

W jaki sposób struktura podłoża warunkuje rozwój osuwiska translacyjnego? Przykład osuwiska we Włodowicach w Obniżeniu Noworudzkim (Sudety Środkowe)

Aleksander Kowalski¹



How the bedrock structure determines development of translational landslide? An example of the Włodowice landslide in the Nowa Ruda Basin, Central Sudetes. *Prz. Geol.*, 70: 722–732; doi: 10.7306/2022.26

A b s t r a c t. In this contribution the author presents the results of geological and geomorphological field mapping and structural analyses conducted within the area of a newly recognized landslide situated near Włodowice, in the southern part of the Nowa Ruda Basin (Central Sudetes, SW Poland). The landslide is located within the eastern limb of the Intra-Sudetic Synclinorium (Nowa Ruda Monocline) built of Upper Carboniferous to Lower Permian (Rotliegend) sedimentary rocks. Geomorphological characteristics of the landslide are presented, but the greatest attention is paid to the way of transformation of individual structural elements of basement rocks (bedding surfaces, sets of fractures) by mass movements. The study allows recognition and interpretation of landslide type according to failure mechanism – the analysed form represents a typical translational landslide with a flat, structural slip surface related to bedding planes. A model of the development of a translational landslide under specific geological conditions (monoclinial structure built of different lithological varieties of sedimentary rocks with different rheological properties) is presented. Due to the partial exposure of the slip surface in the upper and lower parts of the landslide, the form should be considered unique among the previously identified landslides in the Sudetes Mts. During this study the author repeatedly confirms the usefulness of analyses of LiDAR models in landslide investigations.

Keywords: mass movements, translational landslide, LIDAR DEMs analysis, Intra-Sudetic Synclinorium, Central Sudetes

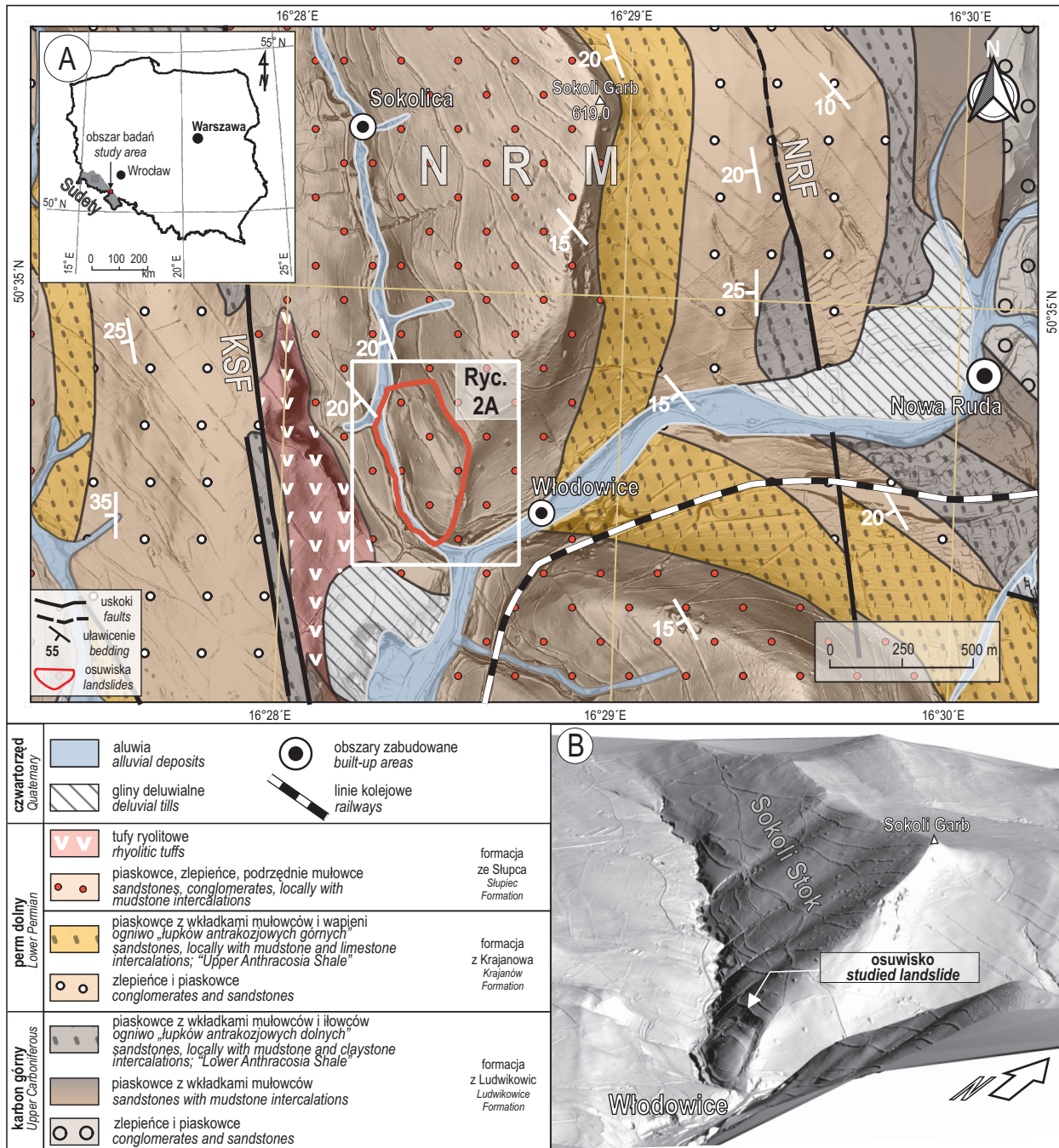
Analiza strukturalna, jako jedna z metod badawczych stosowanych w obrębie szeroko pojętej tektoniki (np. Jaroszewski, 1974; Dadlez, Jaroszewski, 1994; Kuzak, Żaba, 2011), odgrywa szczególną rolę w badaniach osuwisk, w tym przede wszystkim w określeniu stopnia wpływu budowy geologicznej i anizotropii ośrodka skalnego na rozwój ruchów masowych (Margielewski, 2004, 2009). Badania przebiegu i orientacji nieciągłych struktur tektonicznych (określane niekiedy jako analiza geometryczna; por. Kuzak, Żaba, 2011), tj. uławicenia lub foliacji, a także spękań i uskoków, w różnych typach genetycznych skał odsłaniających się zarówno w obrębie skał podłoża osuwiska (*in situ*), jak również w pozycji przemieszczonej (*ex situ*), pozwalają na określenie typów ruchów grawitacyjnych i stopnia transformacji poszczególnych elementów struktury podłoża przez ruchy masowe (Margielewski, 2004, 2006, 2009). W szerszym ujęciu wymienione metody badań pozwalają zatem na określenie pośrednich przyczyn i przebiegu procesu osuwiskowych (Margielewski, 2004, 2009).

Analizie strukturalnej masywów skalnych podlegających ruchom masowym poświęcone były liczne prace, zarówno badaczy polskich, jak i zagranicznych (np. Margielewski, 1998, 2001, 2004; Jaboyedoff i in., 2011; Saintot i in., 2012; Carlini i in., 2016; Margielewski, Urban, 2017; Sikora, 2018; Kowalski, 2018; Benzougagh i in., 2020). Pomimo pozornie małej liczby i znacznego rozproszenia form osuwiskowych w Sudetach, zwłaszcza na tle innych pasm górskich w Polsce, w tym w szczególności Karpat (m.in. Bober, 1984; Poprawa, Rączkowski, 2003; Rączkowski, 2007; Długosz, 2011), osuwiskom tego obszaru poświęcone były liczne prace badaczy zajmujących się tematyką ruchów masowych (Synowiec, 2003; Migoń, 2010; Migoń i in., 2010; Kasprzak, Traczyk, 2012; Migoń, Kasprzak, 2011;

Migoń i in., 2014, 2016a, b; Traczyk, Kasprzak, 2014; Różycka i in., 2015, 2016; Sikora i in., 2016a, b; Duszyński i in., 2017; Jancewicz, Traczyk, 2017; Kowalski, 2017a, b, 2018; Kowalski, Wojewoda, 2017; Makoś, Sobczyk, 2018; Kotwicka i in., 2019; Kowalski i in., 2019; Kowalski, 2021; Sikora, 2022). Badania osuwisk prowadzone w ostatnich latach w Sudetach pozwoliły również na określenie wpływu szeroko rozumianej budowy geologicznej na ich rozwój, a także na wstępne rozpoznanie regionalnego rozprzestrzenienia tych form (Sikora, Wojciechowski, 2019, 2021; Kowalski, Makoś, 2019). Opublikowane niedawno prace dostarczyły także danych dotyczących podatności osuwiskowej tego pasma górskiego, na tle podatności osuwiskowej Polski (Wójcik, Wojciechowski, 2016; Wojciechowski, 2019).

Niniejsza praca zawiera wyniki szczegółowych badań nieznanego dotąd osuwiska, położonego w okolicy miejscowości Włodowice, na obszarze Obniżenia Noworudzkiego (Sudety Środkowe) w obrębie zboczy głęboko wciętego potoku Skakawa, należącego do zlewni Włodzicy. Przeprowadzone badania pozwoliły na przedstawienie charakterystyki geomorfologicznej badanej formy. Największą uwagę poświęcono jednak sposobom transformacji poszczególnych elementów strukturalnych masywu skalnego (powierzchni uławicenia, spękań) przez ruchy masowe. Umożliwiło to interpretację charakteru przemieszczeń grawitacyjnych mas skalnych i przedstawienie modelu rozwoju osuwiska translacyjnego w określonych warunkach geologicznych (struktura monoklinalna zbudowana z różnych odmian litologicznych skał osadowych o odmiennych własnościach reologicznych). Celem artykułu jest zatem scharakteryzowanie wpływu warunków litologicznych i tektonicznych na rozwój osuwisk translacyjnych, przede wszystkim w odniesieniu do struktury podłoża.

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Dolnośląski, al. Jaworowa 9, 50-204 Wrocław; aleksander.kowalski@pgi.gov.pl; ORCID: 0000-0003-4963-3995



Ryc. 1. Położenie badanego osuwiska: **A** – uproszczona mapa geologiczna z naniesionym zasięgiem badanej formy osuwiskowej; biały prostokąt wskazuje zasięg obszaru przedstawionego na rycinie 2A (na podstawie: Krechowicz, 1964; Krechowicz, Kisielowski, 1965 oraz Ihnatowicz i in., 2017). Objasnienia symboli literowych: NRM – monoklina Nowej Rudy; KSF – uskoki Krajanowa-Ścinawki; NRF – uskoki Nowej Rudy; **B** – numeryczny, cieniowany model wysokości LiDAR z zaznaczoną formą osuwiskową na Sokolim Garbie. Dwukrotne przewyższenie modelu

Fig. 1. Location map of the studied landslide: **A** – simplified geological map of the study area with the superimposed extent of the landslide and location of the area presented in Fig 2A (white rectangle; based on Krechowicz, 1964; Krechowicz, Kisielowski, 1965; Ihnatowicz *et al.*, 2017). Letter symbols: NRM – Nowa Ruda Monocline; KSF – Krajanów-Ścinawka Fault; NRF – Nowa Ruda Fault; **B** – LiDAR-based three-dimensional model of the study area. The landslide in Włodowice is marked. 2 × vertical exaggeration

OBSZAR BADAŃ – RZEŻBA TERENU I BUDOWA GEOLOGICZNA

Badane osuwisko położone jest w Sudetach Środkowych (południowo-zachodnia Polska), w dolinie potoku Skakawa, w pobliżu miejscowości Włodowice, ok. 2,5 km na południowy zachód od miasta Nowa Ruda (ryc. 1A). Według regionalizacji fizjograficznej Polski wprowadzonej w ostatnim czasie

przez Solona i in. (2018) obszar ten zaliczany jest do Obniżenia Noworudzkiego (mezoregion nr 332.46).

Rzeźbę obszaru, na którym występuje osuwisko, należy zaliczyć do rzeźby typu kuestowego (Adam, 2004; Migoń, Placek, 2014). Najbardziej charakterystycznymi jej elementami są bowiem ciągi równoległych do siebie, asymetrycznych grzbietów, tworzących progi strukturalne (kuesty) o schodowym przebiegu i orientacji NW–SE (podrzednie

NNW–SSE) i wysokościach sięgających od 540 do 709 m n.p.m. Stoki kuest cechują się wyraźną asymetrią: stoki, o ekspozycji północno-wschodniej (progi), są zazwyczaj krótkie i strome (nachylenie do 33°), podczas gdy przeciwległe stoki, o ekspozycji południowo-zachodniej, są kilkukrotnie dłuższe i nieznacznie nachylone (zazwyczaj <20°). Wyodrębnienie progów jest związane z różnicami w wytrzymałości mechanicznej (odporności na niszczenie) nachylonych monoklinalnie w kierunku południowo-zachodnim odmian skał osadowych o różnym uziarnieniu i stopniu lityfikacji (zlepieńców, piaskowców i mułowców; por. ryc. 1A), jak również współwystępującymi z nimi skałami subwulkanicznymi i wulkanicznymi (ryolitami, trachyandezytami i ich tufami; por. Krechowicz, 1964, 1965; Krechowicz, Kisielski, 1965; Ichnatowicz i in., 2017). Powstanie rzeźby typu kuestowego na obszarze badań jest związane także prawdopodobnie z tektoniką uskokową (Krechowicz, 1965).

Istotnym elementem rzeźby badanego obszaru są także głęboko wcięte doliny, takie jak południkowo zorientowana dolina potoku Skakawa, stanowiącego prawobrzeżny dopływ rzeki Włodzicy (ryc. 1A), będącej z kolei lewobrzeżnym dopływem Ścinawki (zlewnia Nysy Kłodzkiej). Włodzica uformowała przełomową dolinę konsekwentną (tj. zorientowaną zgodnie z kierunkiem upadu skał osadowych), natomiast dolina Skakawy jest typową doliną subsekwentną o wydłużeniu NNW–SSE, zorientowaną w przybliżeniu zgodnie z biegiem skał osadowych.

Badany obszar obejmuje wschodnie skrzydło synklinorium śródsudeckiego – jednostki tektonicznej uformowanej w wyniku wieloetapowej inwersji utworów osadowo-magmowych wypełniających basen śródsudecki (Żelaźniewicz, Aleksandrowski, 2008). Synklinorium zbudowane jest z utworów karbonu i permu dolnego, a także przykrywających je niezgodnie skał osadowych triasu dolnego i kredy górnej (Augustyniak, Grocholski, 1968; Awdankiewicz i in., 2003). Fragment wschodniego skrzydła synklinorium, w obrębie którego znajduje się obszar badań, określany jest mianem monokliny Nowej Rudy (Krechowicz, 1965; ryc. 1), będącej bezpośrednim, południowo-wschodnim przedłużeniem monokliny Głuszycy–Miłkowa–Sokolicy (por. Krechowicz, Berezowska, 1968). Z obszaru tej ostatniej jednostki opisano w ostatnim czasie wiele form osuwiskowych o zróżnicowanej genezie, obejmujących różne odmiany skał osadowych (Kowalski, 2021).

Monoklina Nowej Rudy cechuje się mało skomplikowaną budową geologiczną. Idąc od północnego-wschodu, budują ją skały osadowe karbonu górnego (lokalnie także występujące w ich podłożu utwory karbonu dolnego) i permu dolnego, nachylone pod kątami od 10 do ok. 30° w kierunku południowo-zachodnim (Don, 1961). W okolicach Nowej Rudy występują górnokarbońskie piaskowce i zlepieńce z pokładami węgla kamiennego, zaliczane do formacji z Żaclerza i Glinika. Utwory te przechodzą stopniowo ku górze w grubookruchowe zlepieńce i piaskowce, przykryte kolejno przez tzw. piaskowce płytowe oraz drobnoziarniste piaskowce i mułowce (ogniwo łupków antrakozjowych dolnych; Dziedzic, 1961; Wójcik-Tabol i in., 2021). Osady wydzielono łącznie jako formację z Ludwikowic, która jest obecnie zaliczana do najwyższej części karbonu (stefan; Nemeč i in., 1982). Utwory formacji z Ludwikowic przykryte są piaskowcami i zlepieńcami formacji z Krajnowa (perm dolny), które przechodzą ku górze w piaskowce, mułowce i wapienie wydzielane jako w ogniwo łupków antrakozjowych górnych. Przykrywające je piaskowce

i zlepieńce zaliczane są do formacji ze Słupca (Nemeč i in., 1982; Kurowski, 2004). W obrębie tych ostatnich utworów utworzyło się badane osuwisko. Osady formacji ze Słupca poprzecinane są przez permskie intruzje subwulkaniczne i wulkaniczne trachybazaltów i trachyandezytów, a także ryolitoidów i ich tufów (por. np. Awdankiewicz, 1999), odsłaniających się na zachód od badanego osuwiska. Do najmłodszych osadów, występujących na obszarze badań, należą czwartorzędowe gliny deluwialne i osady aluwialne.

METODYKA BADAŃ

Badania osuwiska we Włodowicach prowadzono w latach 2021–2022 w trakcie wykonywania zdjęcia geologicznego obszaru arkusza Radków w ramach II edycji *Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów w skali 1:25 000* (Cymerman, 2016). Prace kartograficzne były podzielone na dwa etapy – terenowy i kameralny. Badania terenowe na obszarze występowania ruchów masowych obejmowały kartowanie geologiczne i geomorfologiczne. Dokumentowano i opisywano charakterystyczne elementy rzeźby osuwiskowej, litologię skał odsłaniających się w podłożu i w obrębie koluwium osuwiska, a także prowadzono analizę strukturalną, obejmującą pomiary powierzchni uławicenia, spękań i uskoków w odsłonięciach. Lokalizację punktów dokumentacyjnych wyznaczano za pomocą odbiornika GPS Garmin 66s (dokładność wyznaczania pozycji od 1 do 3 m). Do precyzyjnych pomiarów długości i szerokości form rzeźby osuwiskowej w terenie wykorzystywano pomocniczo dalmierz laserowy Bushnell. Podczas badań terenowych wykonywano również robocze szkice geomorfologiczne na rastrowych podkładach topograficznych.

Terenowe kartowanie osuwisk i analizy strukturalne zostały uzupełnione podczas kameralnych analiz geomorfometrycznych numerycznych modeli terenu (NMT) LiDAR, wygenerowanych na podstawie danych pochodzących z lotniczego skaningu laserowego (ALS – *Airborne Laser Scanning*), wykonanego na terenie Polski w latach 2010–2014 w ramach realizacji Informatycznego Systemu Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami (ISOK). Wyniki laserowego skanowania powierzchni ziemi zostały udostępnione przez Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (CODGiK) w formie zbiorów (chmury) punktów o przeciętnej gęstości ok. 4–6 punktów/1 m² (co oznacza średnią odległość punktów pomiarowych ok. 0,5 m; por. Wężyk, 2015) i średnim błędzie wysokościowym nie przekraczającym 0,4 m (Wężyk, 2015). Dzięki obiektowemu sklasyfikowaniu pozyskanej chmury punktów możliwe było odfiltrowanie (wykluczenie) elementów pokrycia terenu na etapie generowania NMT, takich jak roślinność i zabudowa. Numeryczny model terenu został w dalszej kolejności przetworzony do formy rastrowej, która przedstawiała tylko powierzchnię terenu (model typu *bare ground*), którą analizowano poprzez wizualizację metodą reliefu cieniowanego (*shaded relief maps*) z różnym kątem oświetlenia (iluminacji; por. np. Ozimkowski, 2010) i przewyższenia (*exaggeration*). Dane wizualizowano i przetwarzano, wykorzystując oprogramowanie GIS: Global Mapper, Surfer (Golden Software) v. 13.0 oraz SAGA GIS v. 2.1.2. Materiały opracowywano w Państwowym Układzie Współrzędnych Geograficznych 1992 (Poland 1992).

Przy opisie form osuwiskowych wzorowano się na obowiązujących klasyfikacjach ruchów masowych (Varnes, 1978; WP/WLI, 1990, 1993; Dikau i in., 1996; Margielewski, 2004)

i ich nowszych modyfikacjach (Hungri i in., 2014) oraz stosowano terminologię sugerowaną przez autorów *Instrukcji opracowania Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1: 10 000* (Grabowski i in., 2008).

Charakterystyka geomorfologiczna osuwiska we Włodowicach

Obszar objęty ruchami masowymi występuje na południowo-zachodnim, częściowo zalesionym, stoku wzniesienia Sokoli Garb (619 m n.p.m.), ok. 400 m na północ od Włodowic i ok. 1,8 km na południe od Sokolicy. Sokoli Garb ma formę asymetrycznego grzbietu – kuesty, którego stok o ekspozycji północno-wschodniej jest krótki i stromy (nachylenie do 33°), natomiast przeciwległy stok południowo-zachodni (Sokoli Stok), na którym rozwinęło się osuwisko, jest kilkukrotnie dłuższy i nachylony łagodnie pod kątem do ok. 13° (średnio ok. 10°; ryc. 1B, 2A). Sokoli Stok jest rozcięty przez zorientowaną w przybliżeniu południkowo dolinę potoku Skakawa. Opisywana forma osuwiskowa o łącznej powierzchni 12,44 ha utworzyła się w obrębie dolnopermskich piaskowców z nieciągłymi przewarstwieniami mułowców zaliczanych do formacji ze Słupca, nachylonych monoklinalnie pod kątem do 20° w kierunku ku SW (ryc. 2B).

Charakterystykę morfometryczną badanego osuwiska przedstawia tabela 1. Osuwisko w swej górnej i środkowej części charakteryzuje się słabo urozmaiconą rzeźbą (ryc. 2A, 3). Na wysokościach od ok. 455 do 460 m n.p.m., w strefie oderwania materiału skalnego i zwietrzelinowego utworzyła się wyraźnie zarysowana, łukowata w zarysie skarpa główna o kierunku NNW–SSE, wysokości do 17 m i kącie nachylenia niemal dwukrotnie większym (do ok. 25°) od położonego wyżej fragmentu stoku nieobjętego ruchami masowymi (ok. 13°; ryc. 3A, B). Górna krawędź skarpy ma długość ok. 300 m. Poniżej skarpy, w środkowej części osuwiska, występuje przemieszczony *en block* pakiet skalny o słabo zaburzonej strukturze wewnętrznej, którego wyraźna, skalista krawędź od strony skarpy głównej osiąga wysokość do 3 m (ryc. 2A, 3C). W części północnej osuwiska, poniżej skarpy głównej, utworzyły się także niewysokie (do 3 m) koluwalne formy akumulacyjne przyjmujące postać garbów pokrytych miejscami rumowiskami skalnymi, do których przylegają słabo zarysowane spłaszczenia i nie-

Tab. 1. Charakterystyka morfometryczna osuwiska we Włodowicach

Table 1. Morphometry of the landslide in Włodowice

Powierzchnia Area [ha]	12,44
Ekspozycja Aspect	SW
Maks. długość (L) Max. length (L) [m]	352
Maks. szerokość (W) Max. width (W) [m]	550
Wskaźnik L/W L/W ratio	0,64
Maks. wysokość [m n.p.m.] Max. elevation [m a.s.l.]	460
Min. wysokość [m n.p.m.] Min. elevation [m a.s.l.]	371
Rozpiętość pionowa Vertical range [m]	89
Średnie nachylenie Mean slope [°]	16,4

wielkie zagłębienia (ryc. 2A). W niższej partii stoku, w obrębie pakietu osuwiskowego występują wyraźne nabrzmienia, wydłużone w kierunku NW–SE. Czoło osuwiska ma charakter kilku spiętrzeń materiału skalno-zwietrzelinowego i wydłużonych wałów, a także przylegających do nich czterech jęzorów osuwiskowych o niewyraźnych, łukowatych zarysach o wysokości do 12 m. Pierwotna rzeźba tego fragmentu stoku została częściowo zniwelowana i przekształcona antropogenicznie przez drogę asfaltową łączącą Włodowice na południu i Sokolicę na północy. Najniższy fragment osuwiska jest podcinany przez głęboko wciętą dolinę Skakawy, której skaliście zbocza osiągają wysokość do 12 m (ryc. 3D).

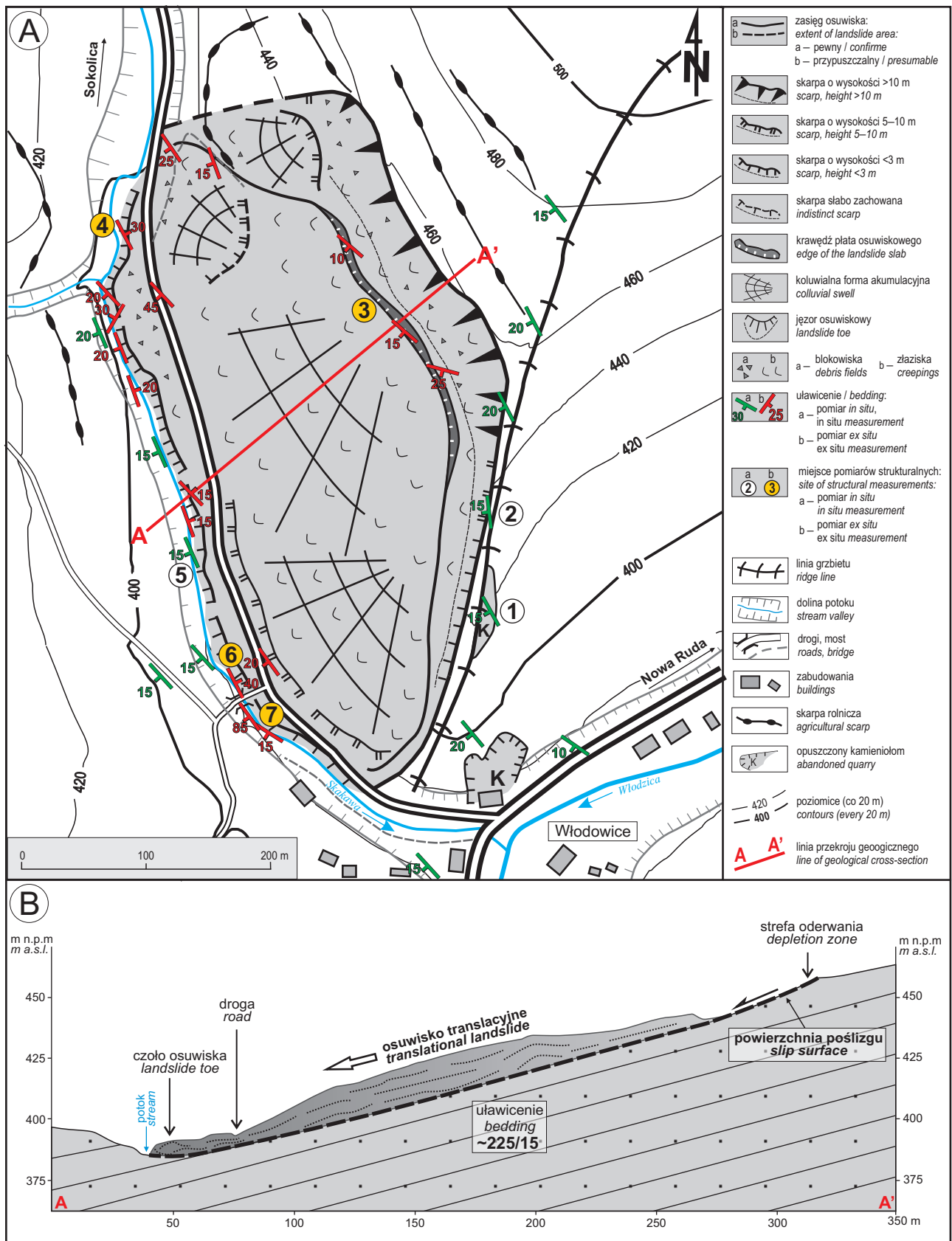
Mechanizm ruchu osuwiska w świetle analizy strukturalnej

Przeprowadzone prace kartograficzne i analizy strukturalne dały podstawę do bezpośredniego wnioskowania o typie przemieszczeń grawitacyjnych występujących w obrębie osuwiska we Włodowicach. W wyraźnie uławiconych piaskowcach i mułowcach odsłoniętych zarówno w podłożu, jak i w obrębie osuwiska, wydzielono 3 główne grupy spękań: J_1 , J_2 i J_3 (ryc. 4, 5).

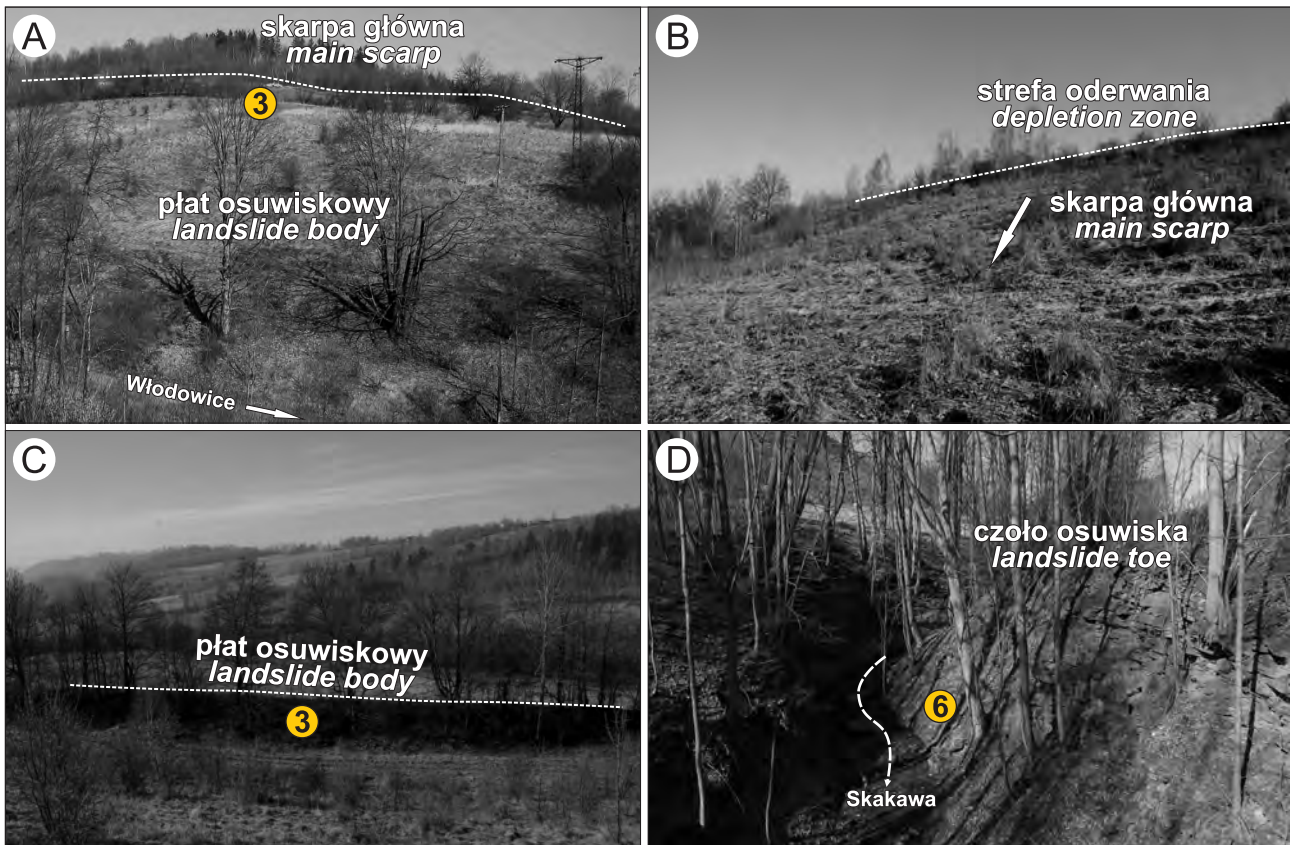
W nieczynnym kamieniołomie, założonym bezpośrednio poniżej skarpy głównej osuwiska (*in situ* – stanowisko 1; ryc. 2A, 5A), w skalistej skarpie głównej (stanowisko 2; ryc. 2A, 5B), a także w odsłonięciach *in situ* przed strefą czołową osuwiska (stanowisko 5; ryc. 2A, 5E), spękania zespołu J_1 wykazują orientację NW–SE, natomiast zespoły J_2 i J_3 , odpowiednio WSW–ENE i NNE–SSW. Spękania zespołu J_1 są zatem zorientowane zgodnie z wydłużeniem górnej części skarpy głównej i powierzchni oderwania materiału skalno-zwietrzelinowego, natomiast spękania zespołu J_2 i J_3 wykazują przebieg równoległy i subrównoległy do bocznych fragmentów skarpy głównej (por. ryc. 2A).

W obrębie przylegającego do skarpy głównej, przemieszczonego grawitacyjnie płata osuwiskowego (stanowisko 3; ryc. 2A), w piaskowcach stwierdzono lewoskrętną rotację powierzchni uławicenia i wszystkich wyróżnionych zespołów spękań (do ok. 25°) wokół osi pionowej (ryc. 5C), w stosunku do pomiarów wykonanych w podłożu osuwiska (stanowiska 1, 2 i 5; por. ryc. 5A, B, E). Świadczy to o rotacji płata w trakcie przemieszczeń grawitacyjnych, który osunął się *en block* w dół stoku wzdłuż płaskiej, nachylonej pod kątem ok. 15° ku SW powierzchni poślizgu. Nieznaczne rozwarście spękań zespołów J_2 i J_3 obserwowane w stanowisku 3 (ryc. 5C) świadczy o częściowej dezintegracji płata osuwiskowego w trakcie przemieszczeń.

W czołowej części osuwiska, zwłaszcza w stanowiskach 4, 6 i 7, obserwuje się bimodalny rozkład orientacji powierzchni uławicenia – są one nachylone pod niewielkimi kątami zarówno w kierunku ku SW, ale także w kierunku przeciwnym – ku NE (ryc. 2A, 5D, F). W stanowiskach 4 i 6 widoczne są także makroskopowe, szerokopromienne fałdy (głównie antykliny), o pionowych lub nieznacznie nachylonych powierzchniach osiowych i niemal poziomych osiach, zorientowanych w przybliżeniu w kierunku NW–SE (ryc. 5D, F). Obserwuje się tu także prawoskrętną rotację, a także nieznaczne rozproszenie kierunków trzech wyróżnionych zespołów spękań (ryc. 5D, F). W stanowisku 7, u podnóża ściany skalnej, stwierdzono także strefę intensywnego spękania i brekcacji piaskowców, w obrębie której odsłonięte są co najmniej dwa pochylone mezofałdy o wergencji południowo-zachodniej (ryc. 6A, B). Skrzydła

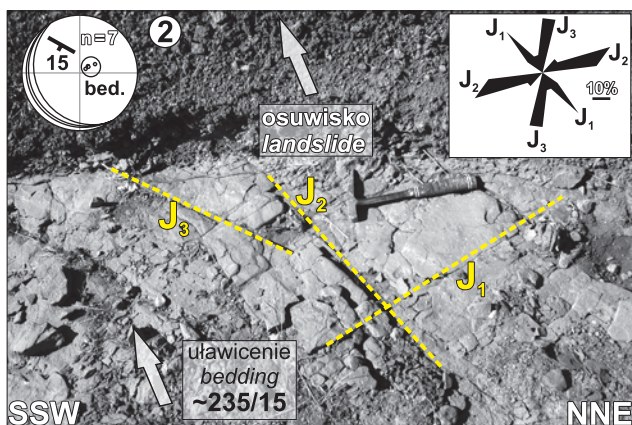


Ryc. 2. Rzeźba osuwiska translacyjnego we Włodowicach: **A** – szkic geomorfologiczny osuwiska z zaznaczoną linią przekroju geologicznego (ryc. 2B); **B** – przekrój geologiczny przez podłoże i koluwium osuwiska wraz z interpretacją
Fig. 2. Geomorphologic features of the translational landslide in Włodowice: **A** – geomorphological sketch of the landslide. See Fig. 2B for cross-section; **B** – interpretive geological cross-section of the basement and landslide colluvium



Ryc. 3. Rzeźba osuwiska we Włodowicach: **A** – widok na koluwium osuwiska i skarpe główną od południowego-zachodu; **B** – skarpa główna wraz ze strefą oderwania materiału skalno-zwietrzelinowego; **C** – skalista krawędź płata osuwiskowego widoczna od strony skarpy głównej; **D** – skaliste czoło osuwiska schodzące do doliny potoku Skakawa. Numerami oznaczono stanowiska pomiarowe opisane w tekście i na ryc. 2A

Fig. 3. Morphology of the translational landslide in Włodowice: **A** – landslide colluvium and the head scarp viewed from south-west; **B** – head scarp with depletion zone; **C** – rocky edge of the landslide slab viewed from the head scarp; **D** – rocky landslide toe reached the valley floor of the Skakawa stream. Sites of structural measurements described in the text and presented in Fig. 2A are marked

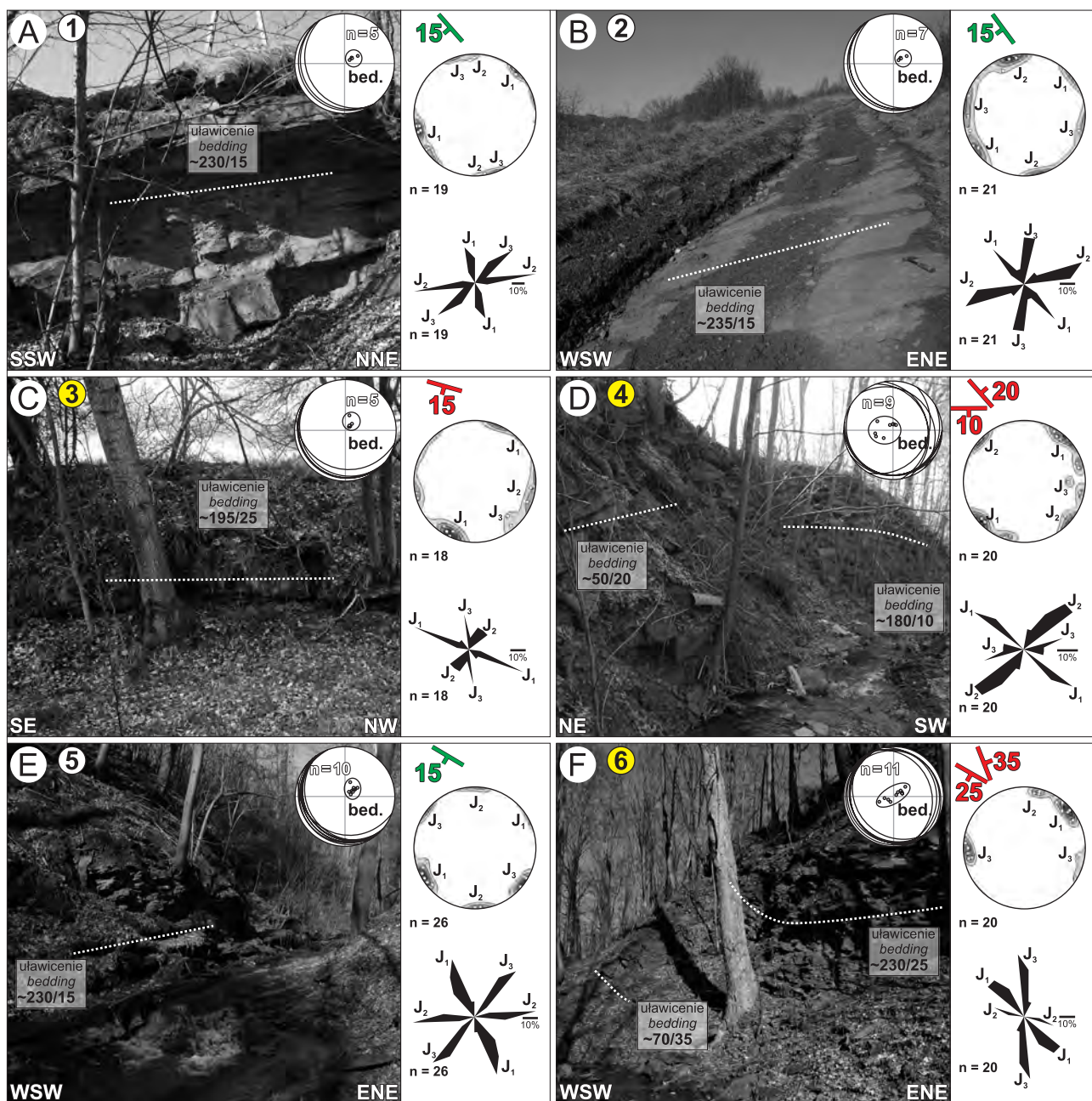


Ryc. 4. Główne cechy strukturalne piaskowców formacji ze Słupca odsłoniętych w skalistej skarpie głównej osuwiska (*in situ*; stanowisko 2). Na diagramie kołowym zaznaczono pomiary powierzchni uławicenia (bed.), a na diagramie rozetowym – orientację wydzielonych zespołów spękań ciosowych o orientacji NW–SE (J_1), WSW–ENE (J_2) oraz NNE–SSW (J_3)

Fig. 4. Main structural features of the Słupiec Formation sandstones exposed in the main scarp of the landslide (*in situ*; site 2). Pole point diagrams and great circle diagrams (equal area plot, projection on lower hemisphere) show bedding surfaces of sedimentary rocks (bed.). Rose diagrams show three distinguished sets of joints: NW–SE (J_1), WSW–ENE (J_2) and NNE–SSW (J_3)

dolne (odwrócone) fałdów charakteryzują się stromą lub prawie pionową orientacją powierzchni uławicenia (do 85° ku NE), natomiast skrzydła górne (normalne) są nachylone pod podobnym kątem i w tym samym kierunku jak skały podłoża osuwiska (ku SW; ryc. 6B). Fałdy te interpretowane są jako efekt przemieszczania mas skalnych i wyciskania ze strefy poślizgu, prawdopodobnie częściowo uplastycznionych utworów podłoża osuwiska. Zjawisko to spotęgowane jest zapewne także postępującą, erozywną działalnością wód potoku Skakawa rozcinającego strefę jęzorów osuwiskowych. Na pozostałych odcinkach jęzorów przemieszczony materiał ma charakter rumoszowo-pakietowy.

Analiza położenia płaszczyzn strukturalnych w odsłonięciach *in situ* zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie i w obrębie skalistej skarpy głównej oraz w podłożu osuwiska poniżej strefy jęzorów osuwiskowych (stanowiska 1, 2 i 5; por. ryc. 2A), pakiecie osuwiskowym (stanowisko 3) oraz w strefach czoła osuwiska (stanowiska 4, 6–7) wykazała, że dominującym typem przemieszczeń grawitacyjnych był ześlizg translacyjny, zachodzący zgodnie z orientacją stoku, konsekwentnie wzdłuż powierzchni uławicenia permskich skał osadowych (ryc. 2B). Podział masywu skalnego w inicjalnej fazie procesu osuwania następował prawdopodobnie z udziałem szczelin ekstensyjnych rozwijanych wzdłuż stromo nachylonego zespołu spękań J_1 , natomiast proces przemieszczeń grawitacyjnych mógł być ułatwiony obecnością spękań zespołów J_2 i J_3 , zorientowa-



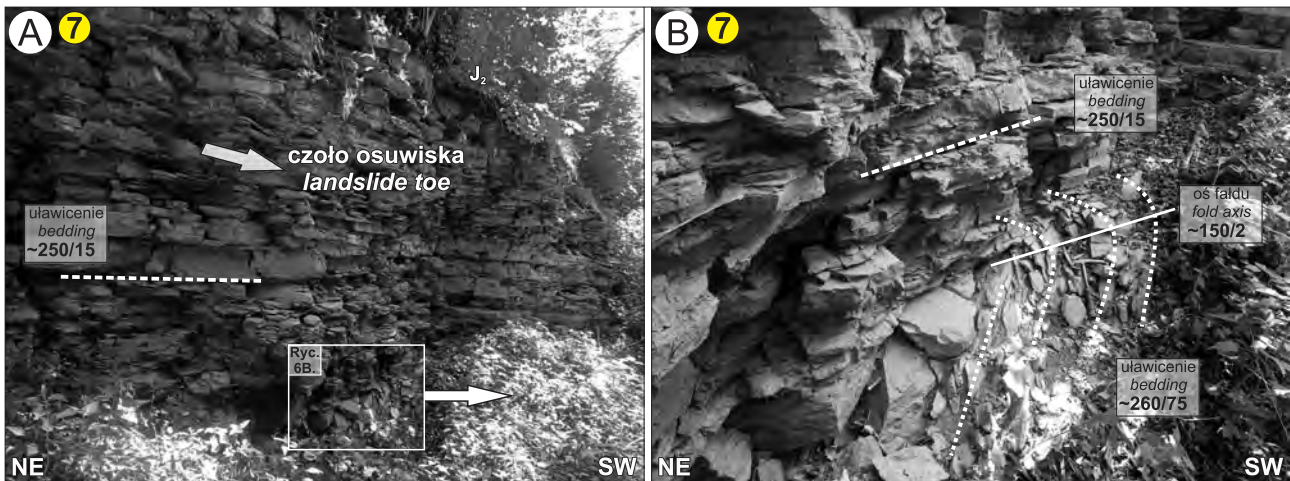
Ryc. 5. Wyniki pomiarów strukturalnych wykonanych w wybranych stanowiskach zlokalizowanych w podłożu (*in situ*) i w obrębie koluwiu osuwiska (*ex situ*): **A** – opuszczony kamieniołom z odsłonięciami *in situ* położony w sąsiedztwie skarpy głównej osuwiska (stanowisko 1); **B** – skalista skarpa główna osuwiska (2); **C** – krawędź osuniętego płata osuwiskowego poniżej skarpy głównej z odsłonięciami piaskowców (stanowisko 3); **D** – skaliste czoło osuwiska schodzące do doliny potoku Skakawa (4); **E** – odsłonięcia skał podłoża osuwiska poniżej jeziorów osuwiskowych (*in situ*; 5); **F** – strome, skaliste czoło osuwiska schodzące do doliny potoku Skakawa z widocznymi fałdami w piaskowcach (6). Numeracja stanowisk zgodna z lokalizacją na ryc. 2A. Objasnienia pozostałych symboli jak na ryc. 2A. Na diagramach kołowych zaznaczono pomiary powierzchni uławicenia (bed.). Rose, pole point and contour diagrams (equal area plots, projection on lower hemisphere) show three distinguished sets of joints. See Fig. 2A for other symbol explanations

Fig. 5. Results of structural measurements performed within chosen exposures situated in the basement (*in situ*) and colluvium of the landslide (*ex situ*): **A** – An abandoned quarry with exposed sandstones (*in situ*) situated in the proximity of the landslide head scarp (measurement site 1); **B** – rocky head scarp of the landslide (2); **C** – rocky edge of the landslide slab with visible outcrops of sandstones below the head scarp (3); **D** – rocky landslide toe reached the valley floor of the Skakawa stream; **E** – outcrops of the landslide basement below the landslide toe (*in situ*; 5); **F** – steep, rocky landslide toe with folds visible in sandstones (6). Sites of structural measurements described in the text and presented in Fig. 2A are marked. Great circle diagrams show measurements of bedding planes (bed.). Rose, pole point and contour diagrams (equal area plots, projection on lower hemisphere) show three distinguished sets of joints. See Fig. 2A for other symbol explanations

nych równoległe i subrównoległe do krawędzi skarpy głównej osuwiska (por. ryc. 2A i 5).

Powstaniu osuwiska sprzyjała obecność licznych, nieciągłych przewarstwień mułowców i drobnoziarnistych piaskowców występujących wśród gruboziarnistych piaskow-

ców i piaskowców zlepnicowatych formacji ze Słupca. Wymienione powyżej utwory nachylone są pod niewielkimi kątami (10–25°) w kierunku ku SW. Osuwisko na stokach Sokolego Garbu należy zatem określić jako typowe osuwisko strukturalne, konsekwentno-ześlizgowe (por. Grabowski i in.,



Ryc. 6A, B. Strefa intensywnej brekcjacji i faldowania u podnóża czoła osuwiska (stanowisko 7). Widoczne fałdy pochylone o wergencji południowo-zachodniej będące efektem przemieszczania mas skalnych i wyciskania ze strefy poślizgu, prawdopodobnie częściowo uplastycznionych utworów podłoża osuwiska

Fig. 6A, B. Zone of intense brecciation and folding at the base of the landslide toe (site 7). South-west-verging inclined folds as the effect of shearing and buckling at the toe of the landslide are visible

2008; Margielewski, 2004, 2009), rozwinięte wzdłuż płaskiej, lub kombinacji kilku płaskich powierzchni poślizgu (ryc. 2B).

Warto podkreślić, że na arkuszu Radków *Szczegółowej Mapy Geologicznej* Sudetów w skali 1:25 000, autorstwa Krechowicz (1964), na obszarze nierozpoznanego wówczas osuwiska na stokach Sokolego Garbu, w miejscu przemieszczonego pakietu osuwiskowego zaznaczono pomiary powierzchni uławicenia (40° i 35° w kierunku SW).

DYSKUSJA

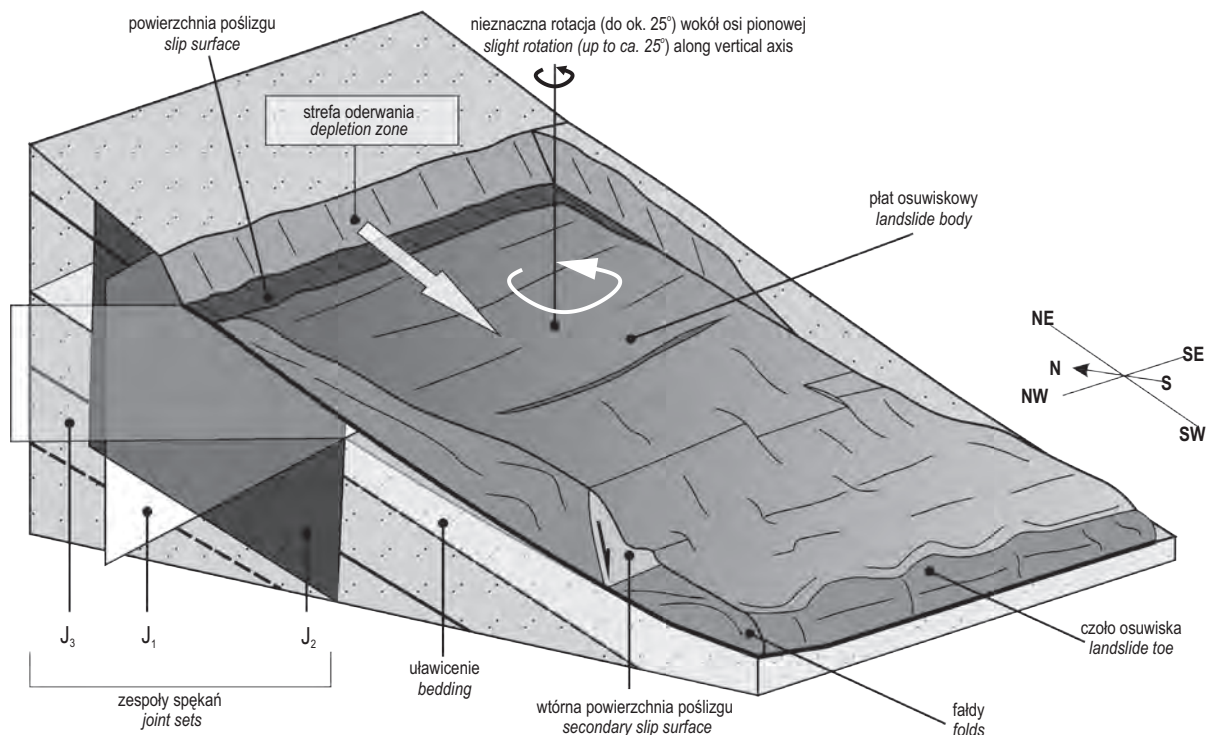
Rozmieszczenie osuwisk na obszarach o określonej konfiguracji stoków jest ściśle związane z szeregiem czynników wpływających na ich stateczność (Bober, 1984; Dikau i in., 1996; Bober i in., 1997). Czynniki te są określane w literaturze jako „bierne” i obejmują m.in. warunki geologiczne, geomorfologiczne, hydrologiczne i hydrogeologiczne, a także pokrycie terenu, oraz „aktywne”, do których zalicza się opady atmosferyczne, erozję, aktywność sejsmiczną i działalność człowieka (Bober i in., 1997; Zabuski i in., 1999). Spośród czynników biernych niezwykle istotny wpływ na rozwój ruchów masowych ma budowa geologiczna.

Osuwiska translacyjne należą do grupy form osuwiskowych powstających wzdłuż płaskich lub nieznacznie zakrzywionych powierzchni poślizgu. Powierzchnie te rozwijają się wzdłuż istniejących w górotworze, penetracyjnych powierzchni nieciągłości, takich jak powierzchnie uławicenia skał osadowych lub niskokątowe zespoły spękań czy uskoków (np. Dikau i in., 1996). Płytkie osuwiska translacyjne mogą powstawać także na granicy zwietrzliny i skalnego podłoża (osuwiska konsekwentno-zwietrzelinowe; Dikau i in., 1996). Dobrym przykładem osuwiska tego typu na obszarze sudeckim jest osuwisko translacyjne na Średniaku w Masywie Śnieżnika (Makoś, Sobczyk, 2018). Formy rzeźby utworzone w obrębie osuwisk translacyjnych, takie jak skarpy o prostoliniowym przebiegu, słabo rozwinięte formy wewnątrzosuwiskowe i spiętrzenia osuniętego materiału w dolnych częściach stoku, są relatywnie proste w terenowej identyfikacji i interpretacji. Odpowiedź na pytanie postawione w tytule niniejszego artykułu mogłaby wydawać się zatem dość prosta. W celu wy-

kazania bezpośredniego wpływu budowy geologicznej na proces osuwania niezbędne jest jednak stwierdzenie związku pomiędzy istniejącymi strefami nieciągłości (w badanym przypadku: powierzchni uławicenia i spękań), a rozwojem ruchów masowych. W przypadku skalnych osuwisk translacyjnych występujących w regionach górskich może być to utrudnione choćby z uwagi na brak większych odsłoneń, zarówno w podłożu, jak i w koluwiach osuwisk, a także gęste pokrycie szatą roślinną. Szczególne wyzwania interpretacyjne mogą stanowić także skomplikowane zsuwy powstające wzdłuż kilku powierzchni strukturalnych lub ich kombinacji.

Bardzo dobry stopień odsłoneń skał podłoża, jak i utworów koluwium osuwiska pozwoliły na określenie mechanizmu przemieszczeń grawitacyjnych w obrębie osuwiska. Analizowana forma rozwinęła się wzdłuż powierzchni uławicenia skał osadowych charakteryzujących się wysokim stopniem anizotropii litologicznej. Powierzchnia poślizgu utworzyła się prawdopodobnie na granicy piaskowców i mułowców nachylonych zgodnie z powierzchnią stoku. W trakcie przemieszczeń doszło do nieznacznej rotacji płyta osuwiskowego, który został osunięty *en block* w dół stoku, natomiast w strefie czołowej osuwiska doszło do silnego spękania i sfałdowania (ryc. 7).

Jak wskazywano w poprzednim artykule autorstwa Kowalskiego (2021), poświęconym osuwiskom Obniżenia Nowej Rudy, występowaniu różnych typów ruchów masowych na tym obszarze sprzyjała budowa geologiczna (struktura monoklinalna zbudowana z odmiennych typów litologicznych skał osadowych), krucha tektonika uskokowa, a także wyjątkowo urozmaicona rzeźba terenu. Istotny wpływ na rozwój ruchów masowych w przypadku osuwiska we Włodowicach miały pierwszy i ostatni z wymienionych czynników, czyli budowa geologiczna i obecność rzeźby strukturalnej typu kuestowego. Ten typ rzeźby niewątpliwie przyczynia się do powstawania osuwisk typu translacyjnego z powierzchnią poślizgu wykształconą wzdłuż płaskich powierzchni uławicenia skał osadowych (por. Dikau i in., 1996; Margielewski, 2004). Na obszarach o takiej rzeźbie tworzą się także osuwiska o innych typach przemieszczeń grawitacyjnych. Na północ od badanego



Ryc. 7. Model strukturalny rozwoju osuwiska translacyjnego na przykładzie osuwiska we Włodowicach. W skałach podłoża osuwiska zaznaczono powierzchnie nieciągłości strukturalnych wpływających na rozwój osuwiska: powierzchnie uławiczenia oraz 3 wydzielone zespoły ciosu (J_1 – J_3). Dalsze, szczegółowe objaśnienia znajdują się w tekście

Fig. 7. Structural model of the translational landslide based on observations in the Włodowice landslide area. Structural discontinuities in the basement of the landslide are marked. They include bedding surfaces and three distinguished sets of joints (J_1 – J_3). See text for further explanations

osuwiska, na niewielkim fragmencie Obniżenia Noworudzkiego o stosunkowo małej powierzchni (ok. 6,5 km²), stwierdzono występowanie rozległej, głęboko zakorzenionej formy osuwiskowej typu przechyłu na stokach góry Sławosz (ok. 0,23 km²), dwóch zespołów złożonych osuwisk (typu *compound*) w dolinie potoku Sokółka, o łącznej powierzchni ok. 0,52 km², a także trzech niewielkich osuwisk translacyjnych w okolicach Miłkowa (Kowalski, 2021).

Potencjalny wpływ tektoniki uskokuwej na rozwój osuwiska analizowanego obszaru pozostaje nadal dyskusyjny. Warto zaznaczyć, że trzy zespoły ciosu, wyróżnione w ramach badań nad analizowanym osuwiskiem, nie są penetracyjne i nie występują w skałi całego obszaru synklinorium śródsudeckiego (Jerzykiewicz, 1968). Z reguły bowiem, w skałach osadowych tej jednostki geologicznej, stwierdzano dwa główne zespoły spękań, zorientowane w przybliżeniu NW–SE i NE–SW. Utworzenie trzeciego zespołu spękań (J_3), mającego prawdopodobnie charakter ścięciowy (Dadlez, Jaroszewski, 1994), mogło być związane z regionalnym uskokiem Krajanowa–Ścinawki (por. ryc. 1A) przecinającym skały osadowe i magmowe permu dolnego w odległości ok. 250 m w kierunku zachodnim od badanego osuwiska. Spękania i mniejsze uskoki równoległe lub subrównoległe do tej dyslokacji mogły mieć pośredni wpływ na rozwój osuwiska we Włodowicach.

PODSUMOWANIE

Dzięki szczegółowemu kartowaniu geologicznemu i geomorfologicznemu oraz analizie NMT LiDAR stwierdzono występowanie kolejnego, nieznanego dotąd translacyjnego osuwiska skalnego w środkowej części Obniżenia

Noworudzkiego w Sudetach. Na podstawie wniosków płynących z prac kartograficznych, a także analizy strukturalnej wyciągnięto wnioski o genezie i typie przemieszczeń grawitacyjnych. Zbadaną formę, z uwagi na częściowe odsłonięcie powierzchni poślizgu w górnej części osuwiska, a także odsłoniętą strefę intensywnych deformacji o charakterze ciągłym w strefie czołowej, należy zaliczyć do niezwykle interesującego przykładu ruchów masowych na tle rozpoznanych jak dotąd osuwisk sudeckich.

Dzięki wykonanym pracom, po raz kolejny w historii badań osuwisk na obszarze sudeckim wykazano transformację pierwotnych powierzchni uławiczenia i spękań w obrębie skał osadowych podlegających ruchom masowym. Dostrzeżenie tego zjawiska ma fundamentalne znaczenie w interpretacji budowy geologicznej, w szczególności na obszarach górskich. Brak rozpoznania fragmentów stoków objętych ruchami masowymi może prowadzić bowiem do błędnych wniosków i interpretacji geologicznych nawet na poziomie regionalnym (Kowalski, 2018). Potwierdza to ponownie pilną potrzebę rewizji istniejących, historycznych map geologicznych z obszaru sudeckiego, w tym w szczególności arkuszy Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów (por. Cymerman, 2016), m.in. pod kątem występowania osuwisk, z wykorzystaniem nowoczesnych metod kartografii geologicznej. Potwierdzono także dużą użyteczność wysokorozdzielczych, numerycznych modeli terenu LiDAR w rozpoznaniu i określeniu parametrów morfometrycznych obszarów objętych ruchami masowymi, co stanowi wstęp do dalszych, systematycznych prac kartograficznych (np. Jaboyedoff i in., 2010; Borkowski i in., 2011; Graniczny i in., 2012; Wojciechowski i in., 2012; Migoń i in., 2014).

Szczegółowe prace kartograficzne i badania nad osuwiskami na obszarze Obniżenia Noworudzkiego będą kontynuowane. Obszar ten stanowi bowiem bardzo dobry poligon badawczy dla rozpoznania i prognozowania procesów osuwiskowych zachodzących w określonych warunkach geologicznych (struktura monoklinalna poprzecinana licznymi uskokami). Pozwoli to bez wątpienia na lepsze rozpoznanie mechanizmów powodujących ruchy masowe, a także na reinterpretację obrazu budowy geologicznej, prezentowanego na historycznych materiałach kartograficznych.

Badania osuwisk opisanych w artykule prowadzono podczas wykonywania zdjęcia geologicznego obszaru arkusza Radków w ramach zadania państwowej służby geologicznej pt. *Wykonanie czterech arkuszy Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów w skali 1:25 000: Radków i Pasterska Góra, Kudowa Zdrój i Brzozowice, Wambierzyce oraz Polanica Zdrój*.

Autor składa serdeczne podziękowania Pani prof. Lucynie Florkowskiej (IMG PAN) oraz anonimowemu Recenzentowi za konstruktywne i cenne uwagi, które wpłynęły na ulepszenie pierwotnej wersji pracy. Bardzo dziękuję także Małgorzacie Makoś-Kowalskiej za krytyczne uwagi do tekstu.

LITERATURA

- ADAM A. 2004 – Rzeźba strukturalna Pogórza Kaczawskiego i północno-wschodniej części Pogórza Izerskiego. *Przr. Sudet.*, 7: 175–190.
- AUGUSTYNIAK K., GROCHOLSKI A. 1968 – Geological structure and outline of the development of the Intra-Sudetic Depression. *Biul. Inst. Geol.*, 227: 87–120.
- AWDANKIEWICZ M. 1999 – Volcanism in a late Variscan intramontane trough: Carboniferous and Permian volcanic centres of the Intra-Sudetic Basin, SW Poland. *Geol. Sudet.*, 32: 13–47.
- AWDANKIEWICZ M., KUROWSKI L., MASTALERZ K., RACZYŃSKI P. 2003 – The Intra-Sudetic Basin – a record of sedimentary and volcanic processes in late- to post-orogenic tectonic setting. *Geolines*, 16: 165–183.
- BENZOUAGH B., MESHAM S.G., BAAMAR B., DRIDRI A., BOUDAD L., SADKAOUI D., MIMICH K. 2020 – Relationship between landslide and morpho-structural analysis: a case study in Northeast of Morocco. *Appl. Water. Sci.*, 10: 175.
- BOBER L. 1984 – Rejony osuwiskowe w polskich Karpatach fliszowych i ich związek z budową geologiczną. *Biul. Inst. Geol.*, 340: 115–153.
- BOBER L., THIEL K., ZABUSKI L. 1997 – Zjawiska osuwiskowe w polskich Karpatach fliszowych. *Geologiczno-inżynierskie właściwości wybranych osuwisk*. Wydaw. IBW PAN, Gdańsk.
- BORKOWSKI A., PERSKI Z., WOJCIECHOWSKI T., JÓZKÓW G., WÓJCIK A. 2011 – Landslides mapping in Roznow Lake vicinity, Poland using airborne laser scanning data. *Acta Geodyn. Geomater.*, 8 (3): 325–333.
- CARLINI M., CHELLI A., VESCOVI P., ARTONI A., CLEMENZI L., TELLINI C., TORELLI L. 2016 – Tectonic control on the development and distribution of large landslides in the Northern Apennines (Italy). *Geomorph.*, 253: 425–437.
- CYMERMAN Z. 2016 – O konieczności wykonania drugiej edycji Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów w skali 1 : 25 000 – analiza dotychczasowego stanu i założenia kompleksowej realizacji. *Prz. Geol.*, 64 (9): 604–610.
- DADLEZ R., JAROSZEWSKI W. 1994 – Tektonika. PWN, Warszawa.
- DIKAU R., BRUNSDEN D., SCHROTT L., IBSEN M.-L. (red.) 1996 – *Landslide Recognition*. Wiley, Chichester.
- DLUGOSZ M. 2011 – Podatność stoków na osuwanie w polskich Karpatach Fliszowych. *Prace Geograficzne*, 230. IGiPZ PAN im. Stanisława Leszczyńskiego, Warszawa.
- DON J. 1961 – Utwory młodopaleozoiczne okolic Nowej Rudy. *Zesz. Nauk. UW, Nauki Przyrodnicze: Nauka o Ziemi*, 3: 3–54.
- DUSZYŃSKI F., JANCEWICZ K., KASPRZAK M., MIGOŃ P. 2017 – The role of landslides in downslope transport of caprock-derived boulders in sedimentary tablelands, Stołowe Mts., SW Poland. *Geomorph.*, 295: 84–101.
- DZIEDZIC K. 1961 – Utwory dolnopermskie w niecce śródsudeckiej. *Stud. Geol. Polon.*, 6: 1–121.
- 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. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- GRANICZNY M., KAMIŃSKI M., PIĄTKOWSKA A., SURALA M. 2012 – Wykorzystanie lotniczego skaningu laserowego do inwentaryzacji i monitoringu osuwiska w rejonie Łańcicy (gmina Lanckorona), Pogórze Wielkie, Karpaty zewnętrzne. *Prz. Geol.*, 60 (2): 89–94.
- HUNGR O., LEROUEIL S., PICARELLI L. 2014 – The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11: 167–194.
- IHNATOWICZ A., CYMERMAN Z., AWDANKIEWICZ H., CISZEK D. 2017 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski, arkusz Radków (0867) 1 : 50 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- JABOYEDOFF M., OPPIKOFER T., ABELLAN A., DERRON M.H., LOYE A., METZGER R., PEDRAZZINI A. 2010 – Use of LiDAR in landslide investigations: a review. *Nat. Hazards*, doi: 10.1007/s11069-010-9634-2.
- JABOYEDOFF M., OPPIKOFER T., DERRON M.H., BLIKRA L.H., BÖHME M., SAINTOT A. 2011 – Complex landslide behaviour and structural control: a three-dimensional conceptual model of Åknes rockslide, Norway. *Geol. Soc. Sp. Publ.*, London, 351 (1): 147–161.
- JANCEWICZ K., TRACZYK A. 2017 – Mało znane formy ruchów masowych w dolinie Węglówki w Górach Bardzkich (Sudety Środkowe). *Przr. Sudet.*, 20: 289–314.
- JAROSZEWSKI W. 1974 – Tektonika uskoków i fałdów. Wydaw. Geol., Warszawa.
- JERZYKIEWICZ T. 1968 – Uwagi o orientacji i genezie ciosu w skałach górnokredowych niecki śródsudeckiej. *Geol. Sudet.*, 4: 465–478.
- KASPRZAK M., TRACZYK A. 2012 – Uwarunkowania rozwoju osuwisk w środkowej części Gór Kamiennych (Sudety). *Landform Analysis*, 20: 65–77.
- KOTWICKA W., JANCEWICZ P., MIGOŃ P. 2019 – Rzeźba osuwiskowa południowo-wschodniej części Gór Wałbrzyskich, Sudety Środkowe. *Prz. Geol.*, 67 (10): 828–836.
- KOWALSKI A. 2017a – Rozmieszczenie i geneza form osuwiskowych w przelomowej dolinie Bobru w okolicach Wlenia (Sudety Zachodnie). *Prz. Geol.*, 65 (10): 629–641.
- KOWALSKI A. 2017b – Ruchy masowe a interpretacja budowy geologicznej – przykład osuwiska na górze Drogosz w paśmie Zaworów (Sudety Środkowe). *Prz. Geol.*, 65 (2): 96–104.
- KOWALSKI A., WOJEWODA J. 2017 – Nowo rozpoznane formy osuwiskowe w dolinie Kaczawy na Pogórzu Kaczawskim (Sudety Zachodnie). *Landform Analysis*, 34: 15–27.
- KOWALSKI A. 2018 – Osuwiska jako przyczyna błędnych interpretacji budowy geologicznej – przykłady z Sudetów. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 473: 27–48.
- KOWALSKI A. 2021 – Geneza i geologiczne uwarunkowania rozwoju form osuwiskowych w środkowej części Obniżenia Noworudzkiego w Sudetach. *Prz. Geol.*, 65 (10): 629–641.
- KOWALSKI A., MAKOŚ M. 2019 – Geologiczne uwarunkowania rozwoju osuwisk w Sudetach. [W:] 2. Ogólnopolska Konferencja O!suwisko, Szczawnica, 14–17 maja 2019, PIG-PIB, Warszawa.
- KOWALSKI A., KASZA D., WAJS J. 2019 – Structural control of mass movements on slopes formed of magmatic and metamorphic rocks: the case study of Wielisławka Mt. (SW Poland, Sudetes Mts.). *Geol. Quart.*, 63 (3): 460–477.
- KRECHOWICZ J. 1964 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Sudetów, arkusz Radków 1 : 25 000. Wydaw. Geol., Warszawa.
- KRECHOWICZ J. 1965 – Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów, arkusz Radków 1 : 25 000. Wydaw. Geol., Warszawa.
- KRECHOWICZ J., BEREZOWSKA B. 1968 – Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów, arkusz Ludwikowice Kłodzkie 1 : 25 000. Wydaw. Geol., Warszawa.
- KRECHOWICZ J., KISIELEWSKI F. 1965 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Sudetów, arkusz Ludwikowice Kłodzkie 1 : 25 000. Wydaw. Geol., Warszawa.
- KUROWSKI L. 2004 – Fluvial sedimentation of sandy deposits of the Słupiec Formation (Middle Rotliegendes) near Nowa Ruda (Intra-Sudetic Basin, SW Poland). *Geol. Sudet.*, 36: 21–38.
- KUZAK R., ŻABA J. 2011 – Podstawy geologii strukturalnej – struktury fałdowe. PWN, Warszawa.
- MAKOŚ M., SOBCZYK A. 2018 – Przydatność pomiarów georadarowych i analiz geomorfometrycznych do rozpoznania wewnętrznej struktury płytkich osuwisk – na przykładzie góry Średniak w Masywie Śnieżnika, Sudety Wschodnie. *Prz. Geol.*, 66 (10): 636–647.
- MARGIELEWSKI W. 1998 – Rozwój form osuwiskowych w Barnowcu (Beskid Sądecki, Karpaty zewnętrzne) w świetle analizy strukturalnych uwarunkowań osuwisk w Karpatach fliszowych. *Prz. Geol.*, 52 (7): 603–614.
- MARGIELEWSKI W. 2001 – O strukturalnych uwarunkowaniach rozwoju głębokich osuwisk – implikacje dla Karpat fliszowych. *Prz. Geol.*, 49 (6): 515–524.
- MARGIELEWSKI W. 2004 – Typy przemieszczeń grawitacyjnych mas skalnych w obrębie form osuwiskowych polskich Karpat fliszowych. *Prz. Geol.*, 52 (7): 603–614.

- MARGIELEWSKI W. 2006 – Structural control and types of movements of rock mass in anisotropic rocks: Case studies in the Polish Flysch Carpathians. *Geomorph.*, 77: 47–68.
- MARGIELEWSKI W. 2009 – Problematyka osuwisk strukturalnych w Karpatach fliszowych w świetle zunifikowanych kryteriów klasyfikacji ruchów masowych – przegląd krytyczny. *Prz. Geol.*, 57 (10): 905–916.
- MARGIELEWSKI W., URBAN J. 2017 – Gravitationally induced non-karst caves: Tectonic and morphological constrains, classification, and dating; Polish Flysch Carpathians case study. *Geomorph.*, 296: 160–181.
- MIGOŃ P. 2010 – Nowe dane do poznania rzeźby osuwiskowej Gór Kamiennych. *Prz. Geol.*, 58 (9): 463–471.
- MIGOŃ P., PÁNEK T., MALIK I., HRADECKÝ J., OWCZAREK P., ŠILHÁN K. 2010 – Complex landslide terrain in the Kamienne Mountains, Middle Sudetes, SW Poland. *Geomorph.*, 124: 200–214.
- MIGOŃ P., KASPRZAK M. 2011 – Morfologiczny zapis ruchów masowych na progach morfologicznych Gór Stołowych w świetle numerycznego modelu wysokości o dużej rozdzielczości. *Prz. Geol.*, 59 (1): 115–124.
- MIGOŃ P., PLACEK A. 2014 – Litologiczno-strukturalne uwarunkowania rzeźby Sudetów. *Prz. Geol.*, 62 (1): 36–43.
- MIGOŃ P., JANCEWICZ K., KASPRZAK M. 2014 – Zasięg obszarów objętych osuwiskami w Górach Kamiennych (Sudety Środkowe) – porównanie map geologicznych i cyfrowego modelu wysokości z danych LiDAR. *Prz. Geol.*, 62 (9): 463–471.
- MIGOŃ P., JANCEWICZ K., RÓŻYCKA M., DUSZYŃSKI F., KASPRZAK M. 2016a – Large-scale slope remodelling by landslides – Geomorphic diversity and geological controls, Kamienne Mts., Central Europe. *Geomorph.*, 289: 134–151.
- MIGOŃ P., RÓŻYCKA M., JANCEWICZ K. 2016b – Zespół osuwisk na Toczkę (Góry Bystrzyckie) w świetle analizy morfometrycznej. *Prz. Geol.*, 64 (9): 167–188.
- NEMEC W., PORĘBSKI S.J., TEISSEYRE A.K. 1982 – Explanatory notes to the lithotectonic molasse profile of the Intra-Sudetic Basin, Polish part (Sudety Mts., Carboniferous-Permian). [W:] Schwab G. (red.) *Tectonic Regime of Molasse Epochs*. Veröff. Zentralinst. Erde, Potsdam: 267–278.
- OZIMKOWSKI W. 2010 – Wpływ kierunku iluminacji na wyniki geologicznej interpretacji DEM – przykłady z Karpat Zachodnich. *Prz. Geol.*, 58 (9): 862–866.
- POPRAWA D., RĄCZKOWSKI W. 2003 – Osuwiska Karpat. *Prz. Geol.*, 51 (8): 685–692.
- RĄCZKOWSKI W. 2007 – Landslide hazard in the Polish Flysch Carpathians. *St. Geomorph. Carp.-Balc.*, 41: 61–75.
- RÓŻYCKA M., MICHNIEWICZ A., MIGOŃ P., KASPRZAK M. 2015 – Identification and morphometric properties of landslides in the Bystrzyckie Mountains (Sudetes, SW Poland) based on data derived from airborne LiDAR. *Geomorphometry for Geosciences*, 1: 247–250.
- RÓŻYCKA M., MIGOŃ P., MICHNIEWICZ A. 2016 – Topographic Wetness Index and Terrain Ruggedness Index in geomorphic characterisation of landslide terrains, on examples from the Sudetes, SW Poland. *Zeitsch. Geomorph.*, 61 (2): 61–80.
- SAINTOT A., OPIKOFER T., DERRON M.H., HENDERSON I. 2012 – Large gravitational rock slope deformation in Romsdalen valley (Western Norway). *Rev. de la Assoc. Geol. Argentina*, 69 (3): 354–371.
- SIKORA R. 2018 – Structural control on the initiation and development of the Biała Wisetka Landslide Complex (Silesian Beskid, Outer Carpathians, Southern Poland). *Geol. Geoph. & Envir.*, 44 (1): 31–48.
- SIKORA R. 2022 – Zagrożenia obiektów budowlanych i infrastruktury komunikacyjnej na tle rozmieszczenia osuwisk w jednostkach administracyjnych Sudetów. *Prz. Geol.*, 70 (9): 636–644.
- SIKORA R., KOWALSKI A., PIOTROWSKI A. 2016a – Implikacje rozwoju osuwisk i zmienności geologicznej podłoża na izersko-kaczawskim odcinku doliny Bobru (Sudety Zachodnie). [W:] 3. Polski Kongres Geologiczny, Wrocław, 14–18.09.2016, Tom streszczeń: 348–350.
- SIKORA R., WOJCIECHOWSKI T., PIOTROWSKI A. 2016b – Geologiczne uwarunkowania występowania osuwisk w rejonie Grzbietu Zachodniego Gór Bardzkich. [W:] II Ogólnopolska Konferencja Geomorfologia Stosowana – modelowanie i prognozowanie zmian środowiskowych, Poznań, 1–3 czerwca 2016, Streszczenia wystąpień: 55.
- SIKORA R., WOJCIECHOWSKI T. 2019 – Osuwiska w Sudetach. *Prz. Geol.*, 67 (5): 360–368.
- SIKORA R., WOJCIECHOWSKI T. 2021 – New landslide inventory map of the Sudetes Mountains (south-western Poland). [W:] Guzzetti F. i in., (red.), *Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk*. WLF 2020. ICL Contribution to Landslide Disaster Risk Reduction. Springer, Cham: 59–65.
- SOŁON J., BORZYSZKOWSKI J., BIDŁASIK M., RICHLING A., BARDORA K., BALON J., BRZEZIŃSKA-WÓJCIK T., CHABUDZIŃSKI Ł., DOBROWOLSKI R., GRZEGORCZYK I., JODŁOWSKI M., KISTOWSKI M., KOT R., KRAŹ P., LECHNIO J., MACIAS A., MAJCHROWSKA A., MALINOWSKA E., MIGOŃ P., MYGA-PIĄTEK U., NITA J., PAPIŃSKA E., RODZIK J., STRZYŻ M., TERPIŁOWSKI S., ZIAJA W. 2018 – Physico-geographical mesoregions of Poland: Verification and adjustment of boundaries on the basis of contemporary spatial data. *Geogr. Pol.*, 2 (91): 143–170.
- SYNOWIEC G. 2003 – Formy osuwiskowe w Górach Kamiennych. *Prz. Geol.*, 51 (1): 59–65.
- TRACZYK A., KASPRZAK M. 2014 – Plejstoceńska rzeźba stoków masywu Słęzy (Przedgórze Sudeckie) – reinterpretacja na podstawie danych LiDAR oraz pomiarów elektrooporowych (ERT). [W:] Molewski P., Jaśkiewicz W. (red.), *Krajobrazy młodogłacjalne ich morfogeneza, teraźniejszość, przyszłość*, X Zjazd Geomorfologów Polskich, Toruń, 16–19 września 2014 r. Streszczenia: 111–112.
- VARNES D.J. 1978 – Slope movement types and processes. [W:] *Landslides: Analysis and Control*. Washington D.C., Transportation and Road Research Board, Nat. Ac. of Sc., Special Report, 176: 11–35.
- WEŹYK P. (red.) 2015 – Podręcznik dla uczestników szkoleń z wykorzystania produktów LiDAR, Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami. GUGiK, Warszawa.
- WOJCIECHOWSKI T. 2019 – Podatność osuwiskowa Polski. *Prz. Geol.*, 67 (5): 320–325.
- WOJCIECHOWSKI T., BORKOWSKI A., PERSKI Z., WÓJCIK A. 2012 – Dane lotniczego skaningu laserowego w badaniu osuwisk – przykład osuwiska w Zbyszycach (Karpaty zewnętrzne). *Prz. Geol.*, 60 (2): 95–102.
- WÓJCIK A., WOJCIECHOWSKI T. 2016 – Osuwiska jako jeden z ważniejszych elementów zagrożeń geologicznych w Polsce. *Prz. Geol.*, 64 (9): 701–709.
- WÓJCIK-TABOL P., DĄBEK J., NOWAK G.J. 2021 – Wstępna charakterystyka mineralogiczna czarnych łupków antrakozjowych z obszaru synklinorium śródsudeckiego. *Prz. Geol.*, 69 (6): 389–392.
- 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.
- ŻELAŹNIEWICZ A., ALEKSANDROWSKI P. 2008 – Regionalizacja tektoniczna Polski – Polska południowo-zachodnia. *Prz. Geol.*, 56 (10): 904–911.

Praca wpłynęła do redakcji 28.06.2022 r.

Akceptowana do druku 01.08.2022 r.