



Geologiczne uwarunkowania rozwoju osuwisk w rejonie Krynicy-Zdroju

Edyta Rycio¹



Geological conditions of the development of landslides in the Krynica-Zdrój region. Prz. Geol., 66: 294–302.

Abstract. The paper presents the final results of mapping work of the Polish Geological Institute – National Research Institute, carried out in the Krynica-Zdrój area in 2010–2012. In the Beskid Niski and Sądecki there are numerous landslides of surface sediments. They also occur in the spa zone of Krynica-Zdrój, posing a threat to its functioning. The basic problem is to recognise the nature of these geohazards and their occurrence in this region. For these reasons, a landslide inventory map was constructed for the whole study area (urban-rural commune). As a result of the analysis, a large variation in the distribution, type and range of landslides has been documented. The landslide surface index and the landslide density index were calculated, concluding that the two indexes differ from each other depending on the geographical position of the analysed area. Both indicators are 2.5–3 times

higher for the Krynica-Zdrój town area than for the rural commune area. This variability is associated with different lithologies, tectonics, and geomorphologic features in the area. Krynica-Zdrój lies in the area predisposed to the development of landslides, where the overlapping effects of several passive factors causes mass movements. The Krynica-Zdrój area is composed of thick-bedded sandstones of the Krynica Sandstone Member and the Piwniczna Sandstone Member. They are underlain by variegated shales and thin-bedded turbidites of the Zarzecze Formation. In addition, tectonics of the deep basement is very important. Under the town, there is a deep Krynica fault zone additionally cut by sets of strike-slip faults that altogether cause severe disintegration of the subsurface material and the weakening of cohesive force. The area with the dense sets of faults is an active stress zone. Epicentres of earthquakes probably clustered along all these faults, causing the development and rejuvenation of many landslides in the Krynica-Zdrój area.

Keywords: landslides, layer slope, ground-surface slope, earthquakes, landslide surface index, landslide density index

Krynica-Zdrój jest jednym z największych uzdrowisk w Polsce, wysoko cenionym ze względu na występowanie źródeł wód mineralnych i leczniczych. Uzdrowisko to leży w Karpatach (ryc. 1), na pograniczu Pasma Jaworzyny Krynickiej, należącego do Beskidu Sądeckiego, i Gór Grybowskich, zaliczanych do Beskidu Niskiego (Starkel, 1972). Poważne zagrożenie dla infrastruktury stanowią na tym terenie ruchy masowe ziemi.

Mimo że badania budowy geologicznej okolic Krynicy-Zdroju rozpoczęto już w 1884 r. (Paul, 1884) i jest ona dobrze rozpoznana, to problem ruchów masowych nie został dotąd szczegółowo opracowany. Pierwszą inwentaryzację osuwisk na terenie Karpat przeprowadzono w latach 1967–1970. Wyniki tej rejestracji, uwzględniające ówczesny podział administracyjny, przedstawiono w *Katalogach osuwisk* wydanych przez Instytut Geologiczny w 1975 r. W gminie Krynica-Zdrój udokumentowano wówczas 48 osuwisk (Chowaniec i in., 1975). W latach 90. XX w. Z. i S.W. Alexandrowiczowie (1992, 1999) badali osuwisko na Górze Parkowej w Krynicy-Zdroju i na podstawie datowania metodą C¹⁴ torfów i odnalezionych w nich zwęglonych pni i gałęzi drzew ustalili, że powstało ono 8430 ± 110 lat BP, a 2690 ± 110 lat BP zostało odmłodzone. Pojedyncze osuwiska oznaczono na zbiorczych mapach Bobera (1985, 1990) oraz na arkuszach Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski (Węclawik, Wójcik, 1993b; Chrzastowski i in., 1993b; Paul, 1993b). Margielewski (1997a, b) ustalał wiek i związek z geologią podłoża pojedynczych osuwisk pasma Jaworzyny Krynickiej. Próbe datowa-

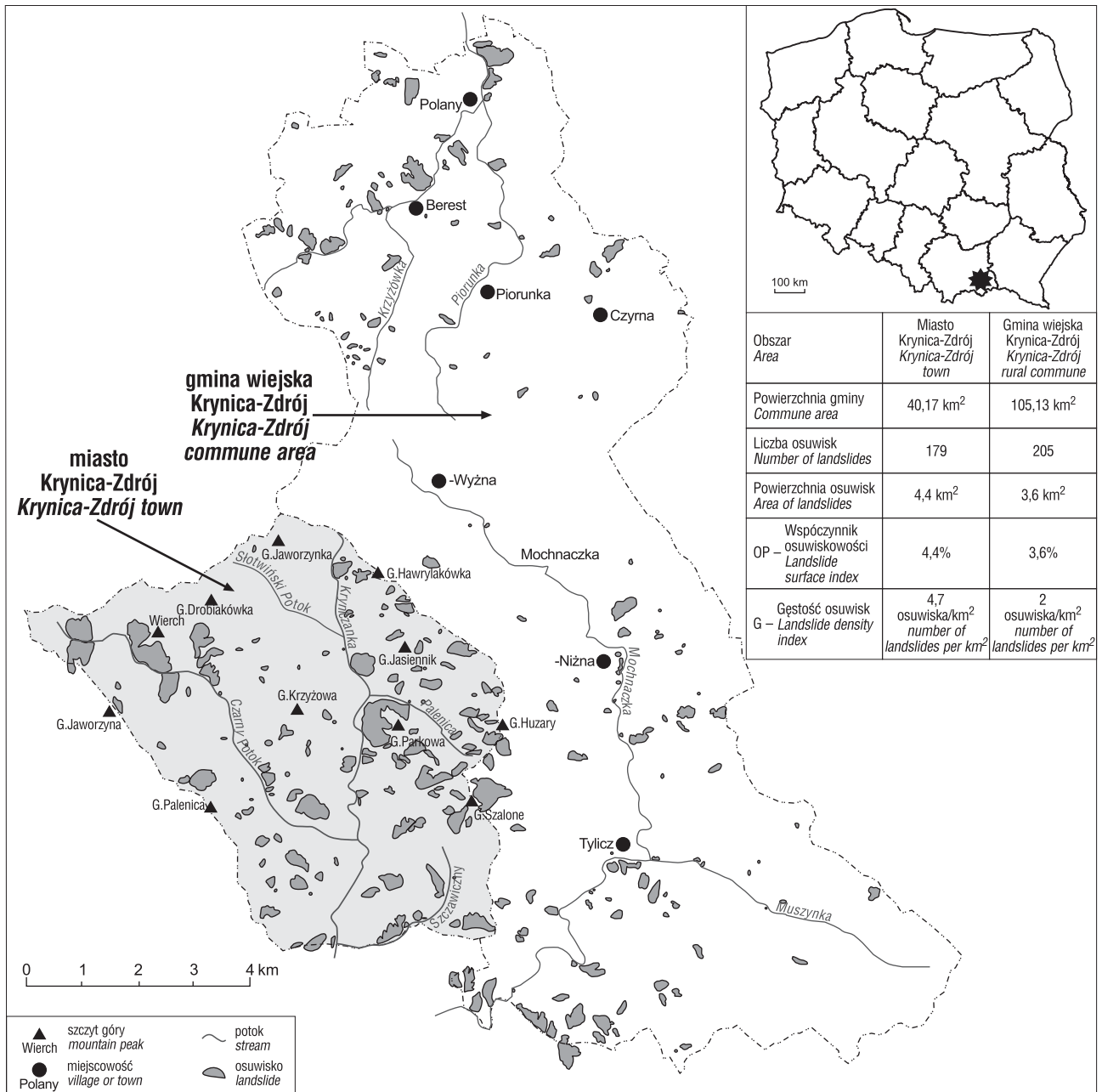
nia osuwisk w Paśmie Jaworzyny Krynickiej – metodą dendrogeomorfologiczną oraz radiowęglową – podjęli Krąpiec i Margielewski (1991, 2000). Według tych badań wyraźne ożywienie procesów osuwiskowych nastąpiło w wilgotnych okresach holocenu (subboreał, wczesny subatlantyk, mała epoka lodowa) lub wiązało się z trzęsieniami ziemi. W pracy Oszczycki i Zuchiewicz (2007), poświęconej szczegółowym badaniom geologii, tektoniki i hydrogeologii rejonu Krynicy-Zdroju, zaprezentowano mapę z lokalizacją 160 osuwisk na tym terenie.

W latach 2010–2012 w ramach projektu System Osłony Przeciwosuwiskowej (SOPO) prowadzono w gminie Krynica-Zdrój prace kartograficzne, w wyniku których udokumentowano 383 osuwiska (Rycio i in., 2012a). Celem niniejszej publikacji jest przedstawienie efektów tych prac i ukazanie geologicznych uwarunkowań rozwoju osuwisk w rejonie Krynicy-Zdroju.

OBSZAR BADAŃ

Badania prowadzono na terenie gminy miejsko-wiejskiej Krynica-Zdrój, usytuowanej w południowej części województwa małopolskiego, w powiecie nowosądeckim. Północna i środkowa część gminy charakteryzuje się łagodną rzeźbą terenu, typową dla gór niskich i średnich, z pojedynczymi, wyraźnie wyższymi, wzgórzami. W części południowej przeważają zwarte grzbiety gór średnich. Przez teren gminy przebiega dział wodny między rzekami Białą Dunajcowa a Popradem.

¹ były pracownik Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego; edytarycio@gmail.com.



Ryc. 1. Lokalizacja osuwisk w gminie Krynica-Zdrój (wg Rycio i in., 2012a)

Fig. 1. Location of landslides in the spa zone of Krynica-Zdrój (after Rycio et al., 2012a)

BUDOWA GEOLOGICZNA

Krynica-Zdrój jest usytuowana na wychodniach skał płaszczowiny magurskiej, składającej się z trzech podjednostek tektoniczno-facjalnych, rozdzielonych dyslokacjami podłużnymi (ryc. 2). Są to od północy: jednostka raczańska, sądecka (bystrzycka) i krynicka (Sikora, 1970; Książkiewicz, 1972; Alexandrowicz i in., 1984; Chrzastowski i in., 1992, 1993a, b; Węclawik, Wójcik, 1993a, b; Paul, 1993a, b; Kopciowski i in., 1997; Margielewski, 1997b; Oszczytko, 1979; Oszczytko in., 1999; Oszczytko, Zuchiewicz, 2007).

W jednostce krynickiej występują głównie gruboławicowe piaskowce i zlepieńce z Piwnicznej (ryc. 2). Ogniwo to jest podścielone warstwami z Zarzeczca, wykształconymi jako drobnorytmiczny flisz piaskowcowo-łupkowy z soczewkami i przeławieniami gruboławicowych piaskowców

krynickich. Warstwy te są podścielone pstryimi łupkami (Bromowicz, Uchman, 1992; Oszczytko i in., 1992b, c; Chrzastowski in., 1993a; Oszczytko, Oszczytko-Clowes, 2010).

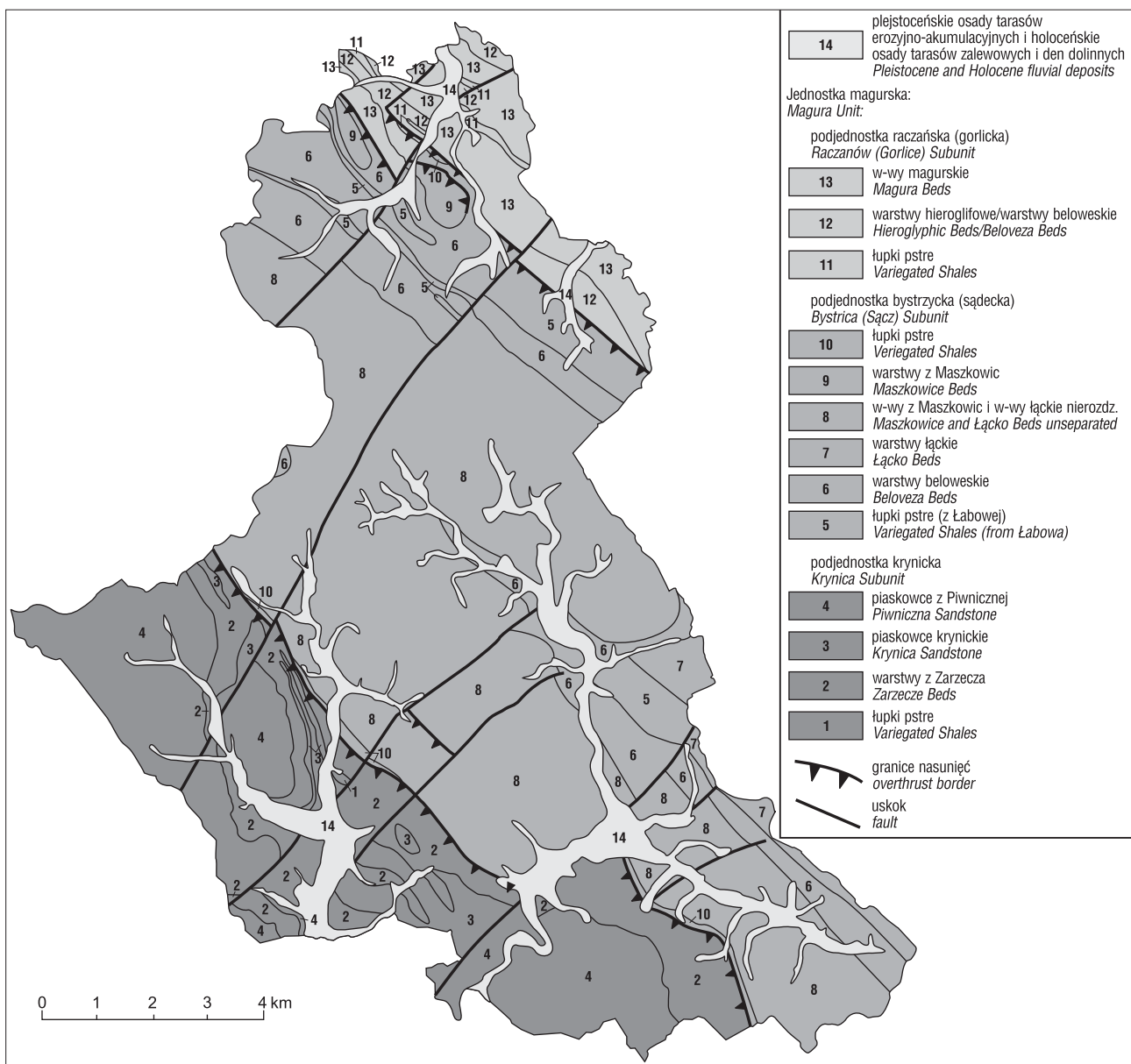
Profil litostratygraficzny strefy bystrzyckiej rozpoczynają łupki pstre z Łabowej. Na nich zalegają warstwy belowskie, wykształcone jako flisz drobnorytmiczny z przewagą warstw łupkowych. Wyżej w profilu znajduje się ogniwo piaskowców z Maszkowic (Bromowicz, 1992; Bromowicz, Oszczytko, 1992; Oszczytko i in., 1992a). W obrębie tego ogniwa występują soczewy margli łąckich. Niektórzy badacze wyróżniają margle łąckie jako odrębne wydzielanie lub warstwy z Maszkowic nazywają warstwami łąckimi (Chrzastowski i in., 1992, 1993a, b; Węclawik, Wójcik, 1993a, b). Profil kończą łupki pstre, odsłaniające się w strefie nasunięcia na podjednostkę raczańską. Duży obszar wychodni jednostki bystrzyckiej zajmują w gminie

Krynica-Zdrój warstwy z Maszkowic i margle łąckie nierozdzielone (ryc. 2).

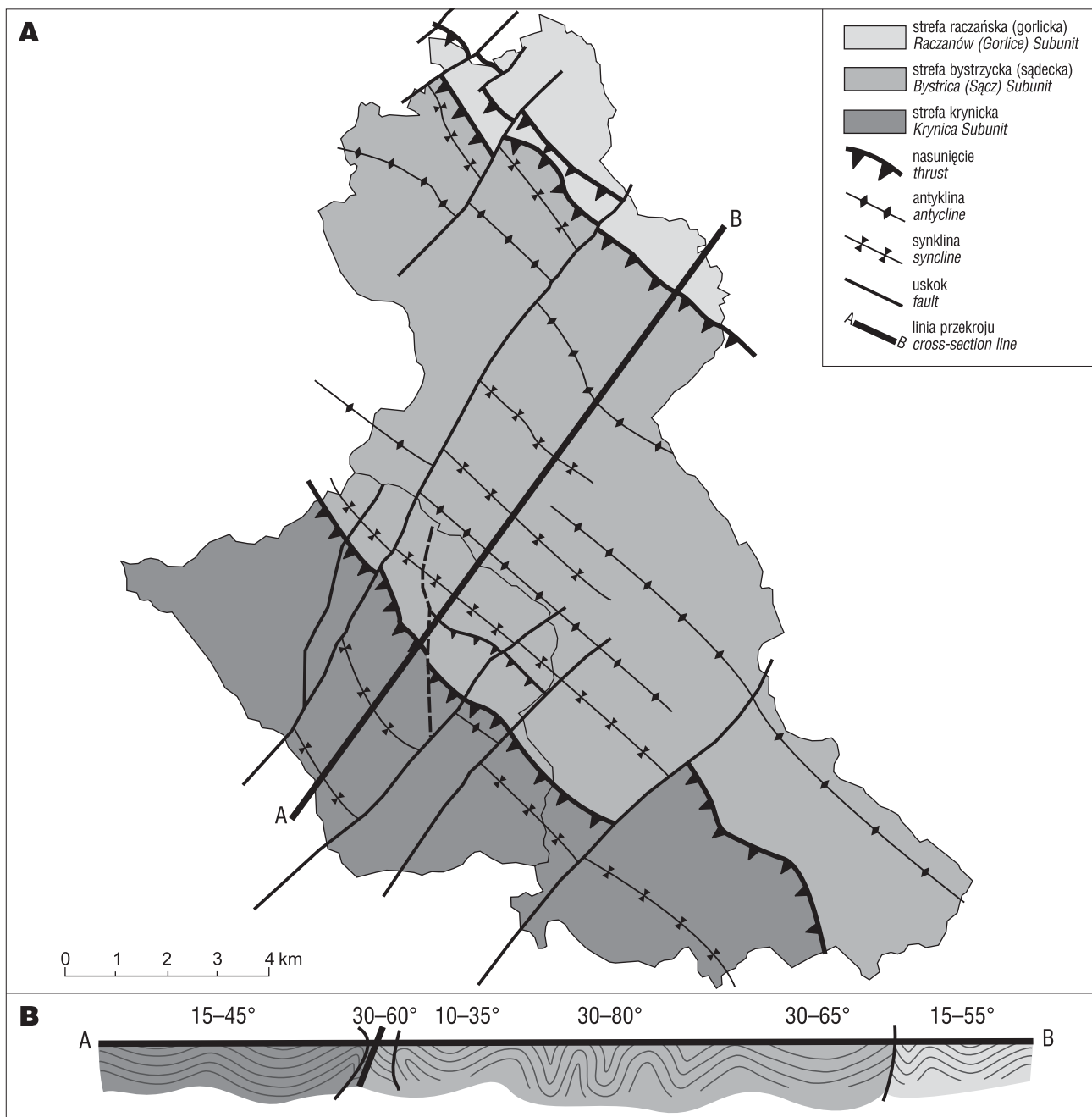
Niewielki, północny fragment gminy należy do jednostki raczańskiej. Jej profil rozpoczynają łupki pstre, które wyżej przechodzą w warstwy hieroglifowe lub beloweskie, często nierozdzielone, składające się z drobnoziarnistych piaskowców cienkoławicowych i łupków (Paul, 1993a, b; Kopcowski i in., 1997). Nad nimi występują warstwy magurskie, wykształcone jako kompleks piaskowców gruboławicowych z podrzędnym udziałem ławic łupkowych (ryc. 2).

Obszar badań przecinają dwie strefy nasunięć tektonicznych. Na północy jest to strefa nasunięcia podjednostki bystrzyckiej na raczańską, a na południu – strefa nasunięcia podjednostki krynickiej na bystrzycką (ryc. 3). Kontakt strefy krynickiej i bystrzyckiej jest nazwany dyslokacją krynicką, wzdłuż której nastąpiło obalenie wsteczne podjednostki bystrzyckiej na krynicką. Podjednostka krynicka jest strukturą łuskową (Węclawski, Wójcik, 1993a; Chrzastowski i in., 1993a).

W rejonie Krynicy-Zdroju występuje kilka antyklin i synklin, których osie są równoległe i mają przebieg NW–SE (ryc. 3). Podjednostka raczańska, obejmująca północną część gminy, ma uskokowo-łańdowy styl tektoniki, szeroko-promienne fałdy, drugorzędne sfałdowane, często w sposób dysharmonijny, z redukcją skrzydeł południowych (Sikora, 1970; Węclawik, Wójcik, 1993a, b; Paul, 1993a, b). Podjednostka bystrzycka, która zajmuje większą, środkową część gminy (ryc. 3), reprezentuje blokowo-łańdowy styl tektoniczny, szczególnie w obszarze ogniwa z Maszkowic formacji magurskiej. Utwory tego ogniwa są podzielone uskokami na bloki i mają budowę indywidualną, miejscami niezgodną z tektoniką elementów niżejleżących. Fałdy tej podjednostki są wąskopromienne, przeważnie wstecznie obalone (na południe) lub z redukcją skrzydeł fałdów (Węclawik, Wójcik, 1993a; Chrzastowski i in., 1993a; Margielewski, 1997b). Również podjednostka krynicka, występująca w południowo-zachodniej części gminy (ryc. 3), charakteryzuje się blokowo-łańdowym stylem tektonicznym. Przecina ją poprzecznie kilka dużych



Ryc. 2. Mapa geologiczna gminy Krynica-Zdrój (wg Węclawskiego, Wójcika, 1993a; Chrzastowskiego i in., 1993a)
Fig. 2. Geological map of Krynica-Zdrój commune (after Węclawski, Wójcik 1993a; Chrzastowski et al., 1993a)



Ryc. 3. Mapa tektoniczna i przekrój geologiczny obszaru badań (wg Węclawskiego, Wójcika, 1993a; Chrzastowskiego i in., 1993a)
Fig. 3. Tectonic map and a cross-section through the study area (after Węclawski, Wójcik 1993a; Chrzastowski et al., 1993a)

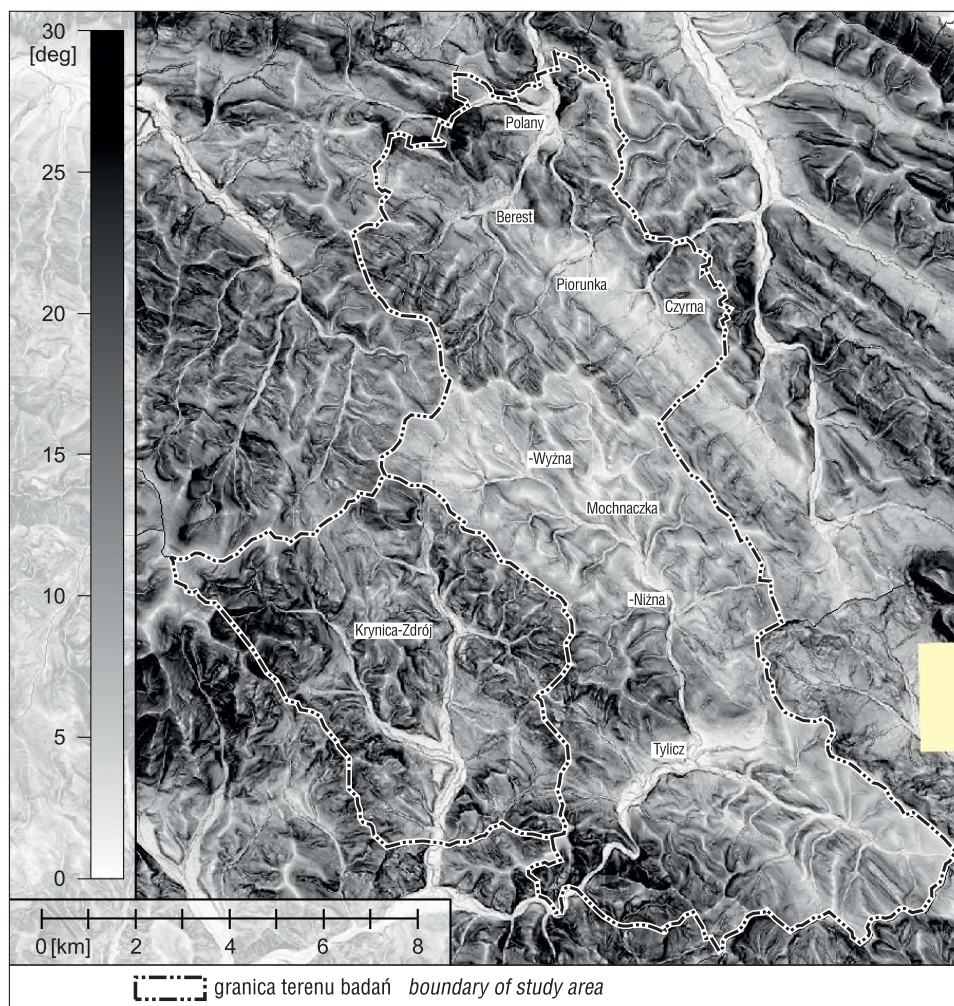
uskoków zrzutowo-przesuwczych (np. uskoki Leluchowa–Tylicza, Muszyny–Góry Parkowej), których skutkiem jest znaczne zróżnicowanie budowy tektonicznej i wysokie podniesienie bloku Krynicy w stosunku do bloków sąsiednich. W strukturach fałdowych jednostki krynickiej przeważają niesymetryczne, szerokie synkliny i wąskie antykliny (Węclawik, Wójcik, 1993a, b; Chrzastowski i in., 1993a, b).

Głębokie uskoki zrzutowo-przesuwcze nie tylko deformują budowę geologiczną głębokiego podłoża w rejonie Krynicy-Zdroju, ale wpływają także na szerokość i przesunięcia wychodni ogniw litologicznych na powierzchni terenu. Są to w przeważającej ilości uskoki poprzeczne do rozciągłości struktur fałdowych, o kierunku NE–SW (ryc. 3). Tworzą one duże strefy uskoków o stromo

nachylonych powierzchniach poślizgu. Mniej liczna jest młodsza generacja uskoków o kierunku NW–SE, podłużnych w stosunku do rozciągłości fałdów. Dyslokacje te towarzyszą nasunięciom o łagodnym nachyleniu powierzchni odkłucia.

METODYKA

Wyniki prac terenowych, które w latach 2010–2012 prowadzono w gminie Krynica-Zdrój, skorelowano z danymi numerycznego modelu terenu (ryc. 4). Utworzono w ten sposób rejestr osuwisk i porównano go z podobnymi rejestrami z sąsiednich gmin, przez co uzyskano szersze pole interpretacji kartograficznego rozkładu ruchów masowych ziemi.



Ryc. 4. Numeryczny model terenu okolic Krynicy-Zdroju z wyraźnie zaznaczonymi obszarami o dużym i małym nachyleniu stoków

Fig. 4. DTM for the Krynica-Zdrój region with differently sloping ground surfaces clearly marked

W celu scharakteryzowania osuwiskowości badanego obszaru na podstawie analizy stosunku powierzchni osuwisk do powierzchni badanego terenu obliczono wskaźnik osuwiskowości powierzchniowej (Op). Podobnie jak Bober (1984) w obliczeniach uwzględniono jedynie powierzchnię stoków i zboczy, pominięto natomiast płaskie dna dolin, tarasy rzeczne oraz spłaszczone wierzchołki grzbietów górskich. Wskaźnik osuwiskowości Op wyrażono w procentach. Wyliczono także wskaźnik nazywany gęstością osuwisk (G), wyrażający liczbę osuwisk na powierzchni jednego km^2 (Bober, 1984). Wysoki współczynnik Op przy niskim G wskazuje, że na analizowanym obszarze dominują rozległe osuwiska. Niski współczynnik Op przy wysokim G sugeruje, że występuje dużo niewielkich osuwisk. Ponieważ stwierdzono lokalne zróżnicowanie typu osuwisk oraz ich przestrzennego rozkładu na terenie miasta i gminy Krynica-Zdrój, a także w Beskidzie Sądeckim i Beskidzie Niskim, starano się wyjaśnić przyczyny tego zróżnicowania. Interpretacje te uzupełniają niepełny dotychczas obraz rozmieszczenia i liczebności osuwisk na tym obszarze.

WYNIKI BADAŃ

W całej gminie Krynica-Zdrój o powierzchni $145 km^2$ rozpoznano i udokumentowano 383 osuwiska o łącznej powierzchni $8 km^2$, zgrupowane przestrzennie w dwóch równoległych pasach. Pas północny ciągnie się od SW stoków

Hawrylakówki przez Jasiennik, Huzary aż po Jaworzynkę. Pas południowy rozciąga się między Górą Krzyżową przez Górę Parkową aż do Góry Szalonej. Pozostałe osuwiska są rozproszone w dorzeczach potoków Czarnego i Szczawicznego (ryc. 1). Na mapie osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10 000 (Rycio i in., 2012a) duża koncentracja osuwisk jest widoczna na terenie miasta Krynica-Zdrój, gdzie zajmują one znaczne części stoków i mają dużą lub bardzo dużą powierzchnię (ryc. 1). Przykładem mogą być osuwiska na stokach Góry Parkowej (27,58 ha), Huzarów (6,36 ha), Drobiakówki (12,87 ha) i Wierchu (23,09 ha). Są to osuwiska skalno-zwietrzelinowe i skalne, rzadziej zwietrzelinowe, cechujące się wyraźną rzeźbą, z całym bogactwem form wewnątrzosuwiskowych. Większość z nich ma wysoką skarpe główną (5–20 m, niektóre nawet do 30 m). Charakterystyczne dla osuwisk tego rejonu są różnej wielkości rowy osuwiskowe (rozpadlinowe), liczne skarpy wtórne o wysokości od 1 do 20 m, wyraźne i szerokie wały i garby koluwalne, zagłębienia, rumowiska skalne, szczeliny, podmokłości, jeziora, źródlika i potoki. Materiał koluwiów jest przeważnie detrytyczny. Oprócz glin z rumoszem zalegają w nim pojedyncze bloki lub pakiety warstw skalnych. Lokalnie w głębokich i rozległych osuwiskach występują jaskinie, usytuowane u podnóża skarpy głównej lub w rumoszu skalnym. Niektóre z jaskiń, głównie te powstałe w grzbiecie Jaworzyny Krynickiej, były już przedmiotem badań

(Pulina, 1997; Margielewski, 2000). Większość osuwisk jest nieaktywna, a jedynie nieliczne są aktywne lub zostały w niewielkim stopniu odmłodzone.

Na wiejskim obszarze gminy występuje niewielka koncentracja osuwisk. Przeważają na nim małe osuwiska zwietrzelinowe i skalno-zwietrzelinowe o płytkim położeniu powierzchni poślizgu. Osuwiska te są genetycznie silniej związane z boczną erozją brzegów rzek niż tektoniką głębokiego podłoża. Na ogół mają mało wyraźną rzeźbę powierzchniową. Wały ich koluwiów są przeważnie złagodzone, a skarpy główne rzadko osiągają wysokość 10 m. Zagęszczenie osuwisk występuje jedynie w dolinie potoku Borsucznego, a także we wsiach Berest i Tylicz (ryc. 1), gdzie wzrasta odsetek rozległych osuwisk o bogatej rzeźbie wewnętrznej, wyraźnej skarpie głównej i dużej aktywności (ryc. 5 – patrz str. 262). Przy drodze wojewódzkiej nr 981 relacji Krynica-Zdrój–Grybów k. wsi Berest znajduje się jedyne w tej gminie osuwisko objęte monitoringiem powierzchniowym i wgłębnym, prowadzonym przez PIG-PIB (ryc. 6 – patrz str. 262).

Z przeprowadzonych badań i obliczeń statystycznych wynika, że współczynniki charakteryzujące osuwiskowość miejskiego i wiejskiego obszaru gminy Krynica-Zdrój znacznie różnią się od siebie. W obszarze miejskim, na powierzchni 2,5 razy mniejszej niż wiejski teren gminy, występuje taka sama liczba osuwisk, a współczynniki charakteryzujące osuwiskowość są 3-krotnie wyższe (ryc. 1).

Czynnikami biernymi, które wywołują ruchy masowe ziemi, są kąt nachylenia powierzchni terenu i upad warstw, a zwłaszcza stopień ich kierunkowej zbieżności oraz litologia warstw podłoża i obecność w nich struktur nieciągłych (Bober, 1979, 1984; Mastella, 1975; Wójcik, 1997; Margielewski, 2001). Uruchomienie zsuwu następuje wówczas, gdy na czynniki bierne nałoży się intensywne działanie czynników aktywnych, pełniących rolę impulsu dla ruchów masowych. Należą do nich: wietrzenie fizyczne i chemiczne skał, wstrząsy sejsmiczne, erozja rzeczna i obfite opady lub roztopy śniegu, powodujące wahania poziomu wód rzecznych i gruntowych. Lokalnie duże znaczenie

ma również antropopresja. Każdy z wymienionych czynników może pojedynczo lub zespołowo ożywić ruchy masowe. Według Bobera (1984) zbocze ulega procesom osuwiskowym, gdy nakładają się na siebie i wzajemnie oddziałują minimum dwa czynniki.

Najwięcej głębokich, strukturalnych osuwisk o dużej powierzchni i złożonej budowie wewnętrznej, prawdopodobnie rotacyjnych lub mieszanych, udokumentowano na wychodniach warstw magurskich, piaskowców z Piwnicznej i piaskowców krynickich, wykształconych w facjach piaskowców gruboławicowych i łupków. Warstwy te są podścielone warstwami z Zarzecza lub warstwami hieroglifowymi, reprezentującymi flisz cienkoławicowy z łupkami (porównaj ryc. 1 i 2). Taki układ skał sprzyja osuwaniu się sztywnych, gruboławicowych mas skalnych po bardziej plastycznym podłożu piaskowcowo-łupkowym, co wielokrotnie opisywał Bober (1979, 1984).

Dużo osuwisk powstało również na obszarze występowania w podłożu fliszu drobnorytmicznego, zwłaszcza warstw z Maszkowic i łąckich nierozdzielonych, belowskich i hieroglifowych. Zwraca uwagę fakt, że wychodnie tych warstw zajmują dużą powierzchnię gminy, a osuwiska nie są równomiernie rozmieszczone, tylko tworzą skupiska, np. na północnych krańcach Krynicy-Zdroju – między Hawrylakówką a Huzarami, w okolicach wsi Berest i Tylicz (porównaj ryc. 1 i 2). Można zatem wnioskować, że nie tylko litologia i układ warstw skalnych warunkują powstawanie osuwisk.

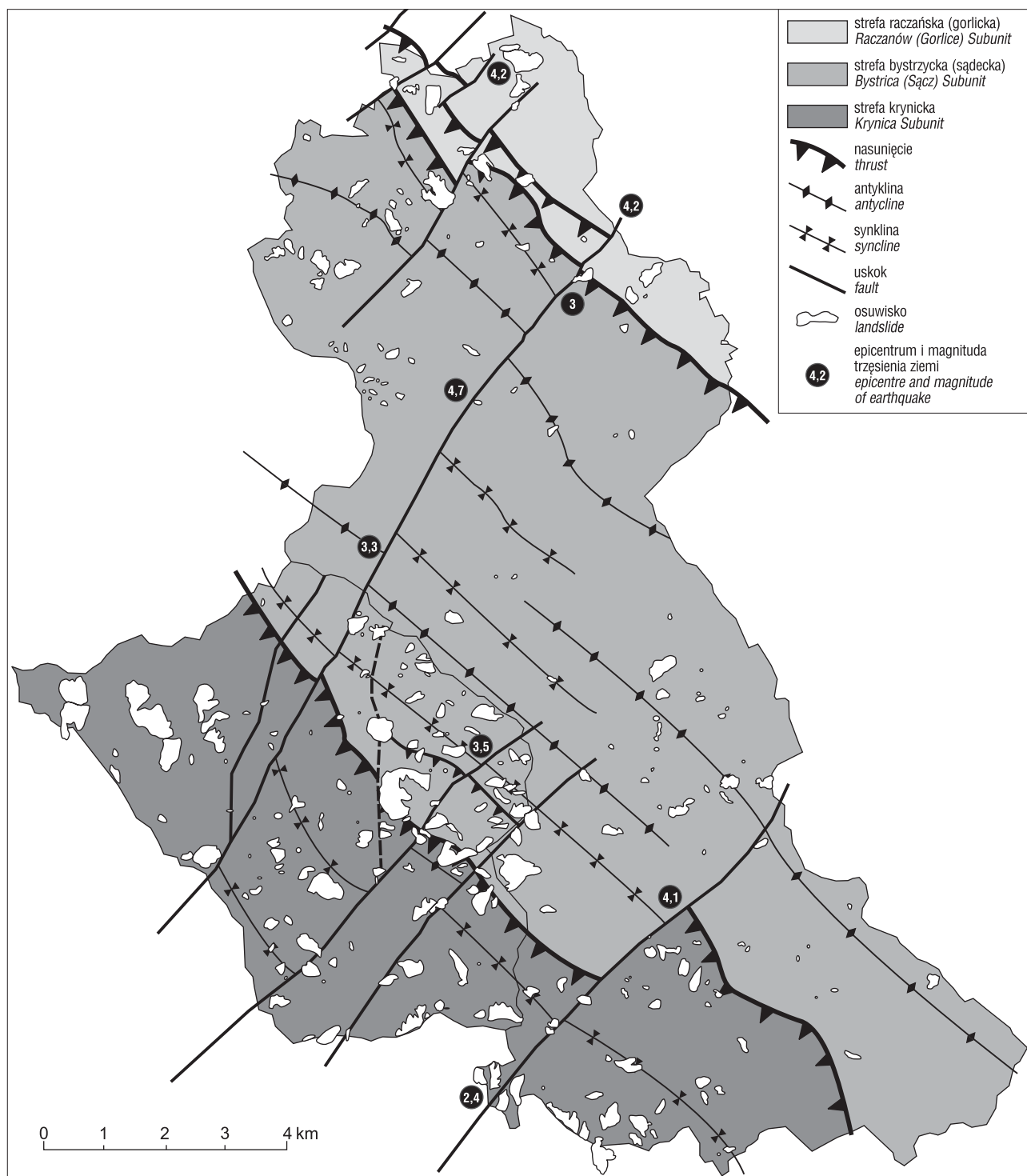
Korzystne warunki do generowania osuwisk panują w strefach lokalnego zagęszczenia i zróżnicowania struktur nieciągłych i fałdowych w podłożu (ryc. 3A), którym towarzyszy zazwyczaj znaczna dezintegracja skał. Z dotychczasowych analiz morfotektonicznych wielu osuwisk (Bober, 1979, 1984; Wójcik, 1997; Wójcik, Zimnał, 1996) i własnych obserwacji wynika, że strefy synklin w strukturach fałdowych, zwłaszcza gdy w ich jądrach występują piaskowce gruboławicowe, są mniej podatne na osuwanie niż jądra i skrzydła antyklin.

Tab. 1. Procentowy udział osuwisk w Karpatach w zależności od kąta zapadania warstw na stoku i typu osuwiska wg Bobera (1979, 1984)
Table 1. Percentage content of landslides in the Carpathians, depending on the dip of beds on slope and landslide type, after Bober (1979, 1984)

Typ osuwiska <i>Landslide type</i>	Liczba osuwisk <i>Number of landslides</i>	Udział procentowy osuwisk <i>Percentage share of landslide</i>	Upad warstw <i>Dip of layers</i> [°]							
			0–9	10–19	20–29	30–39	40–49	50–59	60–69	70–90
Konsekwentne <i>Consequent</i>	55	24,3%	1	16	17	9	6	6	0	0
Obsekwentne <i>Obsequent</i>	56	24,8%	2	5	16	14	8	6	5	0
Subsekwentne <i>Subsequent</i>	77	34%	0	12	8	13	15	10	10	9
Złożone <i>Compound</i>	38	16,8%	1	6	6	4	2	12	3	4
Suma <i>Total</i>	226	100%	4	39	47	40	31	34	18	13
Udział procentowy <i>Percentage content</i>			1,80%	17,25%	20,80%	17,70%	13,70%	15,00%	8,00%	5,75%

Uruchomieniu osuwiska sprzyja podobieństwo kąta nachylenia stoku do upadu i biegu warstw skalnych. Na schematycznym przekroju (ryc. 3B) przedstawiono zmienność nachylenia warstw w podłożu badanego obszaru. W rejonie Krynicy-Zdroju, od SW granicy gminy po strefę dyslokacji krynickiej, warstwy zapadają pod kątem 15–45°. W strefie dyslokacji krynickiej występuje duża zmienność kąta upadu i jego wzrost do 30–60° oraz odwrócenie

położenia warstw w podłożu. W odległości kilkuset metrów od tej strefy aż po granicę miasta i okolice wsi Mochnaczka Wyżna warstwy w podłożu zalegają łagodniej, ich upad waha się między 10 a 35°. Dalej ku NE kąt upadu warstw gwałtownie się zwiększa, by w środkowej części gminy, w rejonie Mochnaczki Wyżnej i Niżnej, osiągnąć nawet 80°, a następnie sukcesywnie maleć do 30–65° w okolicy wsi Piorunka i Czyrna. Na północy gminy,



Ryc. 7. Rozmieszczenie osuwisk w rejonie Krynicy-Zdroju i epicentrow trzęsień ziemi (wg Dębskiego i in., 1997) na tle budowy geologicznej

Fig. 7. Occurrence of landslides and earthquake epicentres in the Krynica-Zdrój region (after Dębski et al., 1997) against a geologic background

w strefie nasunięcia podjednostki bystrzyckiej na raczańską, kąt upadu warstw osiąga 15–55°. Występuje zatem przestrzenne, strefowe zróżnicowanie kąta upadu warstw, które przeważnie zapadają w kierunku SW lub NE.

Z badań osuwisk prowadzonych przez Bobera (1979, 1984) wynika, że w Karpatach osuwiska powstają zwykle na stokach o upadzie warstw skalnych w granicach 10–40°, a najbardziej predysponowane są miejsca, gdzie warstwy zapadają pod kątem 20–30°. Według tego autora wraz ze wzrostem kąta zapadania warstw podatność na osuwanie maleje (tab. 1), zwłaszcza na stokach konsekwentnych i obsekwentnych. Jednak bardziej prawdopodobna wydaje się być teza, że czynnikami inicjującymi ruchy masowe są zbliżone kąty upadu warstw i nachylenia stoków, zwłaszcza na stokach konsekwentnych. Niestety, podczas prac kartograficznych prowadzonych w ramach Projektu SOPO nie wykonano wystarczająco dużo pomiarów biegu i upadu warstw oraz nachylenia stoków i ich wzajemnej przestrzennej relacji, aby można było poprzeć i udokumentować tę tezę.

Istnieje też prawdopodobieństwo, iż wiele osuwisk na obszarze badań zostało uruchomionych lub odmłodzonych w wyniku trzęsień ziemi (Krapiec, Margielewski, 2000), które wielokrotnie nawiedzały okolice Piorunki, Czarnej Niżnej, Mochnaczkę Wyżną i Niżną oraz Krynicy-Zdroju (ryc. 7). Ostatnie trzęsienia ziemi wystąpiły w Krynicy-Zdroju w 1992 i 1993 r. (Dębski i in., 1997; Hojny-Kołoś, 2008), kiedy odmłodziło się osuwisko na Górze Parkowej. Epicentra odnotowanych wstrząsów grupowały się głównie wzdłuż dyslokacji krynickiej i związanych z nią uskoku zrzutowo-przesuwczych, a ich magnitudy zawierały się w przedziale 2,4–4,7. Według Malamuda i in. (2004) trzęsienie ziemi o magnitudzie $4,3 \pm 0,4$ jest wystarczające do ożywienia procesu osuwania. Ponadto zakłada się, że w plejstocenie i wczesnym holocenie na terenie Karpat zdarzały się trzęsienia ziemi o dużo większych magnitudach niż obecnie. Przypuszcza się, że właśnie one wywoływały największe, strukturalne osuwiska karpackie (Z. Alexandrowicz, S.W. Alexandrowicz, 1999; Margielewski, 1997a).

PODSUMOWANIE

W badanym rejonie najwięcej osuwisk występuje na obszarach, gdzie kilka czynników sprzyjających powstawaniu ruchów masowych nakłada się na siebie. W węzle takich warunków leży uzdrowisko Krynica-Zdrój. Współczynniki osuwiskowości powierzchniowej i gęstości osuwisk na obszarze tego miasta są 3 razy większe niż na otaczającym to uzdrowisko wiejskim obszarze gminy, który jest 2 razy większy.

W podłożu miasta występują gruboławicowe piaskowce z Piwnicznej i piaskowce krynickie, podścielone cienkoławicowym fliszem warstw z Zarzecza i łupkami pstrymi. Taki układ skał w określonych warunkach ich położenia względem powierzchni stoków sprzyja osuwaniu się sztywnych, gruboławicowych mas skalnych po plastycznym podłożu piaskowcowo-łupkowym (Bober, 1979, 1984; Margielewski, 1997b, 2009; Wójcik, 1997). Skały podłoża zostały w tym rejonie zdeintegrowane przez dyslokację krynicką oraz towarzyszące jej uskoki zrzutowo-przesuwcze. Ponadto występują w nich aktywne strefy naprężeń, które wywołują trzęsienia ziemi o epicentrach zlokalizowanych właśnie wzdłuż tych uskoku. Z tego

powodu wiele osuwisk powstało w granicach miasta, w tym na wychodniach warstw z Maszkowic i łąckich nierozdzielonych, mimo że reprezentują one flisz normalny, niepodatny na osuwanie.

W środkowej części gminy, w okolicy wsi Piorunka, Czyrna oraz Mochnaczkę Wyżną i Niżną, budowa geologiczna i tektonika podłoża nie sprzyjają osuwaniu się gruntu. W rejonie tym na stokach odsłaniają się mało odporne na wietrzenie i mało podatne na osuwanie warstwy z Maszkowic i margle łąckie. Ponadto w tej części gminy nie występuje strefa nasunięcia podjednostek płaszczowiny magurskiej, a struktury nieciągłe, którym zwykle towarzyszy większe i głębsze spękanie skał, są mniejsze i mniej liczne. Brakuje tu zatem dodatkowych czynników wywołujących ruchy masowe. Dlatego w środkowej części gminy Krynica-Zdrój nie powstały duże osuwiska strukturalne. Większość osuwisk rozpoznanych w okolicy Mochnaczkę nie jest genetycznie uwarunkowana tektoniką ani litologią podłoża, lecz erozyjną działalnością potoków.

Należy zaznaczyć, że koncentracja osuwisk podobna do stwierdzonej na obszarze uzdrowiska Krynica-Zdrój kontynuuje się w kierunku południowym, w gminach Muszyna, Łabowa i Piwniczna-Zdrój. Na wychodniach piaskowców z Piwnicznej, warstw z Zarzecza i piaskowców krynickich rozwinęły się osuwiska strukturalne o największej powierzchni (Oszczypko i in., 2012; Krasowski i in., 2012; Boratyn i in., 2012). Natomiast strefa nielicznych osuwisk, występująca w środkowej części gminy Krynica-Zdrój, kontynuuje się na północny wschód, w gminach Uście Gorlickie i Ropa. Jednak w sąsiednich gminach na rozmieszczenie osuwisk wpływają także inne czynniki – np. na terenie gmin Ropa i Uście Gorlickie w obszarach, gdzie jądra synklin są zbudowane z gruboławicowych piaskowców warstw magurskich, osuwiska prawie nie występują (Rycio i in., 2012b; Wójcik i in., 2015).

Niestety, podczas prac kartograficznych prowadzonych w gminie Krynica-Zdrój nie zebrano wystarczająco dużo danych geologicznych, by można było potwierdzić tezę, że podatność obszaru na wystąpienie ruchów masowych zależy od zgodności upadu warstw z nachyleniem stoków.

Autorka pragnie serdecznie podziękować prof. Uniwersytetu Pedagogicznego, dr. hab. Józefowi Kukulakowi oraz anonimowemu Recenzentowi za czas poświęcony na sugestie, propozycje zmian i uwagi merytoryczne do artykułu oraz gotowość do konsultacji.

LITERATURA

- ALEXANDROWICZ Z., ALEXANDROWICZ S.W. 1992 – Rozwój osuwiska na stoku Góry Parkowej w Krynicy. [W:] N. Oszczypko, W. Zuchiewicz (red.), Przewodnik LXIII Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Koninki 17–19 września 1992 r. Inst. Nauk Geol. PAN, Kraków: 128–131.
- ALEXANDROWICZ Z., ALEXANDROWICZ S.W. 1999 – Recurrent Holocene landslides: a case study of the Krynica landslide in the Polish Carpathians. *The Holocene*, 9 (1): 91–99.
- ALEXANDROWICZ S.W., CIESZKOWSKI M., GOLONKA J., KUTYBA J., OSZCZYPKO N., PAUL Z. 1984 – Stratygrafia strefy krynickiej płaszczowiny magurskiej w polskich Karpatach fliszowych. *Biul. Inst. Geol.*, 340: 23–39.
- BOBER L. 1979 – Zależność między rozwojem osuwisk strukturalnych a budową geologiczną polskich Karpat fliszowych. Pr. dokt., Arch. Inst. Geol., Warszawa.
- BOBER L. 1984 – Rejony osuwiskowe w polskich Karpatach fliszowych i ich związek z budową geologiczną regionu. *Biul. Inst. Geol.*, 340: 115–153.
- BOBER L. 1985 – Mapa osuwiskowości polskich Karpat fliszowych w skali 1:200 000. Państw. Inst. Geol.

- BOBER L. 1990 – Monografia osuwisk karpaccich. Państw. Inst. Geol.
- BORATYN J., BAŃ M., BORON K., CABALA B., GÓRKA K., SOKALSKI J., WYDERSKI P. 2012 – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10 000, gm. Piwniczna-Zdrój, pow. nowosądecki, woj. małopolskie. Państw. Inst. Geol. (<http://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/SOPO>).
- BROMOWICZ J. 1992 – Petrografia i charakterystyka sedimentologiczna margli łąckich, ogniwo z Maszkowic, formacja magurska. [W:] N. Oszczytko, W. Zuchiewicz (red.), Przewodnik LXIII Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Koninki 17–19 września 1992 r. Inst. Nauk Geol. PAN Kraków: 107–112.
- BROMOWICZ J., OSZCZYPKO N. 1992 – Charakterystyka sedimentologiczna i petrograficzna ogniwa z Maszkowic. [W:] N. Oszczytko, W. Zuchiewicz (red.), Przewodnik LXIII Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Koninki 17–19 września 1992 r. Inst. Nauk Geol. PAN Kraków: 144–147.
- BROMOWICZ J., UCHMAN A. 1992 – Wierchomla Wielka – kamieniołom. Cechy sedimentologiczne ogniwa piaskowców z Piwnicznej. [W:] N. Oszczytko, W. Zuchiewicz (red.), Przewodnik LXIII Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Koninki 17–19 września 1992 r. Inst. Nauk Geol. PAN Kraków: 134–139.
- CHOWANIEC J., KOLASA K., NAWROCKA D., WITEK K., WYKOWSKI A. 1975 – Katalog osuwisk – województwo krakowskie, z zestawem map podstawowych i zbiorczych. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB.
- CHRZĄSTOWSKI J., REŚKOWA D., ALEKSANDROWICZ Z., ALEKSANDROWICZ S. 1992 – Geologia, wody mineralne oraz ruchy masowe rejonu Krynicy. [W:] N. Oszczytko, W. Zuchiewicz (red.), Przewodnik LXIII Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Koninki 17–19 września 1992 r. Inst. Nauk Geol. PAN Kraków: 120–128.
- CHRZĄSTOWSKI J., NESCIERUK P., WÓJCIK A. 1993a – Objąsnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski. Ark. Muszyna (1052) i Leluchów (1062). Państw. Inst. Geol.: 29.
- CHRZĄSTOWSKI J., NESCIERUK P., WÓJCIK A. 1993b – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000. Ark. Muszyna (1052). Państw. Inst. Geol.
- DĘBSKI W., GUTERCH B., LEWANDOWSKA H., LABAK P. 1997 – Earthquake sequences in the Krynica region, Western Carpathians, 1992–1993. Acta Geophys. Polon., 45: 255–290.
- HOJNY-KOŁOŚ M. 2008 – Trzęsienia ziemi w Polsce. Geografia fizyczna, 6: 33–41.
- KOPCIOWSKI R., ZIMNAL Z., CHRZĄSTOWSKI J., JANKOWSKI L., SZYMAKOWSKA F. 1997 – Objąsnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1:50 000. Ark. Gorlice (1037). Państw. Inst. Geol.
- KRASOWSKI M., KOZANECKA B., RYCIO E. 2012 – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10 000, gm. Łabowa, pow. nowosądecki, woj. małopolskie. Państw. Inst. Geol. (<http://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/SOPO>).
- KRĄPIEC M., MARGIELEWSKI W. 1991 – Zastosowanie analizy dendromorfologicznej w datowaniu powierzchniowych ruchów masowych. Kwart. AGH, Geologia, 17: 67–81.
- KRĄPIEC M., MARGIELEWSKI W. 2000 – Analiza dendrogeomorfologiczna ruchów masowych na obszarze polskich Karpat fliszowych. Kwart. AGH, Geologia, 26: 141–172.
- KSIĄŻKIEWICZ M. 1972 – Budowa Geologiczna Polski. Tektonika, cz. 3. Karpaty. Wyd. Geol. Państw. Inst. Geol.
- MALAMUD B.D., TURCOTTE D.L., GUZZETTI F., REICHENBACH P. 2004 – Landslides, earthquakes and erosion. Earth and Planetary Science Letters, 229: 45–59.
- MARGIELEWSKI W. 1997a – Dated landslides of Jaworzyna Krynicka range (Polish Outer Carpathians) and their relation to climatic phases of the Holocene. Ann. Soc. Geol. Polon., 67: 83–92.
- MARGIELEWSKI W. 1997b – Formy osuwiskowe pasma Jaworzyny Krynickiej i ich związek z budową geologiczną regionu. Kwart. AGH, Geologia, 23: 45–102.
- MARGIELEWSKI W. 2000 – Charakter inicjacji ruchów masowych w Karpatach fliszowych na podstawie analizy strukturalnych uwarunkowań rozwoju wybranych jaskiń szczelinowych. Prz. Geol., 48: 268–274.
- MARGIELEWSKI W. 2001 – O strukturalnych uwarunkowaniach rozwoju głębokich osuwisk – implikacje dla Karpat fliszowych. Prz. Geol., 49: 515–524.
- MARGIELEWSKI W. 2009 – Problematyka osuwisk strukturalnych w Karpatach fliszowych w świetle zunifikowanych kryteriów klasyfikacji ruchów masowych – przegląd krytyczny. Prz. Geol., 57: 905–917.
- MASTELLA L. 1975 – Osuwiska konsekwentno-strukturalne na wschodnim Podhalu. Biul. Geol. UW, 18: 259–270.
- OSZCZYPKO N. 1979 – Budowa geologiczna północnych stoków Beskidu Sądeckiego między Dunajcem a Popradem (płaszczowina magurska). Ann. Soc. Geol. Polon., 49: 293–325.
- OSZCZYPKO N., WACŁAWIK S., UCHMAN A. 1992a – Stratygrafia, sedimentologia i tektonika dolnego paleogenu strefy bystrzyckiej. [W:] N. Oszczytko, W. Zuchiewicz (red.), Przewodnik LXIII Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Koninki 17–19 września 1992 r. Inst. Nauk Geol. PAN Kraków: 113–115.
- OSZCZYPKO N., WACŁAWIK S., UCHMAN A., HOFFMAN M., 1992b – Stratygrafia i sedimentologia formacji zarzeckiej. [W:] N. Oszczytko, W. Zuchiewicz (red.), Przewodnik LXIII Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Koninki 17–19 września 1992 r. Inst. Nauk Geol. PAN Kraków: 115–121.
- OSZCZYPKO N., WOJEWODA J., ALEKSANDROWSKI P., UCHMAN A., TOKARSKI A.K. 1992c – Stratygrafia, sedimentologia i tektonika ogniwa piaskowców z Piwnicznej formacji magurskiej. [W:] N. Oszczytko, W. Zuchiewicz (red.), Przewodnik LXIII Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Koninki 17–19 września 1992 r. Inst. Nauk Geol. PAN Kraków: 56–64.
- OSZCZYPKO N., MALATA E., OSZCZYPKO-CLOWES M., DUŃCZYK L. 1999 – Budowa geologiczna Krynicy (płaszczowina magurska). Prz. Geol., 47: 549–559.
- OSZCZYPKO N., ZUCHIEWICZ W. 2007 – Geology of Krynica Spa, Western Outer Carpathians, Poland. Ann. Soc. Geol. Polon., 77: 69–92.
- OSZCZYPKO N., OSZCZYPKO-CLOWES M. 2010 – Mapa geologiczna SE części Beskidu Sądeckiego w skali 1:25 000. Arch. Państw. Inst. Geol.
- OSZCZYPKO N., OSZCZYPKO-CLOWES M. 2012 – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10 000, gm. Muszyna, pow. nowosądecki, woj. małopolskie. Państw. Inst. Geol. (<http://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/SOPO>).
- PAUL C.M. 1884 – Geologische Karte der Gegend zwischen Tarnów und Krynica in Galizien. Verhandl.d.geol. Reichsanstalt, Wien, 9: 164–168.
- PAUL Z. 1993a – Objąsnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1:50 000, ark. Grybów (1036). Państw. Inst. Geol.
- PAUL Z. 1993b – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Grybów (1036). Państw. Inst. Geol.
- PULINAM. 1997 (red.) – Jaskinie polskich Karpat fliszowych. PTPNoZ, Warszawa.
- RYCIO E., CYBULSKA D. 2012b – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10 000, gm. Ropa, pow. gorlicki, woj. małopolskie. Państw. Inst. Geol. (<http://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/SOPO>).
- RYCIO E., KARWACKI K., CYBULSKA D. 2012a – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10 000, gm. Krynica-Zdrój, pow. nowosądecki, woj. małopolskie. Państw. Inst. Geol. (<http://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/SOPO>).
- SIKORA W. 1970 – Budowa geologiczna płaszczowiny magurskiej między Szymbarkiem Ruskim a Nawojową. Biul. Inst. Geol., 235: 5–122.
- STARKEL L. 1972 – Karpaty Zewnętrzne. [W:] M. Klimaszewski (red.), Geomorfologia Polski, T. 1, Polska Południowa – góry i wyżyny, PWN, Warszawa.
- WĘCŁAWIK S., WÓJCIK A. 1993a – Objąsnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1:50 000. Arkusz Tylicz (1053). Państw. Inst. Geol.
- WĘCŁAWIK S., WÓJCIK A. 1993b – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000. Arkusz Tylicz (1053). Państw. Inst. Geol.
- WÓJCIK A. 1997 – Osuwiska w dorzeczu Koszarawy – strukturalne i geomorfologiczne ich uwarunkowanie (Karpaty Zachodnie, Beskid Żywiecki). Biul. Państw. Inst. Geol., 376: 5–40.
- WÓJCIK A., ZIMNAL Z. 1996 – Osuwiska wzdłuż doliny Sanu między Bachórczem a Rzeczpolem (Karpaty, Pogórze Karpackie). Biul. Inst. Geol., 374: 77–89.
- WÓJCIK A., WOJCIECHOWSKI T., PERSKI Z., MICHALSKI A., MACZUGA S. 2015 – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10 000, gm. Uście Gorlickie, pow. gorlicki, woj. małopolskie. Państw. Inst. Geol. (<http://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/SOPO>).

Praca wpłynęła do redakcji 30.03.2017 r.
Akceptowano do druku 25.02.2018 r.

**Geologiczne uwarunkowania rozwoju osuwisk
w rejonie Krynicy-Zdroju (patrz str. 294)**
**Geological conditions of the development of landslides
in Krynica-Zdrój (see p. 294)**



Ryc. 5. Osuwisko na łące k. wsi Berest, przy drodze wojewódzkiej nr 981. W podłożu występują warstwy beloweskie podjednostki bystrzyckiej, wykształcone jako piaskowce cienkoławicowe i łupki. Obie fot. E. Rycio

Fig. 5. Landslide upon a meadow near the village of Berest, close to road No. 981. The bedrock is composed of the Beloveza Beds of the Bystrica Subunit, represented by thinly bedded sandstones and shales. Both photos by E. Rycio



Ryc. 6 Osuwisko k. wsi Berest przy drodze wojewódzkiej nr 981 relacji Krynica-Zdrój–Grybów (objęte monitoringiem PIG-PIB). W podłożu występują warstwy z Maszkowic i warstwy łąckie nierozdzielone, wykształcone w postaci piaskowców, łupków i margli

Fig. 6. Landslide near the village of Berest, close to road No. 981 from Krynica-Zdrój to Grybów (under PGI-NRI monitoring). The bedrock is composed of the unseparated Maszkowice and Łącko beds represented by sandstones, shales and marls