

Problematyka osuwisk strukturalnych w Karpatach fliszowych w świetle zunifikowanych kryteriów klasyfikacji ruchów masowych — przegląd krytyczny

Włodzimierz Margielewski¹



Problems of structural landslides in the Polish Flysch Carpathians in the light of unified criteria of the mass movement classifications — A critical review. *Prz. Geol.*, 57: 905–917.

A b s t r a c t. Geological classification of the rocky landslides in the Polish Flysch Carpathians is rather oversimplified and incorrectly used. This is especially the case of the “structural landslide” type and related terminology, which are too often used by researchers also for description of landslides which are not displaced along structural discontinuities developed in strongly anisotropic flysch rock massifs. Such an approach has been used by a number of authors and is the reason why deep-seated landslides were commonly incorrectly characterized and classified as “structural” ones. The studies of the Carpathian rocky landslides recently conducted by the author with the use of

tectonic analysis, confirmed occurrence of all the types of mass movements including toppling, lateral spreading, translational and rotational and compound slides and rock flow as well as the complex landslide which represents the combined type of various gravitational displacements according to the classification of International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party on World Landslide Inventory. In the light of this classification, the structural landslide represents only one type of these phenomena, i.e. translational landslide. In the article, the author tries to elaborate proper definition and description of the “structural landslide” criteria sensu Kleczkowski (1955) and Bober (1984).

Keywords: mass movements, structural landslides, classification and terminology, critical review, Outer Carpathians

W dotychczasowej praktyce badań ruchów masowych w polskich Karpatach istotne znaczenie w klasyfikacjach osuwisk miał tzw. zsuw strukturalny i związane z nim normy klasyfikacyjne. Jako że w stosowaniu tych kryteriów klasyfikacyjnych pojawiało się zbyt wiele niejasności i błędów terminologicznych, w artykule podjęto próbę usystematyzowania i hierarchizacji pojęć używanych dotąd do charakterystyki osuwisk karpaccich, szczególnie dotyczących form traktowanych powszechnie jako zsuwy strukturalne (*sensu* Kleczkowski, 1955; Bober, 1984). Artykuł stanowi podsumowanie poprzednich prac autora publikowanych na ten temat w łamach *Przeglądu Geologicznego* (Margielewski, 1998; 2001, 2004a; Margielewski & Urban, 2000, 2004).

Rys historyczny

Natura ruchów masowych i ich różnorodność powodują, że podobnie jak większość zjawisk przyrodniczych trudno jest je ująć w uniwersalne ramy klasyfikacyjne. Stąd też kolejno proponowane klasyfikacje ruchów masowych z konieczności były przybliżeniem i uproszczeniem rzeczywistości, umożliwiającym pewien uniwersalizm stosowanych kryteriów klasyfikacyjnych.

Pierwszym badaczem polskim, który podjął próbę sporządzenia spójnej geologicznej klasyfikacji osuwisk o znaczeniu regionalnym, był A. Kleczkowski. W swoim fundamentalnym dziele z 1955 r. zawarł przejrzysty przegląd wszystkich ważniejszych funkcjonujących wówczas klasyfikacji osuwisk, w tym stosowanych na obszarze Polski (np. Bogdanowicza z 1913 r.). Opierając się na własnych doświadczeniach (w tym również z Karpat), częściowo na podstawie geologicznej klasyfikacji Savarenskiego (1937), Kleczkowski (1955) zaproponował nową klasyfikację osuwisk. Jej zasadniczym elementem był pro-

sty podział ruchów masowych na sływy, zsuwy i obrywy. W obrębie zsuwów (tu osuwisk w węższym znaczeniu) zostały wydzielone zsuwy strukturalne (ruch wzdłuż płaszczyzny strukturalnej — ruch ślizgowy bez obrotu przemieszczanych mas) oraz zsuwy ze ścinania (ruch wzdłuż powierzchni ścinania, ze wstecznym obrotem przemieszczanych mas); możliwa była również kombinacja (mieszanie) różnych typów zsuwów (tu przemieszczeń grawitacyjnych) w obrębie jednej formy (Kleczkowski, 1955). Zasadniczo podział ten pokrywał się z klasyfikacją geologiczną osuwisk Savarenskiego (1937), dzielącego zsuwy na konsekwentne (wzdłuż naturalnej powierzchni strukturalnej) oraz asekwentne (w materiale niewarstwowym) i insekwentne (w materiale warstwowym) — dwa ostatnie typy odpowiadały osuwiskom ze ścinania.

W późniejszych pracach Ziętara (1969), wprowadzając elementy dynamicznej klasyfikacji osuwisk w Karpatach (w której głównym kryterium była mechanika przemieszczania się mas skalno-zwierzelinowych), uzupełnił geologiczną klasyfikację osuwisk. Dodał klasę zsuwu subsekwentnego o kierunku przemieszczeń następującym równoległe do rozciągłości warstw.

Kolejnym badaczem osuwisk kompleksowo zajmującym się regionalnymi klasyfikacjami geologicznymi osuwisk Karpat był Bober (1984), który szczególną uwagę zwrócił na osuwiska strukturalne (*sensu* Kleczkowski, 1955) jako mające największe znaczenie na obszarze Karpat fliszowych, zbudowanych z utworów charakteryzujących się silną anizotropią strukturalną (niejednorodnych). Nadając osuwiskom strukturalnym w Karpatach rangę priorytetową, do geologicznej klasyfikacji osuwisk strukturalnych Kleczkowskiego (1955) Bober (1984) wprowadził uzupełnienia związane z podziałem zsuwów na klasy (w zależności od kierunku ruchu w stosunku do kierunku zapadania warstw) oraz wydzielił podtyp zsuwu skomplikowanego, łączącego cechy różnych zsuwów strukturalnych (tab. 1).

Klasyfikacja osuwisk strukturalnych i terminologia z nią związana powszechnie przyjęły się wśród badaczy

¹Institut Ochrony Przyrody PAN, al. A. Mickiewicza 33, 31-120 Kraków; margielewski@iop.krakow.pl

Tab. 1. Klasyfikacja osuwisk strukturalnych wg Kleczkowskiego (1955), uzupełniona przez Bobera (1984, s. 117) (wprowadzono tłumaczenie terminologii i opisów na język angielski)

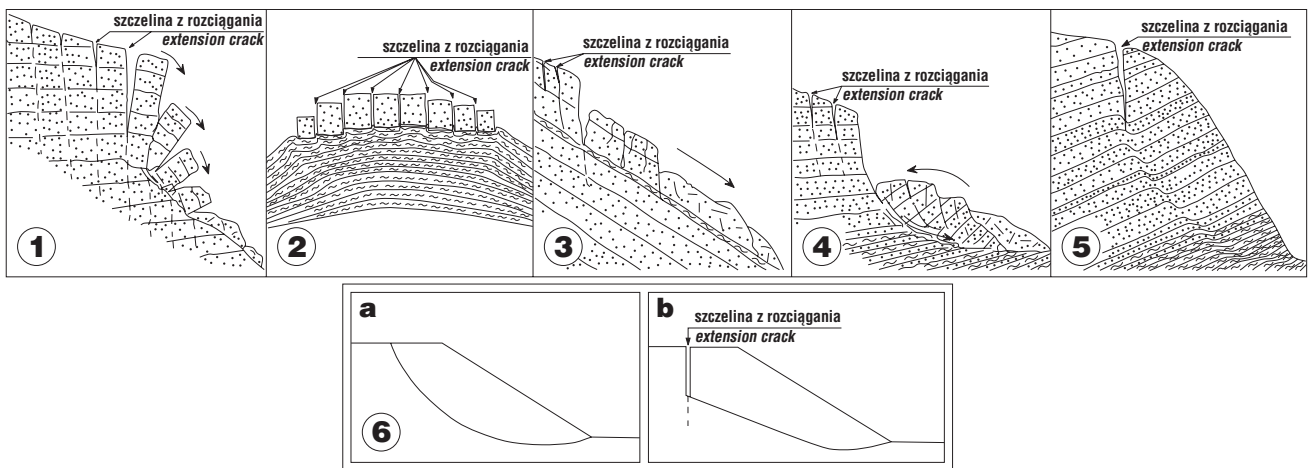
Table 1. Classification of structural landslides after Kleczkowski (1955), supplemented by Bober (1984, p. 117) (English translation of terminology and descriptions are added)

Grupa osuwisk <i>Group of landslides</i>	Rodzaj ruchu <i>Type of movement</i>	Typ osuwiska <i>Landslide type</i>	Podtyp zsuwu strukturalnego <i>Subtype of structural slide</i>	Klasa zsuwu w zależności od kierunku ruchu w stosunku do kierunku zapadania warstw <i>Class of slide depending on movement direction in relation to beds dipping</i>
B. Zsuwy (osuwiska) w węższym znaczeniu <i>B. Slides (landslides sensu stricto)</i>	Zsuwanie się (ruch ślizgowy, ześlizg wzdłuż określonej płaszczyzny) <i>Sliding (slip movement along particular surface)</i>	Zsuwy strukturalne <i>Structural slides</i> (ruch wzdłuż płaszczyzny strukturalnej, ruch ślizgowy masy skalnej bez obrotu) <i>(movement along structural plane, slip movement of rock mass without rotation)</i>	a — zsuwy wzdłuż powierzchni uwarstwienia <i>a — slides along bedding plane</i>	Zsuw skalny konsekwentny po powierzchni: 1 — uwarstwienia, 2 — uławicenia <i>Consequent rock slide, displaced along the surface: 1 — bedding plane, 2 — layer surface</i>
			b — zsuwy wzdłuż granicy zwietrzelina-skała <i>b — slides along the weathering material-bedrock boundary</i>	1 — zsuw konsekwentny zwietrzeliny po powierzchni uławicenia lub uwarstwienia, zgodny z kierunkiem zapadania warstw <i>1 — consequent slide of weathering material displaced along bedding or layer plane, concordant with the dipping of beds</i> 2 — zsuw obsekwentny zwietrzeliny w poprzek czołowych powierzchni ławic, w kierunku przeciwnym do kierunku ich zapadania <i>2 — obsequent slide of weathering material displaced transversally to the front of beds, against the dipping of beds</i>
			c — zsuwy wzdłuż szczelin <i>c — slides along fissures (fractures)</i>	3 — zsuw subsekwentny zwietrzeliny wzdłuż czołowych powierzchni ławic, w kierunku zgodnym z ich biegiem <i>3 — subsequent slide of weathering material, displaced along the front of beds, concordant with the strike of beds</i>
			d — zsuwy skomplikowane łączące cechy zsuwów a, b, c, w różnych kombinacjach <i>d — complicated slides, combining features of slides: a, b, c, in various variants</i>	1 — zsuw skalny konsekwentny wzdłuż spękań ciosowych lub spękań równoległych do uławicenia <i>1 — consequent rock slide, displaced along the joints, or fractures parallel to the layer surfaces</i> 2 — zsuw skalny obsekwentny wzdłuż spękań ciosowych w kierunku przeciwnym do kierunku zapadania warstw <i>2 — obsequent rock slide displaced along joints, against the dipping of beds</i> 3 — zsuw skalny subsekwentny wzdłuż spękań ciosowych lub spękań i płaszczyzn uwarstwienia lub uławicenia <i>3 — subsequent rock slide displaced along joints, or fractures and bedding or layer plane</i>
				Kierunek ruchu zsuwów tego podtypu jest zgodny z różnymi płaszczyznami nieciągłości, występującymi w strukturach o skomplikowanej budowie geologicznej <i>Direction of movements of this subtype is concordant with various discontinuities existing within complicated geological structures</i>

osuwisk karpaccich. Zaczęto ją powszechnie stosować i taki stan trwa do dzisiaj (m.in. Bober i in., 1977, 1997; Bober & Wójcik, 1977; Kukulak, 1988; Bajgier, 1989, 1993, 1994; Wójcik & Zimnal, 1996; Margielewski, 1997; Wójcik, 1997; Zabuski i in., 1999; Mrozek i in., 2000; Wójcik & Rączkowski, 2001; Wójcik & Mrozek, 2002; Pająk & Sobik, 2003). W gruncie rzeczy doszło do sytuacji, w której charakterystyka skalnego osuwiska w Karpatach fliszowych zwykle rozpoczynała się bezpośrednio „inwokacją”: „forma reprezentuje typ osuwiska strukturalnego” z następującym później określeniem podtypu tego osuwiska, według szczegółowej klasyfikacji zaproponowanej przez Bobera (Bober, 1984; por. tab. 1), lub pośrednio — na zaklasyfikowanie osuwiska jako formy strukturalnej wskazywała używana terminologia (np. zsuw konsekwentno-szczelinowy), adekwatna do wspomnianej klasyfikacji (Bober, 1984; Zabuski i in., 1999). Rzadko opisywano skalne osuwiska obrotowe (tu rotacyjne, ścięciowe) (m.in. Starkel, 1960; Ziętara, 1962; Pulinowa, 1976; Alexandrowicz, 1978; Bajgier, 1993, 1994, Bajgier-Kowalska, 1998; Wójcik, 1997), aczkolwiek ten typ przemieszczeń (zerwa) był już powszechnie rejestrowany w przypadku osuwisk zwietrzelinowych (tzn. w utworach pokrywowych), a więc powstających w materiale jednorodnym (m.in. Jakubowski, 1964; Gerlach, 1966; Ziętara, 1968; Mrozek i in., 2000; Gorczyca, 2004). Większą róż-

norodność typów ruchów masowych (m.in. przechyl), występujących w masywach fliszowych polskich Karpat, opisywano już sporadycznie (m.in. Flis, 1958; Alexandrowicz & Alexandrowicz, 1988; Zabuski i in., 1999).

Obok przypadków rzeczywistie uzasadniających użycie klasyfikacji osuwisk strukturalnych — najczęściej płytkich osuwisk przemieszczanych po powierzchniach ławic (m.in. Ziętara, 1968; Mastella, 1975; Kukulak, 1988; Margielewski, 1991, 1997, 2004a; Bajgier, 1993; Wójcik, 1997) — była ona stosowana dość często bezkrytycznie. Kompleksowa analiza charakteru przemieszczeń pakietowych koluwiów (tu *landslide body*), przeprowadzona na podstawie analizy zmian położenia płaszczyzn strukturalnych w ich obrębie, pozwoliła bowiem na potwierdzenie występowania większej różnorodności typów ruchów masowych w Karpatach, w tym również osuwisk ze ścinania (ryc. 1) (Margielewski, 1998, 2002, 2004a, b, 2005, 2006; Margielewski & Urban, 2000, 2003, 2004; por. również Pulinowa, 1976; Zabuski i in., 1999). Analiza ta wykazała, że dla znacznej części osuwisk (tj. form innych niż translacyjne) stosowanie dotychczasowych norm klasyfikacyjnych, związanych wyłącznie z osuwiskami strukturalnymi, jest nieuprawnione, nawet jeżeli powierzchnie oderwania mas skalnych w obrębie skarp czy krawędzi bocznych osuwisk były rozwijane wzdłuż powierzchni strukturalnych (por. ryc. 2).



Ryc. 1. Główne typy ruchów masowych (wg WP/WLI, 1990, 1993; Dikau i in., 1996; Cruden & Varnes, 1996), powstających w obrębie silnie anizotropowych utworów fliszowych, z udziałem szczeliny z rozciągania: 1 — przechył (przewracanie); 2 — rozsuwanie boczne; 3 — osuwisko translacyjne; 4 — osuwisko rotacyjne; 5 — spływ skalny; 6 — różnica pomiędzy cykloidalną obwiednią powierzchni poślizgu osuwisk rotacyjnych (w materiale jednorodnym) rozwijanych bez udziału szczeliny z rozciągania (a) i z udziałem szczeliny z rozciągania (b) — typowe dla osuwiska złożonego (typu *compound*) (Janbu, 1954; Hoek & Bray, 1981)

Fig. 1. Major types of mass movements (after WP/WLI, 1990, 1993; Dikau et al., 1996; Cruden & Varnes, 1996), developed in highly anisotropic flysch rocks and initiated by tension cracks: 1 — topple; 2 — lateral spreading; 3 — translational slide; 4 — rotational slide; 5 — rock flow (sagging, ger. *Sackung*); 6 — difference between circular shape of slip in rotational landslides (hypothetical, formed in homogeneous material) developed (a) without tension crack and (b) with tension crack (Janbu, 1954; Hoek & Bray, 1981)

Kryteria zsuwu strukturalnego

Według Kleczkowskiego (1955) i Bobera (1984) za osuwisko strukturalne jest uważany zsuw przebiegający wzdłuż określonej, naturalnej powierzchni geologicznej, którego kierunek ruchu jest ściśle związany z budową geologiczną. Jest to zarazem ruch ślizgowy masy skalnej bez obrotu (Kleczkowski, 1955) (por. również tab. 1).

Jako że klasyfikacje dotyczące osuwisk strukturalnych były używane powszechnie, należałoby badaczom stosującym bezkrytycznie kryteria zsuwu strukturalnego do charakterystyk skalnych osuwisk uzmysłowić następujące następstwa definicji zsuwu strukturalnego:

I. Płaszczyzna poślizgu osuwisk strukturalnych jest powierzchnią strukturalną — uwarstwienia, uławienia (ryc. 3), spękania, uskoku (ryc. 4); w przypadku zsuwów skomplikowanych będzie to ich kombinacja (Bober, 1984). W przypadku osuwiska zwietrzelinowego za taką umowną powierzchnię (tu powierzchnię nieciągłości) uważano granicę zwietrzelina-skała (tab. 1) (Bober, 1984).

II. Strukturalny charakter tej powierzchni powoduje, że zawsze będzie ona powierzchnią płaską — wszelkie nierówności (tzw. makroszorstkości — patrz Thiel, 1980) tej powierzchni są w trakcie przemieszczania eliminowane w efekcie dylatacji (*dilatancy*) (Kwaśniewski, 1986; Dadlez & Jaroszewski, 1994; Crosta, 1996; Norrish & Wyllie, 1996). Zjawisko dylatacji, jakkolwiek prowadzące (poprzez ściecie) do wyrównania powierzchni płaszczyzny poślizgu, w tym przypadku nie ma jednak wpływu na zmianę charakteru zsuwu, który nadal będzie ześlizgiem bez wstecznego obrotu. Niekiedy skutek przemieszczeń powierzchnia poślizgu osuwisk bywa zlustrowana (Oszczypko i in., 2002; Margielewski, 2004a, b, 2006).

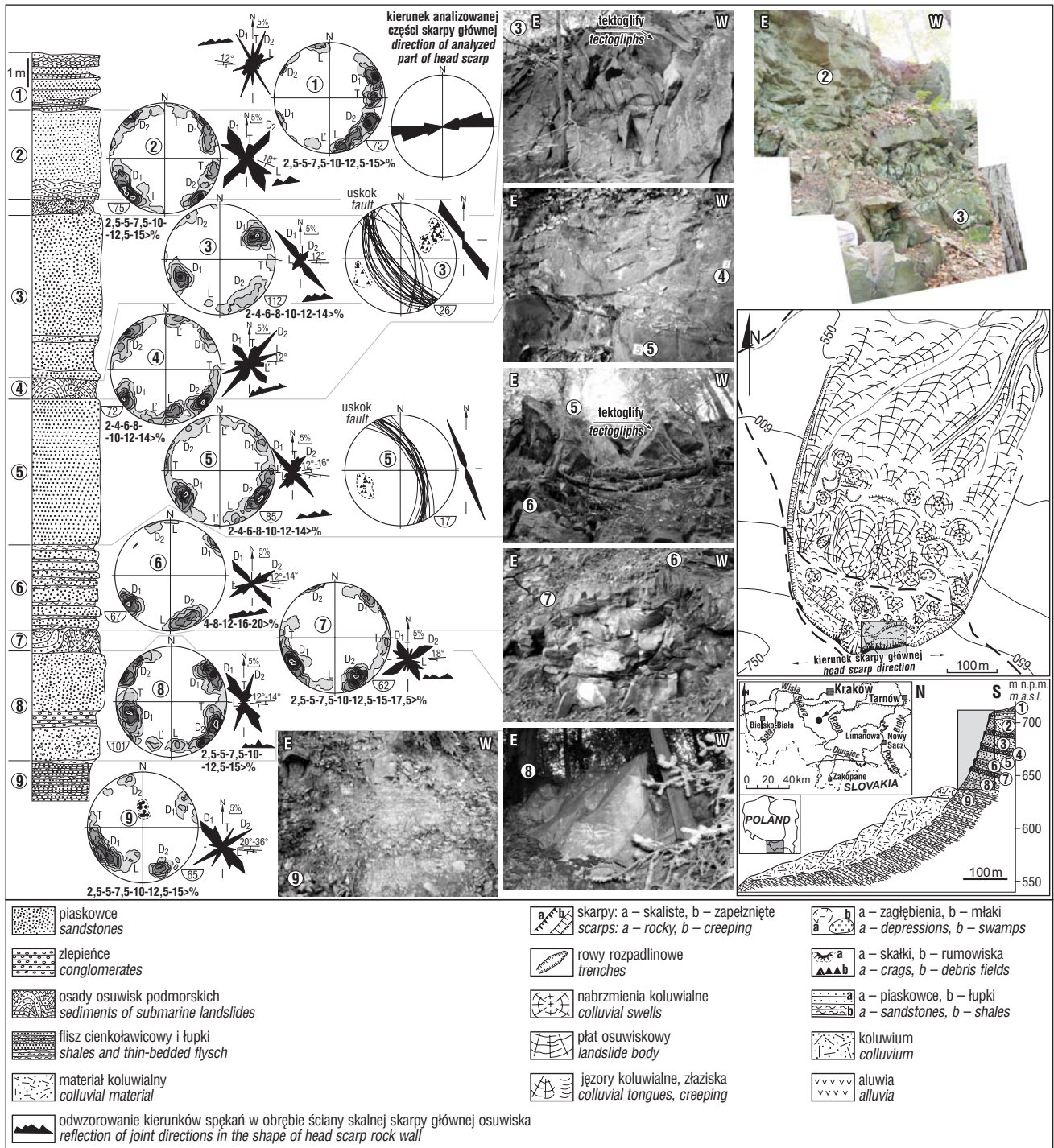
III. Płaska powierzchnia poślizgu powoduje, że zsuw będzie wyłącznie translacyjny (Dikau i in., 1996; Cruden & Varnes, 1996). Kleczkowski (1955) i Bober (1984), charakteryzując klasy zsuwu, wprowadzili dodatkowo zastrzeżenie (wobec płaskiej powierzchni poślizgu wydające się jednoznaczne), że w obrębie osuwisk strukturalnych ruch

zachodzi „bez obrotu”, tj. wstecznego obalenia przemieszczanych mas, typowego dla ścięciowych osuwisk rotacyjnych. Ponadto Kleczkowski (1955), objaśniając zjawisko zsuwu strukturalnego, jednoznacznie stwierdza, że w tych formach występuje tylko ruch ślizgowy — zsuwanie się wzdłuż powierzchni przemieszczenia, w odróżnieniu od osuwisk ścięciowych (rotacyjnych), w których ruch ślizgowy jest połączony z obrotem poruszającego się materiału dookoła pewnego punktu w kierunku odwrotnym niż sam ruch ślizgowy (Kleczkowski, 1955, s. 82). Nie pozostawia to wątpliwości odnośnie do translacyjnego charakteru przemieszczeń grawitacyjnych w obrębie osuwisk strukturalnych.

Definicja osuwiska strukturalnego jest więc na tyle precyzyjna, że nie pozostawia żadnego marginesu interpretacyjnego, umożliwiające stosowanie klasyfikacji tych osuwisk dla zsuwów innych niż osuwiska przemieszczane po płaskich powierzchniach poślizgu (zsuwy translacyjne) (ryc. 1.3; 3; 4). Kwestii tej nie zmienia również klasa zsuwu skomplikowanego wprowadzana przez Bobera (1984), który jednoznacznie stwierdza, że osuwiska te przemieszczane są po kombinacji płaszczyzn strukturalnych (a więc po kombinacji płaskich powierzchni) (tab. 1).

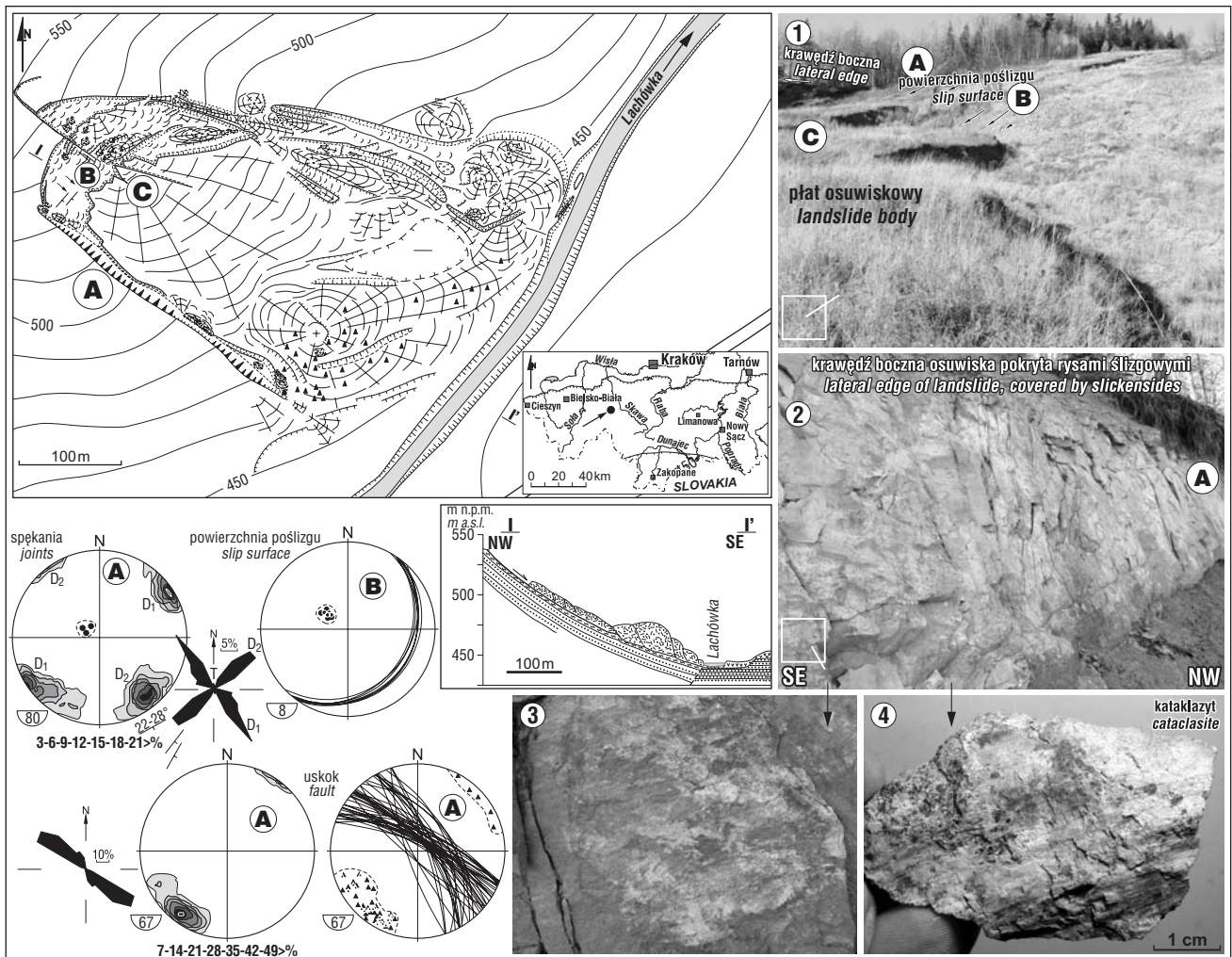
Stosowalność kryteriów zsuwu strukturalnego

Kryteria klasyfikacji geologicznej zsuwów strukturalnych, wprowadzone przez Kleczkowskiego (1955) i rozszerzone przez Bobera (1984), zaczęły powszechnie funkcjonować wśród badaczy skalnych osuwisk w polskich Karpatach fliszowych. Pomimo iż kryteria zsuwu strukturalnego i związane z nim klasyfikacje były jednoznaczne, zaczęto je stosować bezkrytycznie w stosunku do wszystkich skalnych osuwisk karpacczych, w tym również głębokich, wychodząc prawdopodobnie z pozornie logicznego założenia, że w obrębie ośrodków anizotropowych powinny dominować wyłącznie zsuwy rozwijane wzdłuż powierzchni strukturalnych. Stosowalność tych kryteriów była szczególnie problematyczna w stosunku do roz-



Ryc. 2. Przykład różnego odzworowania powierzchni nieciągłości (spekań, uskoków) w obrębie powierzchni oderwania mas skalnych osuwiska, w zależności od rodzaju utworów: 1–8 — warstwy magurskie, 9 — warstwy hieroglifowe (profil zbiorczy). Skarpa główna osuwiska rotacyjnego na północnych stokach Parszywki w Beskidzie Makowskim (wg Margielewskiego, 2006). Obok poszczególnych kompleksów litologicznych — spekania przedstawione na diagramach kierunkowych i konturowych (projekcja równopowierzchniowa biegunów na dolną półkulę, interwał izolinii i ilość pomiarów podano obok diagramów). Pozycja płaszczyzny uskoku na diagramach kołowych i punktowych (projekcja na dolną półkulę). Położenie warstw na diagramach punktowych (projekcja biegunów na dolną półkulę). Systemy spekań wg Mastelli i in., 1997: L — podłużny, D₁, D₂ — skośny; T — poprzeczny do położenia warstw. Obok przedstawiono charakter odzworowania spekań w obrębie różnych części skarpy oraz fotografie odsłonięć poszczególnych kompleksów skalnych

Fig. 2. Different shape of the head scarp as yielded by tension surface, reflecting structural discontinuities (joints, faults). Complex of the Magura beds (1–8) underlain by the Hieroglyphic beds (rock complex — 9) (combined profile). Main scarp of rotational landslide, Parszywka Mt., Beskid Makowski Mts. after Margielewski (2006). Near each lithological complex exposed in the head scarp, the joint diagrams are presented: rose diagram and contour (equal area plot, projection of poles on lower hemisphere), on the great circle and pole point diagrams faults are presented. Fracture systems after Mastella et al., 1997: L — longitudinal, D₁, D₂ — diagonal; T — transverse to orientation of beds. On the photos: outcrops of all lithological complexes with structural discontinuities (in various parts of head scarp)



Ryc. 3. Osuwisko translacyjne, strukturalne (*sensu* Kleczkowski, 1955; Bober, 1984), konsekwentno-ześlizgowe (konsekwentno-strukturalne) w Lachowicach-Zawodziu w Beskidzie Makowskim (warstwy magurskie). Plan i przekrój częściowo wg Oszczytki i in., 2002; Bednarczyka, 2004; uzupełniony (stan aktualny). Spękania na diagramach konturowych i kierunkowych (w obrębie krawędzi bocznej — A). Powierzchnia poślizgu (B) i oderwania (krawędź boczna A jest powierzchnią uskoku) na diagramach kołowych. Objaśnienia na ryc. 2. Na fot.: 1 — powierzchnia poślizgu widoczna na powierzchni terenu (B) i płat osuwiskowy (C); 2 — krawędź boczna osuwiska pokryta tektoglifymi i lustrami tektonicznymi; 3 — fragment powierzchni skalnej krawędzi bocznej z lustrami tektonicznymi (piaskowiec magurski); 4 — kataklazyt z krawędzi bocznej

Fig. 3. Slide translational, structural (*sensu* Kleczkowski, 1955; Bober, 1984) and slip-consequent (structural-consequent). Lachowice-Zawodzie landslide (Beskid Makowski Mts.) (Magura Beds). Map and cross-section partly after: Oszczytko et al., 2002; Bednarczyk, 2004, modified and supplemented (current state). Joints on contour diagrams and rose diagrams (measured in landslide's lateral edge — A), slip surface (B) and surface yielded by tension (lateral edge A — as fault plane) on great circle diagrams. Explanations as given in Fig. 2. On the photos: 1 — slip surface exposed on the ground surface (B) and landslide body (C); 2 — lateral edge of landslide body covered by tectoglyphs and tectonic mirrors; 3 — rock fragment (lateral edge, Magura Sandstone) with tectoglyphs and tectonic mirrors; 4 — cataclasite from lateral edge

ległych osuwisk powstałych na czołach warstw — wg klasyfikacji strukturalny charakter tych osuwisk wiązano ze spękaniem, wzdłuż których teoretycznie powinny być przemieszczane masy osuwiskowe (tzw. osuwiska konsekwentno-szczelinowe). Dla tego typu osuwisk strukturalnych, rozwijanych przeciwnie do kierunku zapadania warstw, Bober (1984) wprowadził klasę zsuwu obsekwentno² (tab. 1).

W przypadku głębokich skalnych osuwisk należałoby jednak rozważyć kwestię, wzdłuż jakiej nieciągłości strukturalnej (lub ich kombinacji w przypadku skomplikowanego osuwiska strukturalnego) przemieszczenie mogłoby nastąpić przeciwnie do zapadania warstw (na czołach warstw).

Analizy tektoniczne wskazują bowiem, iż powierzchnie spękań w Karpatach najczęściej są bardzo strome (nierzadko pionowe) (m.in. Książkiewicz, 1968; Mastella i in., 1997; Zuchiewicz, 1997; Konon, 2001; Mastella & Konon, 2002; Margielewski, 2004a, 2006). Krzyżujące się kierunki zespołów ciosu (jest to widoczne w odsłonięciach skarp głównych osuwisk) prowadzą często do klinowego lub pilastego odwzorowania przebiegu powierzchni ścian skarp osuwisk (ryc. 2) (Margielewski, 1998, 2001, 2002, 2004a, 2006). W takich sytuacjach nie jest możliwe, aby masy skalne zostały przemieszczone wzdłuż jakiejś jednorodnej, w przybliżeniu płaskiej powierzchni spękań. W przypadku kombinacji krzyżujących się płaszczyzn spękań musi wszak

²W kolejnych pracach dotyczących klasyfikacji osuwisk strukturalnych (Bober i in., 1997; Zabuski i in., 1999) termin *zsuw obsekwentny* został synonimicznie zastąpiony terminem *zsuw insekwentny*, z powołaniem na klasyfikację osuwisk strukturalnych Kleczkowskiego (1955). Kwestia ta jest o tyle problematyczna, że Kleczkowski (1955) traktował osuwiska insekwentne wyłącznie jako ścięciowe, nie zaś strukturalne.

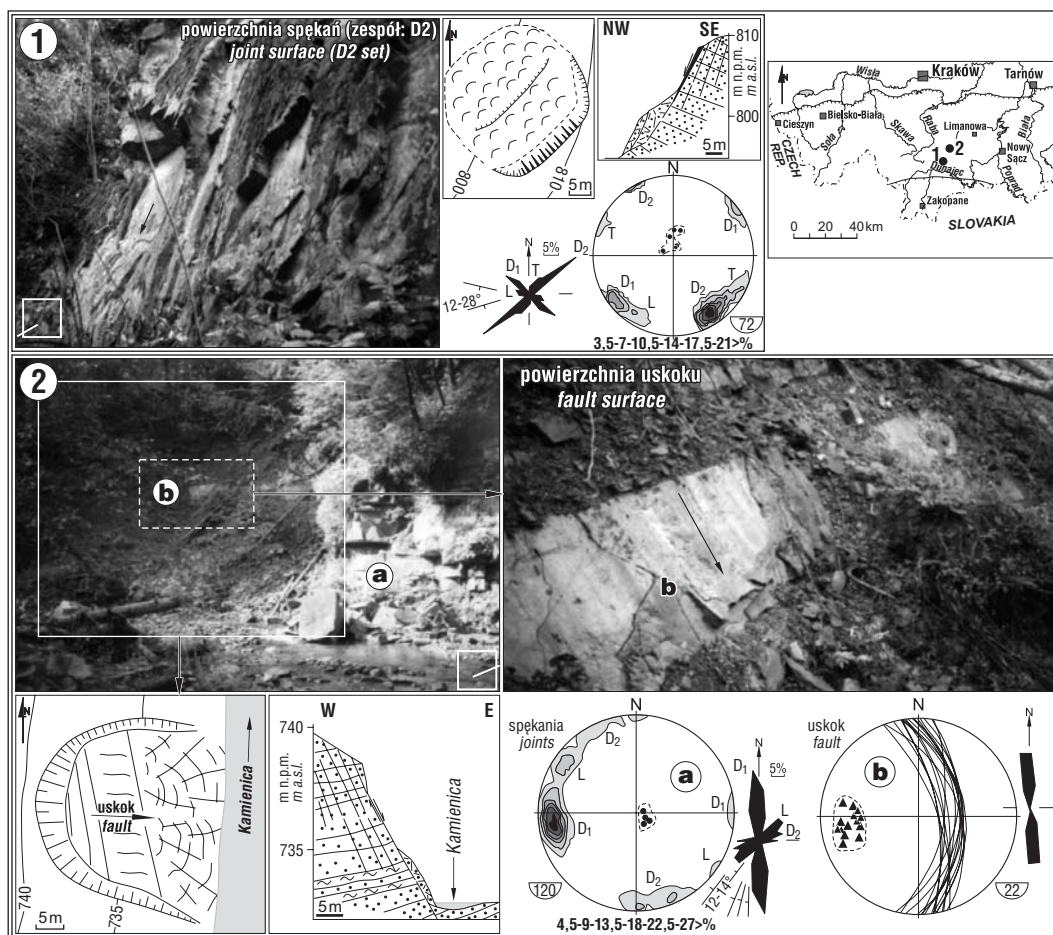
dojść do generalnego ścięcia (zniszczenia) ich „klinowych” powierzchni. Ponieważ nie jest tu możliwe wykorzystanie przez zsuw jakiegokolwiek jednorodnej powierzchni strukturalnej czy ich kombinacji (szczególnie gdy warstwy zapadają przeciwnie do kierunku przemieszczenia grawitacyjnych, płaszczyzny spękań zaś są pionowe, nierzadko nachylone w kierunku przeciwnym do przemieszczeń grawitacyjnych) osuwisko takie w żadnej mierze nie może być traktowane jako strukturalne (*sensu* Kleczkowski, 1955; Bober, 1984). Powierzchnia poślizgu ma tu bez wątpienia charakter ścięciowy (zwłaszcza gdy w podłożu są skały podatne — łupki czy drobnorytmiczny flisz), w najlepszym razie (w płytszych osuwiskach) strukturalno-ścięciowy: jest ona wówczas kombinacją odcinków płaskich (strukturalnych) i ścięciowych (krzywoliniowych) (Terzaghi, 1950; Thiel, 1980; Brunsden, 1985). Badania dowiodły, że osuwiska na czołach warstw rzadko są strukturalne (konsekwentno-szczelinowe) (por. Zabuski i in., 1999), te rzeczywiście strukturalne zaś — translacyjne, przemieszczane po powierzchniach płaszczyzn spękań lub uskoków — są niemal wyłącznie formami płytkimi (ryc. 4) (Margielewski, 2002, 2006). Głębsze formy najczęściej reprezentują typ osuwiska z udziałem różnych przemieszczeń, w tym także

rotacyjnych (ryc. 5; 6). Często jest również występowanie w ich obrębie kilku powierzchni poślizgu. Niekiedy powstają tu osuwiska złożone (*compound*) o powierzchniach poślizgu częściowo spłaszczonej przez głęboki zasięg szczeliny inicjalnej (z rozciągania) w masywie skalnym (ryc. 1.6.b; 5) (Margielewski, 2002, 2004a, 2005, 2006).

Terminologia

Swoistym problemem, związanym z klasyfikacją osuwisk karpaccich, stał się termin: *głębokie osuwisko strukturalne, insekwentne*, często stosowany przez badaczy osuwisk karpaccich do charakteryzowania form powstających na czołach warstw, z założeniem, że zostały one przemieszczone po powierzchniach płaszczyzn spękań. Jako że ten zlepek terminologiczny tworzy oksymoron, istotne staje się wyjaśnienie etymologii poszczególnych terminów składowych tej klasyfikacji.

Osuwisko głębokie. Bober w pracy z 1984 r. przyjął, że maksymalna głębokość, na jakiej może powstać osuwisko strukturalne, wynosi 40 m. Głębokość ta wynikała z zasięgu spękań efektywnych w masywach fliszowych (Oszczypko

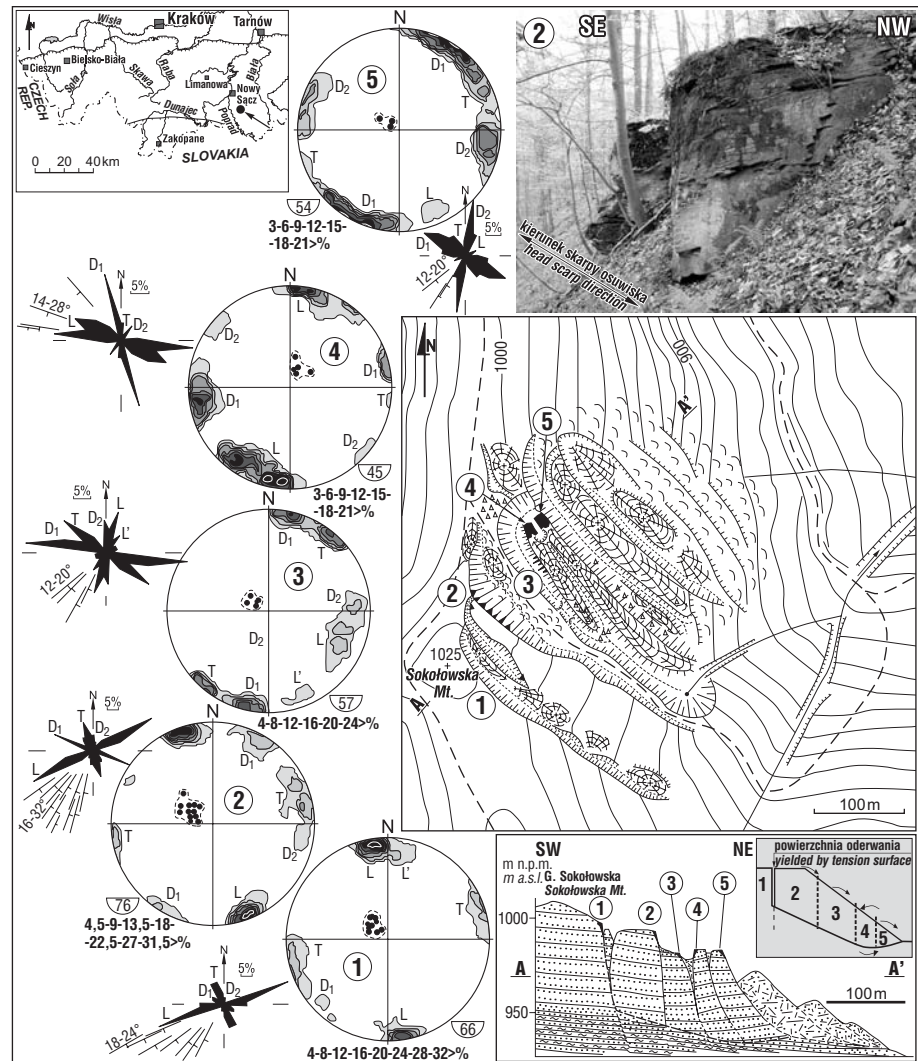


Ryc. 4. Przykłady płytkich osuwisk translacyjnych, strukturalnych (*sensu* Kleczkowski, 1955; Bober, 1984), konsekwentno-szczelinowych: **1** — osuwisko konsekwentno-szczelinowe, obsekwentne, przemieszczane po płaszczyźnie spękań (piaskowiec magurski, Łopuszna, Gorce); **2** — osuwisko konsekwentno-szczelinowe, obsekwentne, przemieszczane po powierzchni uskoku (piaskowiec magurski, Rzeki, Gorce) (Margielewski, 2006). Spękania na diagramach kierunkowych i konturowych, uskok na diagramie kołowym. Objasnienia na ryc. 2 **Fig. 4.** Examples of shallow translational landslides as structural forms developed along fissures (*sensu* Kleczkowski, 1955; Bober, 1984): **1** — fissure-consequent landslide, obsequent in type, displaced along joint surface (Magura Sandstone, Łopuszna, Gorce Mts.); **2** — fissure-consequent landslide, obsequent in type, displaced along fault surface (Magura Sandstone, Rzeki, Gorce Mts.) (Margielewski, 2006). Joints on directional and contour diagrams, faults on great circle diagram. Explanation as given in Fig. 2

i in., 1981). W przybliżeniu odpowiada przyjętej przez Hutchinsona (1988, 1995) głębokości 30 m (występowania powierzchni czy też strefy poślizgu), powyżej której (tj. głębiej) osuwisko jest już uznawane za głębokie (*deep-seated landslide*) z wszystkimi dla tego typu zsuwów konsekwencjami geomechanicznymi, związanymi ze wzrostem wytrzymałości skał wraz z głębokością (Thiel, 1980; Zabuski i in., 1999) oraz redukcją powierzchni nieciągłości strukturalnych, obserwowaną wraz ze wzrostem głębokości (Dadlez & Jaroszewski, 1994; Scheidegger, 2001; Margielewski & Urban, 2004, 2005). Osuwisko głębokie nie może więc być osuwiskiem strukturalnym *sensu* Kleczkowski (1955) i Bober (1984). Zawsze bowiem musi nastąpić tu ścięcie związane z oddziaływaniem przemieszczanych grawitacyjnie mas skalnych na podłoże.

Nowsze badania, prowadzone w polskich Karpatach nad jaskiniami szczelinowymi (tu szczelinami ekstensyjnymi) typu *crevice* (por. Pulina, 1997), wykazały, że głębokość relaksacji masywu, do której następuje otwarcie kompletu zespołów spękań, może być znacznie mniejsza i sięgać co najwyżej kilkunastu metrów (Margielewski & Urban, 2003, 2004, 2005). W masywach fliuszowych często bowiem inne procesy są odpowiedzialne za założenie ciosu (tektonogeneza), inne zaś za jego otwarcie (zwykle czynniki denudacyjno-odprężeniowe — Dadlez & Jaroszewski, 1994; Caputo, 1995; Scheidegger, 2001), aczkolwiek w płytszych partiach masywów są spotykane dowody również kompresyjno-ekstensyjnego (tektonogenetycznego) otwierania spękań (Mastella & Konon, 2002; Margielewski & Urban, 2004, 2005).

Sformułowanie *głębokie osuwiska strukturalne* stało się dla badaczy osuwisk swoistym wytrychem terminologicznym, umożliwiającym im zastosowania powszechnie używanej w Karpatach terminologii osuwisk strukturalnych (*sensu* Kleczkowski, 1955; Bober, 1984) do opisu rozległych osuwisk z wysoką, skalistą niszą (tu skarpa główną, o wysokości sięgającej niekiedy 50 m) powstałych na czołach warstw. Jednakże ze względu na założenia Bobera (1984), ograniczające głębokość zsuwu strukturalnego do 40 m, jak też zdefiniowanie przez Hutchinsona (1995) granicy głębokości zasięgu głębokich osuwisk (*deep-seated landslides*) na 30 m, oczywista stała się potrzeba weryfikacji terminu *głębokie osuwisko* jako nieprzystającego do fenomenu osuwisk strukturalnych.

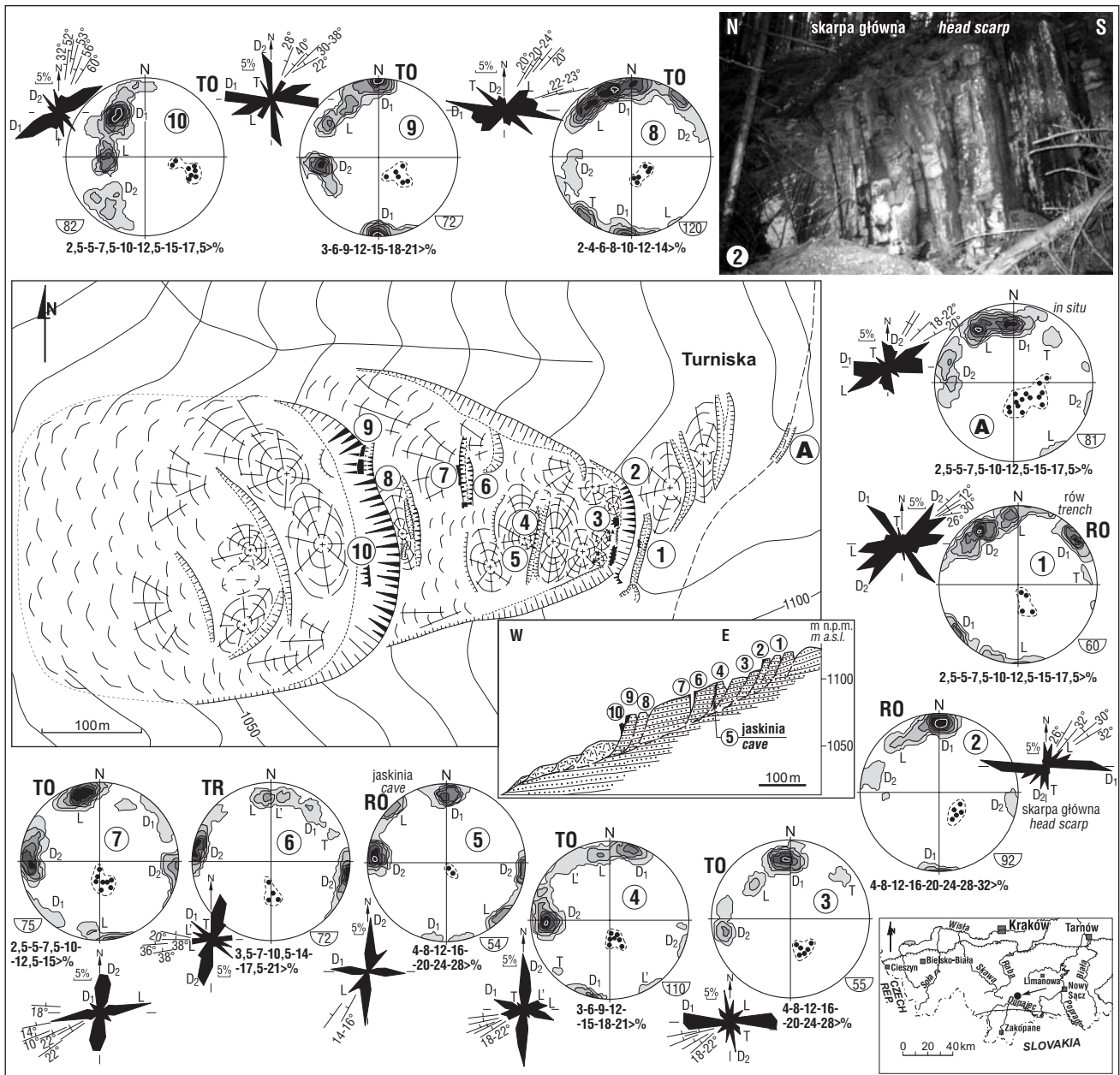


Ryc. 5. Osuwisko złożone w rezerwie Barnowiec w Beskidzie Sądeckim (Margielewski, 2005). Ogniwo piaskowca z Piwnicznej, formacja magurska. Na schemacie obok przekroju zestawiono segmenty osuwiska z charakterystycznym dla typu złożonego rozkładem przemieszczeń grawitacyjnych. Spękania na diagramach kierunkowych i konturowych. Objasnienia na ryc. 2

Fig. 5. Compound slide in the Barnowiec Nature Reserve, Beskid Sądecki Mts. (Margielewski, 2005). Piwniczna Sandstone Member, Magura Formation. On scheme (near cross-section) are shown landslide segments with types of gravitational displacements typical for the compound type slide. Joints on directional and contour diagrams, faults on great circle diagram. Explanation as given in Fig. 2

Osuwisko strukturalne. Definicję zsuwu strukturalnego wraz z rozwinięciem przedstawiono już szczegółowo, wskazując na bardzo precyzyjne, wąskie kryteria wydzielenia tego osuwiska, determinujące jednoznacznie translacyjny charakter przemieszczeń zachodzących po powierzchniach strukturalnych, a więc płaskich (lub ich kombinacji). W przypadku tego przemieszczenia występuje tylko ruch ślizgowy bez obrotu wstecznego (Kleczkowski, 1955), tj. translacyjny.

Osuwisko insekwentne. W obrębie zsuwów (osuwisk) właściwych Kleczkowski (1955), obok zsuwów strukturalnych, wydzielił również zsuwy ze ścinania. Według jego klasyfikacji, jednym z typów osuwisk ze ścinania jest osuwisko asekwentne (w materiale jednorodnym, niewarstwowanym), drugim zaś osuwisko insekwentne (*sic!*): *zsuw ze ścinania w materiale warstwowanym* (Kleczkowski, 1955, por. również Książkiewicz, 1978). Osuwisko insekwentne jest więc jednoznacznie typem osuwiska ścięciowego:



Ryc. 6. Przykład kombinacji różnych typów przemieszczeń grawitacyjnych — osuwisko mieszane. Turniska w Gorcach (por. Margielewski, 1999; Sierant & Urbanowicz, 2001). Gruboławicowy piaskowiec magurski. Typy przemieszczeń: TO — przechył, TR — translacyjne, RO — rotacyjne. Spękania na diagramach kierunkowych i konturowych. Objasnienia na ryc. 2

Fig. 6. Example of combined types of gravitational movements — landslide of the complex type, Turniska, Gorce Mts. (see also Margielewski, 1999; Sierant & Urbanowicz, 2001). Thick-bedded Magura Sandstone. Type of movements: TO — toppling, TR — translational, RO — rotational. Joints on directional and contour diagrams. Explanations as given in Fig. 2

ścienie występuje tu w poprzek istniejących powierzchni strukturalnych (Kleczkowski, 1955), tak więc z osuwiskami strukturalnymi nie ma ono nic wspólnego (zob. również 2. przypis). Osuwiska ścięciowe są ponadto przez Kleczkowskiego charakteryzowane jako formy, w których ruch ślizgowy jest połączony z obrotem materiału skalnego dookoła pewnego punktu w kierunku odwrotnym niż sam ruch ślizgowy (Kleczkowski, 1955, s. 82), co nie pozostawia wątpliwości, że są to formy rotacyjne (*rotational landslides*) sensu Hutchinson (1988, 1995) oraz Dikau i in. (1996). Odnośnie do możliwości występowania zsuwu insekwentnego w ośrodku warstwowym (tu anizotropowym) Kleczkowski (1955) przyjął jednak pewne zastrzeżenie, że osuwisko to występuje w słabo związanych skałach (tu podatnych), a więc sprzyjających powstawaniu ścięć.

W takim ośrodku skalnym (anizotropowym, lecz jednocześnie odkształcalnym) ewentualny wpływ anizotropii strukturalnej na ostateczny kształt zsuwu jest znikomy. Może tu więc nastąpić ścięcie i przemieszczenie mas skalnych po cykloidalnej (wklęsłocylicydrycznej) powierzchni poślizgu, o krzywiznie zwiększającej się wraz ze wzrostem głębokości (por. Bishop, 1955; Scheidegger, 1974; Hoek & Bray, 1981; Hutchinson, 1995; Zabuski i in., 1999). Badania dowiodły, że osuwiska takie (tu rotacyjne lub złożone — rotacyjno-translacyjne typu *compound*) występują w Karpatach w obrębie utworów odkształcalnych (łupki, drobnortmiczny flisz) często podścielających gruboławicowe piaskowce, niekiedy zaś także w obrębie piaskowców (Margielewski, 2001, 2002, 2004a, 2005, 2006). Ewentualnie dla takich form ścięciowych (rotacyjnych)

rozwijanych na czołach warstw można więc używać terminu: *osuwisko insekwentne*, w żadnym zaś razie nie do charakterystyki osuwisk strukturalnych.

Definicję osuwiska insekwentnego jednoznacznie przedstawił również Książkiewicz (1978), który stwierdził, że: *osuwiska insekwentne są to osuwiska, których powierzchnia przemieszczenia rozwinęła się w poprzek istniejących powierzchni strukturalnych, jest więc wytworzona przez ścinanie. Powierzchnia taka jest zwykle cykloidalna. W praktyce typ ten trudno odróżnić od typu konsekwentno-szczelinowego, gdyż szczeliny mogą przebiegać nieregularnie w poprzek warstw.* Definicja ta nie pozostawia wątpliwości, co do jednoznacznej różnicy pomiędzy osuwiskiem insekwentnym (ścięciowym, o cykloidalnej powierzchni poślizgu) a konsekwentno-szczelinowym (strukturalnym, o płaskiej powierzchni poślizgu). Ewentualne trudności w odróżnianiu tych dwu typów osuwisk nie wpływają na fakt, iż są to osuwiska reprezentujące diametralnie różne typy (ścięciowe i strukturalne). Kwestia ta, jak się wydaje, powszechnie umknęła uwadze badaczy osuwisk karpaccich.

Powszechne stosowanie w geomorfologii terminu *insekwentne* w charakterystyce form morfologicznych, których rozwój nie ma związku ze strukturami (np. *insekwentne doliny rzeczne* — Migoń, 2006), jednoznacznie wskazuje, iż w klasyfikacjach osuwisk strukturalnych w Karpatach termin ten był błędnie stosowany także z punktu widzenia etymologicznego. Jak już wspomniano wcześniej, taki zlepek terminów klasyfikacyjnych (*osuwisko głębokie, strukturalne, insekwentne*) stanowi swoiste zaprzeczenie: w „tłumaczeniu” znaczy bowiem *osuwisko strukturalne i ścięciowe* (zarazem?!), nie dotyczy w żadnej mierze kombinacji tych typów. W gruncie rzeczy świadczy to o zbyt daleko idącym uproszczeniu, stosowanym przez badaczy osuwisk w klasyfikowaniu osuwisk głębokich, rozwijanych w ośrodku anizotropowym, dla których należało zastosować obowiązującą klasyfikację regionalną (a powszechnie była stosowana klasyfikacja osuwisk strukturalnych Kleczkowskiego, 1955, uzupełniona przez Bobera, 1984). Często także do charakterystyki osuwisk obrotowych (tu rotacyjnych, ścięciowych) używano bowiem terminologii zarezerwowanej dla osuwisk strukturalnych (np. *zsuwy konsekwentno-szczelinowe*, które były jednocześnie klasyfikowane jako insekwentne i obrotowe, tj. rotacyjne). Problematyczny był ponadto sposób prezentowania osuwisk na przekrojach, na których osuwisko zaklasyfikowane jako strukturalne było przedstawiane jako mające kolistą w zarysie (a więc cykloidalną) powierzchnię poślizgu, typową dla osuwisk rotacyjnych — a więc ścięciowych.

Odrębną kwestią jest określenie relacji pomiędzy kierunkiem przemieszczeń grawitacyjnych a kierunkiem zapadania warstw, niezależnie od typu ruchów masowych. Dotychczas podczas charakteryzowania przemieszczeń grawitacyjnych używano bowiem sformułowań, iż zachodzą one np. insekwentnie, konsekwentnie bądź subsekwentnie w stosunku do zapadania warstw (w tym także dla form ścięciowych — obrotowych) (m.in. Bajgier, 1993; Wójcik, 1997; Margielewski, 2006). Abstrahując od klasyfikacji i terminologii osuwisk strukturalnych (*sensu stricto* —

por. tab. 1), taki sposób charakterystyki kierunku przemieszczeń grawitacyjnych wydaje się zasadny, jednak pod warunkiem, że zostanie określony typ ruchu masowego wraz z odniesieniem do stosowanej klasyfikacji.

Osuwisko strukturalne a strukturalne założenia rozwoju skalnych osuwisk karpaccich

Istotną kwestią, w przypadku skalnych osuwisk powstających w materiale anizotropowym, jest określenie zależności ich rozwoju od struktur. Należy tu bowiem odróżnić osuwisko strukturalne (*sensu* Kleczkowski, 1955; Bober, 1984) od kwestii strukturalnych założeń rozwoju osuwisk (Margielewski, 2001, 2004a, 2005, 2006; Margielewski & Urban, 2004, 2005).

Podział *osuwisk właściwych* Kleczkowski (1955) w swojej fundamentalnej pracy opiera na analizie rodzaju powierzchni ześlizgu, która może być naturalną powierzchnią strukturalną (w osuwiskach strukturalnych) lub powierzchnią powstałą ze ścięcia (w osuwiskach ścięciowych). Kwestie dotyczące osuwiska (zsuwu) strukturalnego zostały szczegółowo przeanalizowane w poprzednich rozdziałach. Strukturalna powierzchnia poślizgu (płaska) będzie więc typowa dla płytkich (*shallow*) i średnio-głębokich (*intermediate, sensu* Hutchinson, 1995) osuwisk. W głębszych formach będzie to powierzchnia kombinowana — strukturalno-ścięciowa (szczególnie w osuwiskach typu *compound*) lub wręcz ścięciowa, cykloidalna (w osuwiskach rotacyjnych). Osuwisko będzie więc miało charakter zsuwu strukturalnego jedynie w ściśle określonych przypadkach.

Odrębną kwestią są strukturalne założenia skalnych osuwisk, powstających w ośrodkach anizotropowych. Osuwisko nie jest bowiem tworem jednorodnym w czasie. Zazwyczaj jego powstanie poprzedza rozwój szczeliny z rozciągania (*tension crack*, właśc. *extension crack*). Powstaje ona wskutek rozładowywania naprężeń ścinających w górotworze, następującego wzdłuż naturalnych powierzchni nieciągłości (zazwyczaj spękań lub uskoków) istniejących w masywie skalnym. Zjawisko rozszerzania szczelin wskutek pochłaniania energii naprężeń ścinających zachodzi aż do przekroczenia naprężeń krytycznych, kiedy to nastąpi przemieszczenie grawitacyjne fragmentu masywu skalnego, zdeintegrowanego i odseparowanego od calizny masywu zespołem szczelin ekstensyjnych³, które tworzą płaszczyznę oderwania mas skalnych. Dostokowa ściana szczeliny może zostać zachowana jako skarpa główna osuwiska (ryc. 2) (Margielewski & Urban, 2000, 2003; Margielewski, 2002, 2004a, 2006), niekiedy zaś jako krawędź boczna zsuwu. Jako że faza przygotowawcza przemieszczenia grawitacyjnego jest znacznie rozłożona w czasie, szczelina ekstensyjna (a z nią powierzchnia oderwania) będzie się rozwijała stopniowo wzdłuż kierunków anizotropii tektonicznej, w jej obrębie będą więc odwzorowane wyłącznie powierzchnie strukturalne (Margielewski, 1998; 2006; Margielewski & Urban, 2000, 2003). W efekcie skarpa główna niszy osuwiska (jako pozostałość szczeliny ekstensyjnej) może mieć prze-

³Ponieważ w przypadku rozwoju szczelin z rozciągania (tu w domyśle tensyjnych) nie do końca jest wyjaśniona rola składowych poziomych naprężeń normalnych działających równoległe do kierunku rozwoju szczeliny (a więc składowych ściskających), w celu podkreślenia faktu poszerzania ośrodka skalnego, bez rozpatrywania kwestii kierunków i rodzaju działających sił, szczeliny te będą dalej nazywane ekstensyjnymi (*extension cracks*) — por. również ryc. 1. Uwaga jest identyczna z tą, którą Dadlez i Jaroszewski (1994, str. 67) opatrzili kwestię rozwoju spękań ekstensyjnych.

bieg liniowy (wzdłuż jednego kierunku spękań lub uskoku), klinowy lub pilasty (odwzorowanie więcej niż jednego z krzyżujących się kierunków spękań) (Margielewski, 2001, 2002, 2004a), przy czym kierunki spękań nie zawsze będą wówczas równoległe do przebiegu skarpy głównej osuwiska (ryc. 2; 5; 6.2) czy rowów rozpadlinowych. Ze względu na rodzaj powierzchni oderwania⁴ mas skalnych strukturalne założenia powinny więc mieć praktycznie wszystkie skalne osuwiska stopniowo rozwijane w silnie anizotropowych tektonicznie masywach skalnych Karpat. Dotyczy to wszystkich typów skalnych osuwisk (ruchów masowych w ogóle), gdyż ostateczne wykształcenie powierzchni poślizgu (*slip surface*, rozwijanej wzdłuż płaskich powierzchni strukturalnych bądź ścięciowej — cykloidalnej) jest kwestią wtórną w stosunku do powierzchni oderwania mas skalnych (*yielded by tension surface*) i następuje w trakcie przemieszczeń grawitacyjnych (ryc. 1) (Margielewski, 2002, 2004a, 2006).

Interesującym przykładem zsuwu strukturalnego, którego część powierzchni oderwania rozwinęła się wzdłuż nieciągłości strukturalnej, jest powszechnie znane osuwisko w Lachowicach-Zawodziu w Beskidzie Makowskim, powstałe w 2001 r. (Oszczypko i in., 2002; Bajgier-Kowalska & Ziętara, 2002; Poprawa & Rączkowski, 2003; Bednarczyk, 2004). Stosunkowo płytki, jednak rozległy powierzchniowo zsuw translacyjny został przemieszczony po powierzchni warstwy łupków przelawicających piaskowce magurskie, która w trakcie transportu grawitacyjnego mas koluwalnych uległa zlustrowaniu. W górnych partiach osuwiska jej fragment pokryty lustrami tektonicznymi odsłania się wręcz na powierzchni (ryc. 3.1; por. również Oszczypko i in., 2002). W niższych partiach wyniki badań georadarowych wskazują na większą głębokość osuwiska (max. 10–12,5 m), bardziej złożony przebieg powierzchni poślizgu zaś występuje zwłaszcza w strefie spiętrzenia mas koluwalnych (Bednarczyk, 2004). Znaczna część powierzchni oderwania mas skalnych, rozwinięta jako krawędź boczna osuwiska, powstała natomiast wzdłuż uskoku prawoprzesuwczego o przebiegu nawiązującym do jednego z kierunków (DR) regionalnej sieci uskoków skośnych (Mastella & Szykaruk, 1998). Jest ona pokryta lustrami tektonicznymi i tektoglifyami (ryc. 3.2–3.3), występują tu także kataklazyty (ryc. 3.4). Obecność tej nieciągłości strukturalnej oraz konsekwentny układ ławic, sprzyjający przemieszczeniom translacyjnym, w istotny sposób miały wpływ na rozwój formy, która powstała w efekcie intensywnych opadów w lipcu 2001 r., powodujących przeciążenie zbocza wodą (Oszczypko i in., 2002). Wschodnia część osuwiska została odmłodzona w 2002 r. (Poprawa & Rączkowski, 2003; Bajgier-Kowalska, 2004).

W pewnych przypadkach szczeliny ekstensyjne mogą rozwijać się również wzdłuż powierzchni poślizgu osu-

wisk, w efekcie tzw. makrodylatacji szczelinowej (blokowej) (Reynolds, 1985; Kwaśniewski, 1986), poprzedzając rozwój właściwej powierzchni poślizgu. Szczeliny ekstensyjne rozwijają się stopniowo na granicy nienaruszonego masywu skalnego i osuwiska, wzdłuż naturalnych powierzchni nieciągłości istniejących w masywach skalnych. Niekiedy są one na tyle rozległe, że tworzą system jaskiń szczelinowych, występujących wzdłuż powierzchni poślizgu osuwiska, stopniowo rozwijanej z udziałem makrodylatacji szczelinowej. Interesującym przykładem takiego systemu szczelin jest Jaskinia Miecharska w Beskidzie Śląskim (Margielewski i in., 2007).

W kierunku zunifikowanej klasyfikacji osuwisk

Klasyfikacje osuwisk strukturalnych Kleczkowskiego (1955), uzupełnione przez Bobera (1984), mają charakter regionalny. Zasadność ich stosowania była determinowana specyfiką ośrodka skalnego, w którym powstawały — silnie anizotropowych tektonicznie (strukturalnie) i zmienionych litologicznie masywach fliszowych Karpat. Prawdopodobnie ten fakt (ośrodek anizotropowy) i stosowane adekwatne do niego, jak mogło się wydawać, uproszczenia (tu struktury, a więc osuwiska strukturalne), wpływał na powszechne i bezkrytyczne używanie przez badaczy terminologii związanej z osuwiskami strukturalnymi.

Tymczasem szczegółowe badania tektoniczne osuwisk (Margielewski, 2001, 2002, 2004a) wskazują, iż w masywach skalnych Karpat mogą się rozwijać wszystkie typy ruchów masowych wydzielone w powszechnych klasyfikacjach osuwisk (tab. 2) (Hutchinson, 1988, 1995; Cruden & Varnes, 1996; Dikau i in., 1996). Osuwiska strukturalne mogą tu stanowić tylko jeden z typów ruchów masowych (osuwiska translacyjne) (ryc. 1.3; 3; 4). Często będą też występować przemieszczenia mieszane, złożone z kilku typów ruchów masowych (*complex*) (ryc. 6). Różnorodność typów przemieszczeń grawitacyjnych na obszarze Karpat potwierdzają również wyniki modelowania ruchów masowych przeprowadzone dla ośrodków anizotropowych (Zabuski i in., 1999).

Klasyfikacje osuwisk, zgodne z *International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party on World Landslide Inventory*, zostały zawarte w monografii dotyczącej charakterystyki ruchów masowych (tab. 2) (WP/WLI, 1990, 1993; Dikau i in., 1996). Są one powszechnie stosowane na obszarach górskich Europy, w tym również z powodzeniem na obszarze polskich Karpat (Margielewski, 2001, 2002, 2004a, b, 2005, 2006; Margielewski & Urban, 2003, 2004, 2005; Margielewski i in., 2007). Zostały ostatnio wykorzystane (zalecone) także w *Instrukcji opracowania Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000* (Gra-

⁴W *Instrukcji opracowania Mapy osuwisk i terenów zagrożonych* powierzchnia oderwania przemieszczanych mas jest tożsama z powierzchnią odkłucia, obydwie zaś odpowiadają powierzchni poślizgu (Grabowski i in., 2008, str. 62, 75). Jednakże analizy kierunków nieciągłości tektonicznych odwzorowanych w skarpach i krawędziach bocznych osuwisk, badania nad jaskiniami szczelinowymi typu *crevice*, jak też modelowanie numeryczne ruchów masowych wskazują na konieczność odrębnego traktowania powierzchni oderwania i powierzchni poślizgu (odkłucia) przemieszczanych mas (ryc. 1.6 B) (por. również Janbu, 1954; Hoek & Bray, 1981; Norrish & Wyllie, 1996). Odkłucie definiowane jest bowiem jako przemieszczenie skał wzdłuż powierzchni osłabionej spójności pochodzenia nietektonicznego i oznacza ścięcie predysponowane przez taką powierzchnię (Jaroszewski i in., 1985), co spełnia kryteria powierzchni poślizgu osuwiska (*slip surface*). Druga z powierzchni — powierzchnia oderwania (*yielded by tension surface*) rozwija się już z udziałem szczeliny z rozciągania (tu ekstensyjnej) poprzedzającej rozwój ruchu masowego i jest niezależna od powierzchni poślizgu.

Tab. 2. Ujednolicona klasyfikacja ruchów masowych (Varnes, 1978; Hutchinson, 1988, 1995; WP/WLI, 1990, 1993; Cruden & Varnes, 1996; Dikau i in., 1996; *International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party on World Landslide Inventory*), por. ryc. 1
 Table 2. Unified classification of the mass movements (Varnes, 1978; Hutchinson, 1988; 1995; WP/WLI 1990, 1993; Cruden & Varnes, 1996; Dikau et al., 1996) (*International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party on World Landslide Inventory*), see Fig. 1

Typ ruchów masowych <i>Type of the mass movements</i>	Rodzaj przemieszczanego materiału <i>Type of displaced material</i>		
	Skalny <i>Rock</i>	Rumoszowy <i>Debris</i>	Ziemny (grunty drobnoziarniste: gleby, związki, materiał nasypowy itp.) <i>Soil</i>
Obryw <i>Fall</i>	obryw skalny <i>rockfall</i>	obryw rumoszu <i>debris fall</i>	obryw materiału ziemnego <i>soil fall</i>
Przechył ¹ <i>Topple</i>	przechył skalny <i>rock topple</i>	przechył rumoszu <i>debris topple</i>	przechył materiału ziemnego <i>soil topple</i>
Zsuw rotacyjny <i>Slide rotational</i>	pojedynczy (zerwa) <i>single (slump)</i> sukcesywny <i>successive</i> wielokrotny <i>multiple</i>	pojedynczy (zerwa) <i>single (slump)</i> sukcesywny <i>successive</i> wielokrotny <i>multiple</i>	pojedynczy (zerwa) <i>single (slump)</i> sukcesywny <i>successive</i> wielokrotny <i>multiple</i>
Zsuw złożony, nierotacyjny ² <i>Slide compound, non-rotational</i>	pojedynczy <i>single</i> progresywny <i>progressive</i> wieloetapowy <i>multistoried</i>	pojedynczy <i>single</i> progresywny <i>progressive</i> wieloetapowy <i>multistoried</i>	pojedynczy <i>single</i> progresywny <i>progressive</i> wieloetapowy <i>multistoried</i>
Zsuw translacyjny (w tym blokowy i płytowy) <i>Slide translational (block slide and slab slide)</i>	zsuw skalny: <i>rock slide:</i> płaski <i>planar</i> schodowy <i>stepped</i> klinowy <i>wedge</i>	zsuw rumoszu <i>debris slide</i>	zsuw materiału ziemnego <i>mudslide</i>
Rozsuwanie boczne ³ <i>Lateral spreading</i>	rozszerzenie skał <i>rock spreading</i>	rozszerzenie rumoszu <i>debris spread</i>	rozszerzenie materiału ziemnego <i>soil spread</i>
Spływ <i>Flow</i>	spływ skalny (niem: <i>Sackung</i> ⁴) <i>rock flow (sagging; ger. Sackung</i> ⁴)	spływ gruzowy (rumoszu) <i>debris flow</i>	spływ materiału ziemnego <i>soil flow</i>
Mieszane — kombinacja różnych typów <i>Complex</i>	np. lawina skalna <i>e.g. rock avalanche</i>	np. osuwisko spływowe <i>e.g. flow slide</i>	np. zerwa-spływ ziemny <i>e.g. slump-earthflow</i>

¹dla tego typu przemieszczeń stosowano też terminy *obwał* (Zabuski i in., 1999) i *przewracanie* (Migoń, 2006) *For this type of movements also Polish terms: "obwał" (Zabuski et al., 1999) as well as "przewracanie" (Migoń, 2006) were used*

²typ uzupełniony wg Hutchinsona, 1988, por. Dikau i in., 1996 *Type supplemented after Hutchinson, 1988, see also Dikau et al., 1996*

³dla tego typu przemieszczeń stosowano także terminy: *rozszerzenie boczne* (Margielewski, 2004a), *rozsyp boczny* (Zabuski i in., 1999) lub *rozciąganie boczne* (Migoń, 2006) *For this type of displacements also Polish terms: "rozszerzenie boczne" (Margielewski, 2004a), "rozsyp boczny" (Zabuski et al., 1999) or "rozciąganie boczne" (Migoń, 2006) were used*

⁴spływ skalny (*Sackung*) został wprowadzony przez Zischinsky'ego (1966) *Rock flow (Sackung) was introduced by Zischinsky (1966)*

bowski i in., 2008)⁵. Klasyfikacje te są przejrzyste i większość wydzielanych typów ruchów masowych jest jednoznaczna (tab. 2). Jednakże w aspekcie stosowalności tych kryteriów w Karpatach fliszowych (zob. Margielewski, 2002, 2004a) należałoby skomentować typ osuwiska złożonego (*compound*), wprowadzonego do tej klasyfikacji (WP/WLI, 1990, 1993; Dikau i in. red., 1996).

Osuwisko złożone (*compound*). W pracy Dikau i in. (1996) w odnośniku do klasyfikacji ruchów masowych autorzy stwierdzili, iż osuwisko *compound* (złożone) jest złożone z więcej niż jednego typu zsuwu, np. rotacyjno-translacyjnego, jednak powinno być wydzielone z osuwisk

mieszanych (*complex*), w których występują co prawda dwa typy przemieszczeń lub więcej (np. translacyjne-rotacyjne), ale z zastrzeżeniem, że jedno przemieszczenie rozwija się w inne w trakcie ruchu, np. wskutek zmian zachowania przemieszczanego materiału następujących w dół stoku (dosłownie: *where one form of failure develops into a second form of movement, i.e. a change of behaviour downslope by the same material* — Dikau i in., 1996). Zasadniczo jednak osuwisko złożone (*compound*) jest jednoznacznie traktowane jako niecykloidalne (*non circular*) (Mencl, 1966; Hutchinson, 1988, 1995; Zabuski i in., 1999) i stanowi odrębny typ, pośredni pomiędzy zsuwem translacyjnym i rotacyjnym, zawierając elementy obydwu tych typów

⁵Nadal jednak niejasny jest tu status osuwisk: insekwentnych, obsekwentnych i złożonych, zdefiniowanych w zamieszczonym w tej instrukcji *Słowniku terminów*. Wyjaśnienie tej kwestii wydaje się istotne ze względu na fakt, że w podstawowych klasyfikacjach regionalnych dwie pierwsze formy reprezentują diametralnie różne typy osuwisk: insekwentne — ze ścinania (Kleczkowski, 1955), obsekwentne — strukturalne (Bober, 1984), w późniejszych pracach zaś obydwa terminy zaczęto stosować synonimicznie dla jednej z klas zsuwu strukturalnego (Bober i in., 1997; Zabuski i in., 1999). Z kolei osuwiska złożone są tu wręcz utożsamiane ze zsuwem skomplikowanym (Bobera (1984) (por. Grabowski i in., 2008, s. 72; 74; 76), a więc strukturalnym. Ten typ osuwisk może jednak również zawierać składowe ze ścinania (por. Dikau i in., 1996). Ogólnie można zatem przyjąć, iż charakter tych przemieszczeń (tu obsekwentne, insekwentne) może się odnosić nie do określonego typu zsuwu, a jedynie do określenia orientacji kierunku przemieszczeń grawitacyjnych (różnych, w tym także zsuwów rotacyjnych, ze ścinania) w stosunku do kierunku zapadania warstw (tu struktur), co było niekiedy praktykowane na obszarze polskich Karpat. W tym przypadku, w celu uniknięcia nieporozumień, należy jednak jednoznacznie sprecyzować typ ruchu masowego.

przemieszczeń (Dikau i in., 1996; Cruden & Varnes, 1996) (dosłownie: *compound slide are intermediate between rotational and translational slides* — Cruden & Varnes, 1996). W tych osuwiskach często w obrębie jednej formy występują przemieszczenia zachodzące po różnych powierzchniach, w tym m.in. przemieszczenia po dwóch (*biplanar*) lub więcej (*multiplanar*) przecinających się powierzchniach, umożliwiając także przemieszczenia antytetyczne typu listrycznego (szuflowego).

O osuwiskach złożonych (*compound*), pośrednich między typem rotacyjnym i translacyjnym, a charakteryzujących się wyraźnie nie cykloidalną, choć także nie płaską powierzchnią poślizgu, piszą również Zabuski i in. (1999), którzy podkreślają, że takie osuwiska odzwierciedlają niejednorodności masywu i że powszechnie występujący wzrost wytrzymałości skał z głębokością wpływa na „znieskształcenie” rotacyjnego charakteru przemieszczeń. Badania nad rozwojem osuwisk karpaccich formowanych z powszechnym udziałem szczelin ekstensyjnych (tu jaskiń szczelinowych typu *crevice* — Margielewski & Urban, 2003, 2004, 2005), wskazują, że rozwój szczelin inicjalnych może być istotnym, oprócz anizotropii strukturalnej, czynnikiem znieskształcającym (tu spłaszczającym) teoretycznie cykloidalną, charakterystyczną dla materiału jednorodnego, powierzchnię poślizgu osuwiska. Głęboki zasięg szczeliny z rozciągania powoduje bowiem spłaszczenie teoretycznie kołowej powierzchni poślizgu (ryc. 1.6) (Hoek & Bray, 1981). Stąd występowanie osuwisk typu *compound* wśród form średnio-głębokich i głębokich w Karpatach fliszowych może się okazać powszechne (Margielewski, 2004a, 2006). Interesującym przykładem takiej formy jest osuwisko w Barnowcu (Beskid Sądecki), powstałe w gruboławicowych piaskowcach magurskich (Margielewski, 1998). Analiza połączenia płaszczczyzn spēkań w obrębie poszczególnych elementów osuwiska, tworzącego charakterystyczne rowy rozpadlinowe, wskazuje na translacyjno-rotacyjny charakter przemieszczeń grawitacyjnych (ryc. 5, diagramy spēkań 1–4).

Podsumowanie

W fundamentalnej pracy dotyczącej osuwisk karpaccich Zabuski i in. (1999) stwierdzili, że klasyfikacje Kleczkowskiego (1955) i Bobera (1984) nie straciły swej aktualności. Należy z tym stwierdzeniem się zgodzić, jednak z istotnym zastrzeżeniem — klasyfikacje te dotyczą wyłącznie wąskiej grupy osuwisk, tj. translacyjnych, przemieszczanych po płaskiej powierzchni (tu strukturalnej) lub ich kombinacji (osuwisko skomplikowane wg Bobera, 1984). Klasyfikacje te doskonale charakteryzują tylko ten właśnie typ osuwisk, rzeczywiście często występujący na obszarze Karpat (ryc. 3; 4), poszczególne klasy zsuwów zaś pozwalają na precyzyjne scharakteryzowanie tych form (tab. 1). Jednakże dla pozostałych typów ruchów masowych (zwłaszcza powstałych na zwołach warstw) stosowanie klasyfikacji i terminologii zarezerwowanych dla osuwisk strukturalnych jest nieuprawnione. Badania dowiodły bowiem, że poza osuwiskami translacyjnymi w masywach fliszowych Karpat są powszechne również inne typy ruchów masowych (por. Dikau i in., 1996). Oprócz opisywanych dotychczas niekiedy osuwisk rotacyjnych (obrotowych) występują tu także osuwiska złożone (*compound* — ryc. 5), jak również przechyl (obwał), rozsuvanie boczne (roszyp boczny), spływ skalny lub kombinacje tych typów (osuwisko typu *complex* — por. ryc.6) (ryc. 1; tab. 2) (Zabuski i in., 1999; Margielewski, 2002, 2004a, 2005, 2006). Taką różnorodność typologiczną form ruchów masowych uwzględnia

również opublikowana niedawno *Instrukcja opracowania Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000* (Grabowski i in., 2008), co stwarza nadzieję na właściwe stosowanie przez badaczy osuwisk karpaccich terminologii odpowiedniej dla analizowanych form.

Prace były finansowane z badań statutowych Instytutu Ochrony Przyrody PAN w Krakowie. Serdeczne podziękowania za pomoc w pracach terenowych kieruję do dr. inż. Jana Urbana, mgr. Jerzego Pukowskiego oraz mgr. inż. Jakuba Sieranta i mgr. inż. Łukasza Urbanowicza. Serdecznie dziękuję również prof. dr. hab. Witoldowi Zuchiewiczowi za wnikliwą recenzję artykułu i cenne uwagi.

Literatura

- ALEXANDROWICZ S.W. 1978 — The northern slope of Babia Góra Mt. as a huge rock slump. Stud. Geomorph. Carpatho-Balcan., 12: 133–148.
- ALEXANDROWICZ S.W. & ALEXANDROWICZ Z. 1988 — Ridge top-trenches and rifts in the Polish Outer Carpathians. Ann. Soc. Geol. Pol., 58: 207–228.
- BAJGIER M. 1989 — Wpływ morfostruktury na rozwój głębokich osuwisk na stokach Skrzycznego w Beskidzie Śląskim. Fol. Geogr., Ser. Geogr. Phys., 21: 61–77.
- BAJGIER M. 1993 — Rola struktury geologicznej w ewolucji rzeźby wschodniego skłonu Beskidu Śląskiego i zachodniej części Kotliny Żywieckiej. Geol. AGH, 19: 1–69.
- BAJGIER M. 1994 — Rozwój osuwisk w czołowej strefie płaszczyny magurskiej w dorzeczu górnej Soły. Prz. Geogr., 66, 3-4: 375–388.
- BAJGIER-KOWALSKA M. 1998 — Rozmieszczenie i geneza osuwisk w Beskidzie Wyspowym (Karpaty fliszowe). [W:] Główne kierunki badań geomorfologicznych w Polsce. Stan aktualny i perspektywy. IV Zjazd Geomorfologów Polskich. Lublin, 3–6.06.1998. Wyd.UMCS, Lublin: 97–101.
- BAJGIER-KOWALSKA M. 2004 — Rola gospodarczej działalności człowieka w powstawaniu i odmładzaniu osuwisk w Karpatach fliszowych. Fol. Geogr., Ser. Geogr. Phys., 35-36: 11–30.
- BAJGIER-KOWALSKA M. & ZIĘTARA T. 2002 — Sukcesja ruchów osuwiskowych w ostatnim 5-leciu w Karpatach fliszowych. Probl. Zagosp. Ziem Górskich, 48: 31–41.
- BEDNARCZYK Z. 2004 — Landslide investigations by static sounding with pore pressure measurements (CPTU), ground penetration radar techniques (GPR) and other chosen methods. Pol. Geol. Inst., Spec. Pap., 15: 19–28.
- BISHOP A.W. 1955 — The use of the slip circle in the stability analysis of Earth slopes. Geotechnique, 5: 7–17.
- BOBER L. 1984 — Rejony osuwiskowe w polskich Karpatach fliszowych i ich związek z budową geologiczną regionu. Biul. Inst. Geol., 340: 115–158.
- BOBER L., CHOWANIEC J., OSZCZYPKO N., WITEK K. & WÓJCIK A. 1977 — Geologiczne warunki rozwoju osuwiska w Brzeżance koło Strzyżowa. Prz. Geol., 25: 372–377.
- BOBER L., THIEL K. & ZABUSKI L. 1997 — Zjawiska osuwiskowe w polskich Karpatach fliszowych. Geologiczno-inżynierskie właściwości wybranych osuwisk. Wyd. IBW PAN, Gdańsk.
- BOBER L. & WÓJCIK A. 1977 — Structural landslides in the region of the Prusów Ridge (Beskid Żywiecki Mts). Stud. Geomorph. Carpatho-Balcan., 11: 155–166.
- BRUNSDEN D. 1985 — Ruchy masowe. [W:] Embleton C. & Thomes J. (red.) Geomorfologia dynamiczna. PWN, Warszawa.
- CAPUTO R. 1995 — Evolution of orthogonal sets of coeval extension joints. Terra Nova, 7: 479–490.
- CROSTA G. 1996 — Landslide, spreading, deep seated gravitational deformation: analysis, examples, problems and proposal. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 19: 297–313.
- CRUDEN D.M. & VARNES D.J. 1996 — Landslide types and processes. [In:] Turner A.K. & Schuster R.L. (eds.) Landslides: investigation and mitigation. Transportation Research Board, Washington. Special Report, 247: 36–75.
- DADLEZ R. & JAROSZEWSKI W. 1994 — Tektonika. PWN, Warszawa.
- DIKAU R., BRUNSDEN D., SCHRÖTT L. & IBSEN M.L. (eds.) 1996 — Landslide recognition. Identification, movement and causes. Wiley, New York.
- FLIS J. 1958 — Formy terenu wywołane grawitacyjnymi ruchami mas skalnych w Sądeckim. Roczn. Nauk.-Dydakt. WSP Krak. Geogr., 8: 35–53.
- GERLACH T. 1966 — Współczesny rozwój stoków w dorzeczu górnego Grajarka (Beskid Wysoki, Karpaty zachodnie). Pr. Geogr. Inst. Geogr. PAN, 52: 1–111.
- GORCZYCA E. 2004 — Przekształcanie stoków fliszowych przez procesy masowe podczas katastrofalnych opadów (dorzecze Łososiny). Wyd. UJ, Kraków.
- GRABOWSKI D., MARCINIEC P., MROZEK T., NESCIERUK P., RĄCZKOWSKI W., WÓJCIK A. & ZIMNAL Z. 2008 — Instrukcja opracowania Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- HOEK E. & BRAY J. 1981 — Rock slope engineering. London.

- HUTCHINSON J.N. 1988 — Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. [In:] Bonnard C. (ed.) Proceedings, 5th International Symposium on Landslides, 1. Balkema, Rotterdam: 3–35.
- HUTCHINSON J.N. 1995 — Deep-seated mass movements on slopes. Mem. Soc. Geol. It., 50: 147–164.
- JAKUBOWSKI K. 1964 — Płytkie osuwiska zwietrzelinowe na Podhalu. Pr. Muz. Ziemi, 6: 113–145.
- JANBU N. 1954 — Application of composite slip surface for stability analysis. [In:] Proceedings, European Conference on Stability of Earth Slopes. Statens Reproduktionsanstalt, Stockholm, 3: 43–49.
- JAROSZEWSKI W., MARKS L. & RADOMSKI A. 1985 — Słownik geologii dynamicznej. Wyd. Geol., Warszawa.
- KLECZKOWSKI A. 1955 — Osuwiska i zjawiska pokrewne. Wyd. Geol. Warszawa.
- KONON A. 2001 — Tectonics of the Beskid Wyspowy Mountains (Outer Carpathians, Poland). Geol. Quart., 45, 2: 179–204.
- KSIĄŻKIEWICZ M. 1968 — Spostrzeżenia nad rozwojem ciosu w Karpatach fliszowych. Roczn. Pol. Tow. Geol., 38, 2-3: 335–384.
- KSIĄŻKIEWICZ M. 1978 — Geologia dynamiczna. Wyd. Geol., Warszawa.
- KUKULAK J. 1988 — Powiązania morfostrukturalne w rozwoju osuwisk zachodniego Podhala. Fol. Geogr. Ser. Geogr. Phys., 20: 33–49.
- KWAŚNIEWSKI S. 1986 — Dylatacja jako zwiastun zniszczenia skały. Prz. Gór., 42, 6: 184–190.
- MARGIELEWSKI W. 1991 — Landslide forms on Połoma Mountain in the Sine Wiry Nature Reserve, West Bieszczady. Ochr. Przyr., 49, 1: 23–29.
- MARGIELEWSKI W. 1997 — Formy osuwiskowe pasma Jaworzyny Krynickiej i ich związek z budową geologiczną regionu. Geol. AGH, 23, 1: 45–102.
- MARGIELEWSKI W. 1998 — Rozwój form osuwiskowych w Barnowcu (Beskid Sądecki, Karpaty zewnętrzne), w świetle analizy strukturalnych uwarunkowań osuwisk w Karpatach fliszowych. Prz. Geol., 46: 436–450.
- MARGIELEWSKI W. 1999 — Formy osuwiskowe Gorczańskiego Parku Narodowego i ich rola w kształtowaniu geo- i bioróżnorodności Górców. Chronimy Przyr., 55, 4: 23–53.
- MARGIELEWSKI W. 2001 — O strukturalnych uwarunkowaniach rozwoju głębokich osuwisk — implikacje dla Karpat fliszowych. Prz. Geol., 49: 515–525.
- MARGIELEWSKI W. 2002 — Geological control on the rocky landslides in the Polish Flysch Carpathians. Fol. Quatern., 73: 53–68.
- MARGIELEWSKI W. 2004a — Typy przemieszczeń grawitacyjnych mas skalnych w obrębie form osuwiskowych polskich Karpat fliszowych. Prz. Geol., 52, 7: 603–614.
- MARGIELEWSKI W. 2004b — Geological control on the Oślawa River meander at Duszatyn Western Bieszczady Mountains, Western Outer Carpathians. Ann. Soc. Geol. Pol., 74: 325–338.
- MARGIELEWSKI W. 2005 — Geological control on the rocky landslides development in flysch anisotropic rocks: cases studies in the Polish Flysch Carpathians. [In:] Seneset K., Flaate K. & Larsen J.O. (eds.) Landslides and Avalanches. 11th ICFL, Norway. Balkema, London: 241–248.
- MARGIELEWSKI W. 2006 — Structural control and types of movements of rock mass in anisotropic rocks: case studies in the Polish Flysch Carpathians. Geomorphology, 77, 1-2: 47–68.
- MARGIELEWSKI W. & URBAN J. 2000 — Charakter inicjacji ruchów masowych w Karpatach fliszowych na podstawie analizy strukturalnych uwarunkowań rozwoju wybranych jaskiń szczelinowych. Prz. Geol., 47: 268–274.
- MARGIELEWSKI W. & URBAN J. 2003 — Crevice-type caves as initial forms of rock landslide development in the Flysch Carpathians. Geomorphology, 54, 3-4: 325–338.
- MARGIELEWSKI W. & URBAN J. 2004 — Jaskinia szczelinowa Diabla Dziura w Bukowcu (Pogórze Rożnowskie, Karpaty zewnętrzne) jako inicjalne stadium rozwoju głębokich osuwisk w Karpatach fliszowych. Prz. Geol., 52, 12: 1171–1178.
- MARGIELEWSKI W. & URBAN J. 2005 — Pre-existing tectonic discontinuities in the rocky massifs as initial forms of deep seated mass movements development: case studies of selected deep crevice-type caves in the Polish Flysch Carpathians. [In:] Seneset K., Flaate K. & Larsen J.O. (eds.) Landslides and Avalanches. 11th ICFL, Norway. Balkema, London: 249–256.
- MARGIELEWSKI W., URBAN J. & SZURA C. 2007 — Jaskinia Miecharska cave (Beskid Śląski Mts., Polish Outer Carpathians): case study of the crevice — type cave developed on a sliding surface. Natur. Conserv., 63: 57–68.
- MASTELLA L. 1975 — Osuwiska konsekwentno-strukturalne na wschodnim Podhalu. Biul. Geol. UW, 18: 259–270.
- MASTELLA L. & KONON A. 2002 — Tectonic bedding of the Outer Carpathians in the light of joints analysis in the Silesian Nappe. Prz. Geol., 50, 6: 541–550.
- MASTELLA L. & SZYNKARUK E. 1998 — Analysis of the fault pattern in selected areas of the Polish Outer Carpathians. Geol. Quart., 42, 3: 263–276.
- MASTELLA L., ZUCHIEWICZ W., TOKARSKI A., RUBINKIEWICZ J., LEONOWICZ P. & SZCZĘSNY R. 1997 — Application of joint analysis for paleostress reconstructions in structurally complicated settings: case study from Silesian Nappe, Outer Carpathians, Poland. Prz. Geol., 45, 10/2: 1064–1066.
- MENCL V. 1966 — Mechanics of landslides with non-circular slip surfaces with special reference to the Vajont slide. Geotechnique, 16: 329–337.
- MIGON P. 2006 — Geomorfologia. WN PWN, Warszawa.
- MROZEK T., RĄCZKOWSKI W. & LIMANÓWKA D. 2000 — Recent landslides and triggering climatic conditions in Laskowa and Pleśna Regions, Polish Carpathians. Stud. Geomorph. Carpatho-Balcan., 34: 89–112.
- NORRISH N.I. & WYLLIE D.C. 1996 — Rock slope stability. [In:] Turner A.K. & Schuster R.L. (eds.) Landslides: investigation and mitigation. Transportation Research Board, Washington. Special Report, 247: 391–424.
- OSZCZYPKO N., CHOWANIEC J. & KONCEWICZ A. 1981 — Wodonośność piaskowców magurskich w świetle badań wodochłonności. Roczn. Pol. Tow. Geol., 51: 273–302.
- OSZCZYPKO N., GOLONKA J. & ZUCHIEWICZ W. 2002 — Osuwisko w Lachowicach (Beskidy Zachodnie): skutki powodzi z 2001 r. Prz. Geol., 50: 893–898.
- PAJAŁ R. & SOBIK K. 2003 — Osuwisko w Żurawnicy w Beskidzie Średnim. Wszechświat, 104, 10-12: 252–256.
- POPRAWA D. & RĄCZKOWSKI W. 2003 — Osuwiska Karpat. Prz. Geol., 51, 8: 685–692.
- PULINA M. (red.) 1997 — Jaskinie polskich Karpat fliszowych. Vol. 1, 2. Wyd. PTPNoZ, Warszawa.
- PULINOWA M. 1976 — Application of the small tectonics analysis in the study of landslides in flysch rocks. Stud. Geomorph. Carpatho-Balcan., 10: 103–114.
- REYNOLDS O. 1985 — On the dilatancy of media composed of rigid particles in contact. Phil. Mag., 5, 20: 469–481.
- SAVARENSKIJ F.P. 1937 — Inżynierska geologia. Moskwa-Leningrad.
- SCHEIDEGGER A.E. 1974 — Geomorfologia teoretyczna. PWN, Warszawa.
- SCHEIDEGGER A.E. 2001 — Surface joint system. Tectonic stresses and geomorphology: a reconciliation of conflicting observations. Geomorphology, 38, 3-4: 213–219.
- SIERANT J. & URBANOWICZ Ł. 2001 — Formy osuwiskowe pasma Kamienieckiego w Górcach, ich uwarunkowania genetyczne i związek z budową geologiczną regionu. Arch. Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH, Kraków.
- STARKEL L. 1960 — Rozwój rzeźby Karpat fliszowych w holocenie. Pr. Geogr. Inst. Geogr. PAN, 22: 1–239.
- TERZAGHI K. 1950 — Mechanism of landslides. [In:] Paige S. (ed.) Application geology to engineering practice. J. Berkey Memory Volum. Geological Society of America, New York: 83–122.
- THIEL K. 1980 — Mechanika skał w inżynierii wodnej. PWN, Warszawa.
- VARNES D.J. 1978 — Slope movements: type and processes. [In:] Schuster R.L. & Križek R.J. (eds.) Landslides: analysis and control. Transportation Research Board, Washington. Special Report 176: 11–35.
- WÓJCİK A. 1997 — Osuwiska w dorzeczu Koszarawy — strukturalne i geomorfologiczne ich uwarunkowania. Biul. Państw. Inst. Geol., 376: 5–42.
- WÓJCİK A. & MROZEK T. 2002 — Landslides in the Carpathians Flysch. [In:] Ciesielczuk J. & Ostaficzuk S. (eds.) Landslides. Proceedings of the 10th International Conference and Fieldtrip on Landslides (ICFL) — Polish Lowlands-Carpathians-Baltic Coast (Poland), 6–16.09.2002: 151–167.
- WÓJCİK A. & RĄCZKOWSKI W. 2001 — Osuwiska w dolinie Wisłoki na terenie projektowanego zbiornika w Kątach (Beskid Niski). Prz. Geol., 49: 389–394.
- WÓJCİK A. & ZIMNAL Z. 1996 — Osuwiska wzdłuż doliny Sanu między Bachórczem a Rzeczpolem. Biul. Państw. Inst. Geol., 374: 77–91.
- WP/WLI 1990 — The International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party for World Landslide Inventory. A suggested method for reporting a landslide. Bull. Int. Assoc. Eng. Geol., 41: 5–12.
- WP/WLI 1993 — The International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party for World Landslide Inventory. Multilingual landslide glossary. The Canadian Geotechnical Society, BiTech Publishers Ltd, Richmond BC, Canada: 1–7.
- ZABUSKI L., THIEL K. & BOBER L. 1999 — Osuwiska we fliszu Karpat polskich. Geologia, modelowanie, obliczenia stateczności. Wyd. IBW PAN, Gdańsk.
- ZIĘTARA T. 1962 — O pseudoglacjalnej rzeźbie Beskidów Zachodnich. Roczn. Nauk.-Dydakt. WSP Krak. Geogr., 10: 69–87.
- ZIĘTARA T. 1968 — Rola gwałtownych ulew i powodzi w modelowaniu rzeźby Beskidów. Pr. Geogr. Inst. Geogr. PAN, 60: 5–116.
- ZIĘTARA T. 1969 — W sprawie klasyfikacji osuwisk w Karpatach fliszowych. Stud. Geomorph. Carpatho-Balcan., 3: 21–29.
- ZISCHINSKY U. 1966 — On the deformation of high slopes. [In:] Proceedings of the 1st Congress of the International Society of Rock Mechanics, Lisbon, 25.09–1.10.1966. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisbon, 2: 179–185.
- ZUCHIEWICZ W. 1997 — Reorientacja pola naprężeń w polskich Karpatach zewnętrznych w świetle wstępnych wyników analizy ciosu. Prz. Geol., 45, 1: 105–109.

Praca wpłynęła do redakcji 7.10.2008 r.
Po recenzji akceptowano do druku 10.07.2009 r.