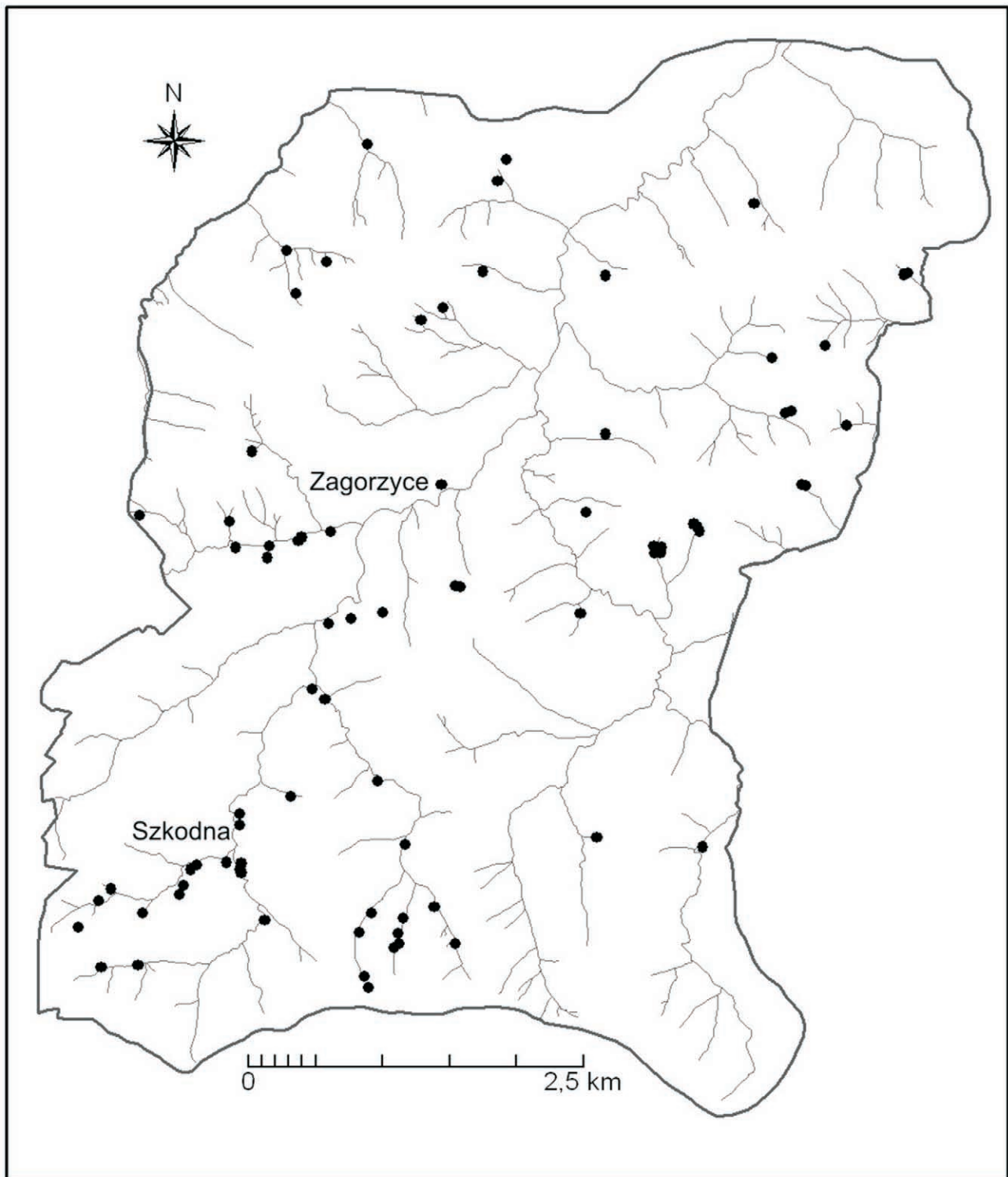
Ruchy osuwiskowe aktywowane przez intensywne opady atmosferyczne w czerwcu 2006 r. spowodowały nieznaczne szkody w infrastrukturze. W kilku miejscach nastąpiło zabarykadowanie jezorami koluwalnymi dróg bocznych, zniszczeniu uległo także kilka pól uprawnych i studni gospodarczych. Wskutek uaktywnienia ruchów osuwiskowych zagrożonych było kilka gospodarstw.

Obszary podatne na osuwanie

Zebrane dane terenowe poddano analizie statystycznej, której celem było opracowanie mapy podat-



Ryc. 3. Przebieg opadów (posterunek Ropczyce) poprzedzających ruchy masowe i wezbranie w zlewni potoku Budzisz

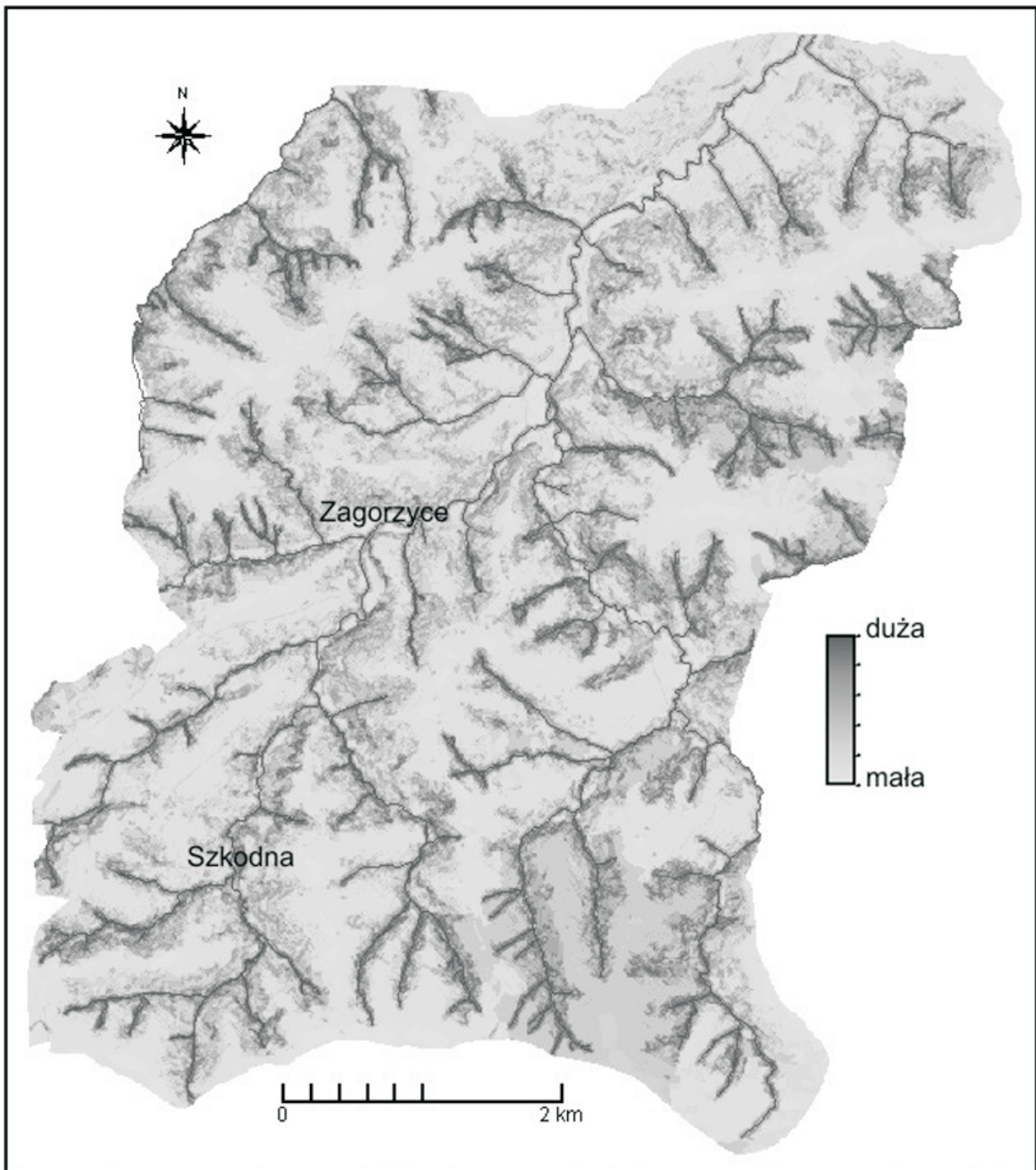


Ryc. 4. Rozmieszczenie form powstałych wskutek ruchów masowych uruchomionych przez opady w dniu 3 czerwca 2006 roku

ności na osuwanie. Podstawą obliczeń jest mapa ruchów masowych oraz mapy tematyczne czynników wpływających na powstawanie osuwisk (budowa geologiczna, użytkowanie terenu, mapa nachyleń, mapa kształtu stoków).

Analiza nie wykazała związku rozmieszczenia płytkich zsuwów zwietrzeliny oraz spływów błotnych

z budową geologiczną. Czynniki najważniejszymi wpływającymi na przestrzenne rozmieszczenie tego typu form na badanym obszarze są nachylenie terenu oraz kształt stoku. Na podstawie tych dwóch elementów opracowano mapę podatności na osuwanie, która przedstawia obszary potencjalnie zagrożone przez ruchy masowe przy wystąpieniu opadów atmosferycznych.



Ryc. 5. Mapa podatności na osuwanie przy wystąpieniu opadów atmosferycznych o wysokiej sumie i natężeniu

rycznych o zbliżonej sumie i intensywności jak w dniu 3 czerwca 2006 r. (ryc. 5). Są to stromo nachylone zbocza dolin wciosowych o nachyleniach powyżej 15° oraz stoki o kształcie wypukłym i wklęsłym.

Skutki wezbrania w dnach dolin i erozja wód opadowych na stokach uprawnych

Obfite opady atmosferyczne w drugiej połowie maja oraz opad nawalny w dniu 3 czerwca 2006 r. spowodował gwałtowne wezbranie w rzekach dorze-

cza Wielopolki (Bystrzyca, Budzisz i Gnojnyca), drenujących próg pogorza. Poziom wody w korycie Budzisz i Bystrzyca oraz ich większych dopływów podniósł się od 2 do 4 metrów, zalewając całkowicie lub częściowo podtapiając położone wzdłuż drogi domy i zabudowania gospodarcze. W górnym odcinku rzeki Budzisz (wieś Szkodna) w kilku miejscach w wyniku erozji wgłębnej koryto potoku na długości kilkudziesięciu metrów zostało pogłębione o ok. 0,5–1 m, odsłaniając skalne dno z kotłami eworsyjnymi. W odcinkach o krętym korycie i na łukach zakoli w wyniku erozji bocznej w kilku miejscach nastąpiło cofnięcie brzegów rzeki od 1 do 2 m i odsłonięcie cokołu skalnego z pokrywą żwirową. Szczególne zniszczenia powstały w rejonie kościoła w Zagórzycach Górnych, gdzie na odcinku 200 m podcięcie lewego brzegu koryta spowodowało powstanie wyrw na drodze asfaltowej oraz całkowite zniszczenie lub podmycie filarów mostów. W rozszerzeniach dna doliny (Zagórzycy Dolne) rozlewające się wody powodziowe akumulowały za naturalnym wałem brzegowym cienkie pokrywy mad. Największe szkody w infrastrukturze wystąpiły w samym Sędziszowie Młp., gdzie zostały zalane osiedla domów, drogi asfaltowe i zakłady przemysłowe, zlokalizowane na równinie zalewowej Budzisz na obszarze Rynny Podkarpackiej. Wody powodziowe zalały również budynki położone blisko koryta Wielopolki. Na polach uprawnych (szczególnie wzdłuż drogi A-4) obserwowano długie na 20–100 m i głębokie do kilkudziesięciu centymetrów żłobiny, bruzdy erozyjne i kotły eworsyjne wycięte w pokrywach pylastych na skutek skoncentrowanego spływu wody opadowej. U podnóża erodowanych stoków następowała akumulacja deluwii osiagających miąższość kilkunastu centymetrów.

Podsumowanie

Obfite opady atmosferyczne, jakie zanotowano w Karpatach Polskich na przełomie maja i czerwca 2006 r., spowodowały duże zmiany na stokach oraz w dnach dolin.

Opad dobowy o sumie 55 mm (3.06.2006) można uznać za wartość progową, inicjującą ruchy osuwiskowe i erozję gleb na stokach oraz wezbranie w dolinie. Wartość ta jest nieco niższa od podobnych zdarzeń notowanych w Karpatach Polskich (Jakubowski 1964, Ziętara 2002, Gorczyca 2004). Wpływ na to może mieć kilka czynników, m.in. obecność wilgotnego okresu poprzedzającego wystąpienie opadu krytycznego, który prawdopodobnie przyczynił się do zmniejszenia wysokości progów opadowych. Problemy z interpretacją danych wynikają również z oddalenia posterunku w Ropczykach względem obszaru badań i jego położenia na przedpolu Karpat.

Bezpośrednim efektem gwałtownych opadów z dnia 3 czerwca było katastroficzne wezbranie w korycie Budzisz. W południowej części regionu wystąpiła erozja boczna oraz punktowe przegłębienie dna koryta. Na stokach zalesionych i zadarnionych powstały liczne spływy błotne oraz podcięcia erozyjne, odmłodzeniu uległy płytkie osuwiska zwietrzelinowe położone w lejach źródłowych. Na stokach uprawnych miała miejsce erozja żłobinowa, której efektem były deponowane u podnóża pokrywy deluwii.

Analiza GIS oraz obserwacje terenowe wykazały, że formy tego typu w strefie progowej Pogorza Karpackiego powstają głównie w obrębie stromo nachylonych zboczy dolin: 15–25° i 26–36° oraz w obrębie stoków wypukłych lub wklęsłych. Prawdopodobnie decydujące znaczenie w przekształcaniu stoków ma również intensywność oraz rozkład przestrzenny opadów atmosferycznych.

Literatura

- Caine N. 1980. The rainfall intensity – duration control of shallow landslides and debris flows. *Geogr. Annaler* 62A, 1–2: 23–27.
- Crozier M.J., Eyles R.J. 1980. Assessing the probability of rapid mass movement. In *The New Zealand Institution of Engineers – Proceedings of Technical Groups* (ed.), Proc. Third Australian – New Zealand Conference on Geomechanics, Wellington, 2.47–2.51.
- Giannecchini R. 2005. Rainfall triggering soil slips in the southern Aquan Alps. *Advances in Geosciences*, 2: 21–24.
- Gil E. 1994. Meteorologiczne i hydrologiczne warunki ruchów osuwiskowych. *Conference Papers, IGIPZ PAN*, 20: 89–102.
- Gil E., Starkel L. 1979. Long-term extreme rainfalls and their role in the modelling of flysch slopes. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 13: 207–220.
- Gębica P., Patkowski B., Lasek A., Sokołowski T. 1998. Geomorfologiczne i sedimentologiczne skutki przerwania wałów przeciwpowodziowych w dolinie Wisły w lipcu 1997 roku. [W:] L. Starkel, J. Grela (red.), *Powódź w dorzeczu górnej Wisły w lipcu 1997 roku*. Konferencja Naukowa w Krakowie, 7–9 maja 1998, s. 185–194.
- Gorczyca E. 2004. Przekształcenie stoków fliszowych przez procesy masowe podczas katastrofalnych opadów (dorzecze Łososiny). *Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków*.
- Govi M., Sorzana P., Tropeano D. 1982. Landslide mapping as evidence of extreme regional events. *Studia Geomorph. Carpatho-Balcanica*, 15.
- Jakubowski K. 1964. Płytkie osuwiska zwietrzelinowe na Podhalu. *Pr. Muz. Ziemi*, 6: 113–146.

- Innes J.L. 1983. Debris flows, *Progress in Physical Geography*, 7: 469–501.
- Klimek K., Kotarba A., Obrębska-Starkel B., Starkel L. 1969. Analiza i ocena środowiska geograficznego powiatu ropczyckiego (dla potrzeb planowania regionalnego). *Dokum. Geogr.*, z. 2/3.
- Kotarba A. 1998. Morfogenetyczna rola opadów deszczowych w modelowaniu rzeźby Tatr podczas letniej powodzi w roku 1997. [W:] *Z badań fizyczno-geograficznych w Tatrach III*. *Dokum. Geogr. IGiPZ PAN*, 12: 9–23.
- Poprawa D., Rączkowski W. 1998. Geologiczne skutki powodzi 1997 na przykładzie osuwisk województwa nowosądeckiego. [W:] L. Starkel, J. Greła (red.), *Powódź w dorzeczu górnej Wisły*. Wydawnictwo PAN, Kraków, s. 119–131.
- Rybicki S., Margieleski W., Domagała A. 1998. Osuwisko na stoku góry Palenica w Szczawnicy (Pieniński Pas Skałkowy) i jego związek z ekstremalnymi opadami w lipcu 1997 r., *Przeł. Geol.*, 46, 11.
- Soja R. 1983. Środowisko przyrodnicze okolic Sędziszowa Małopolskiego. [W:] K. Baczkowski (red.), *Szkice z dziejów Sędziszowa Młp. i okolic*, s. 11–28.
- Starkel L. 1957. Rozwój morfologiczny progu Pogórza Karpackiego między Dębicą a Trzcianą. *Prace Geogr. PAN*, 11.
- Starkel L. 1972. Charakterystyka rzeźby polskich Karpat i jej znaczenie dla gospodarki ludzkiej. *Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich*, 10: 75–150.
- Starkel L. 1996. Geomorphic role of extreme rainfalls in the Polish Carpathians. *Studia Geomorph. Carpatho-Balcanica*, 30: 21–39.
- Starkel L., Basu S. (red.) 2000. *Rains, landslides and floods in the Darjeeling Himalaya*. Indian National Science Academy, New Delhi.
- Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000, 1999. Marciniec Paweł, Arkusz Ropczyce, M-34-68-C, n. 980.
- Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000. Arkusz Frysztak, M-34-80-A, n. 1003.
- Terlin M.T.J. 1997. Hydrological landslide triggering in ash-covered slopes of Manizales (Colombia). *Geomorphology*, 20: 165–175.
- 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 & Geographic Information System*, s. 132–165.
- Ziętara T. 1968. Rola gwałtownych ulew i powodzi w modelowaniu rzeźby Beskidów. *Prace Geogr. IGPAN*, 60.
- Ziętara T. 2002. Rola gwałtownych ulew i powodzi w modelowaniu rzeźby terenu oraz niszczeniu infrastruktury osadniczej w górnej części dorzecza Łososiny. [W:] Z. Górka, A. Jelonek (red.), *Geograficzne uwarunkowania rozwoju Małopolski*, Kraków, s. 37–54.