

Zależność między geometrycznymi a kinematycznymi parametrami osuwisk w Karpatach na podstawie pomiarów inklinometrycznych

Bartłomiej Warmuz¹, Piotr Nescieruk¹



B. Warmuz



P. Nescieruk

Correlation between the geometric and kinematic parameters of landslides in the Carpathians based on inclinometer measurements. *Prz. Geol.*, 74: 269–280; doi: 10.7306/2026.21

Redaktor prowadząca: Maria Przyłucka

Abstract. The article presents the results of investigations into active slip surfaces documented through inclinometric measurements conducted within the framework of the SOPO project (the Landslide Counteracting System). The study analysed the depths of deformation zones in inclinometer columns and their relationship to the size and vertical extent of landslides. The deepest slip surfaces were identified in Leszna Góra (27 and 24.5 m b.g.l.) and Witanowice (26.6 m b.g.l.), whereas in most cases they occurred at depths of 4–15 m. No clear correlation was found between landslide dimensions and the slip surface depth. In terms of deformation dynamics, the landslides were classified as continuous, quasi-continuous, and incidental. Subsurface monitoring revealed that continuous and quasi-continuous landslides typically moved at rates of 0.1–2 mm/month, with a maximum value of 14.2 mm/month recorded in the central part of the Szymbark-Zapadle landslide. For incidental landslides, displacement rates were difficult to determine. The findings indicate that there is no distinct correlation between landslide size, slip surface depth, and average deformation rate.

Keywords: landslides, mass movements, inclinometer monitoring, slip surface, Fylsch Carpathian

Kompleksowe dokumentowanie obszarów osuwiskowych obejmuje kilka głównych aspektów. Pierwszy to wyznaczenie granic osuwiska, elementów rzeźby oraz stanu zagospodarowania i ewentualnych uszkodzeń obiektów (ryc. 1A). W przypadku osuwisk powstałych w nieodległej przeszłości nie jest to zwykle trudne zadanie. Z czasem granice osuwiska i formy powstałe na skutek deformacji zacierają się i precyzyjne wyznaczenie osuwiska staje się trudniejsze. Kolejny aspekt to określenie warunków geologicznych, w jakich znajduje się osuwisko. Sprowadza się to praktycznie do charakterystyki strukturalnej oraz właściwości skał i gruntów, określenia głębokościowego zasięgu osuwiska i oceny warunków hydrogeologicznych w otworach wiertniczych, a także ewentualnych sączeń na powierzchni (ryc. 1B). Praktyczne aspekty dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich obszarów osuwiskowych przedstawiono m.in. w publikacjach Frankowskiego i in. (2012), Kosa (2021) oraz Kosa i Wójcika (2021). Istotne zagadnienie, jakim jest dokumentowanie miąższości koluwii osuwiskowych, przebiegu i charakterystyki powierzchni poślizgu, opisał Wódka (2026). Ostatnia kwestia to określenie stanu aktywności osuwiska. Istnieje wiele metod pozwalających monitorować przebieg deformacji powierzchni terenu oraz deformacje wgłębne. W artykule ograniczono się do analizy wyników monitoringu wgłębego, bazującego na pomiarach inklinometrycznych. Monitoring inklinometryczny to popularna i sprawdzona metoda identyfikacji aktywnych powierzchni poślizgu i szacowania prędkości deformacji. Systemy monitorowania osuwisk w Polsce są stosunkowo rzadko stosowane ze względu na wysokie koszty realizacji. Monitoring jest prowadzony najczęściej w kopalniach odkrywkowych (np. Czarniecki i in.,

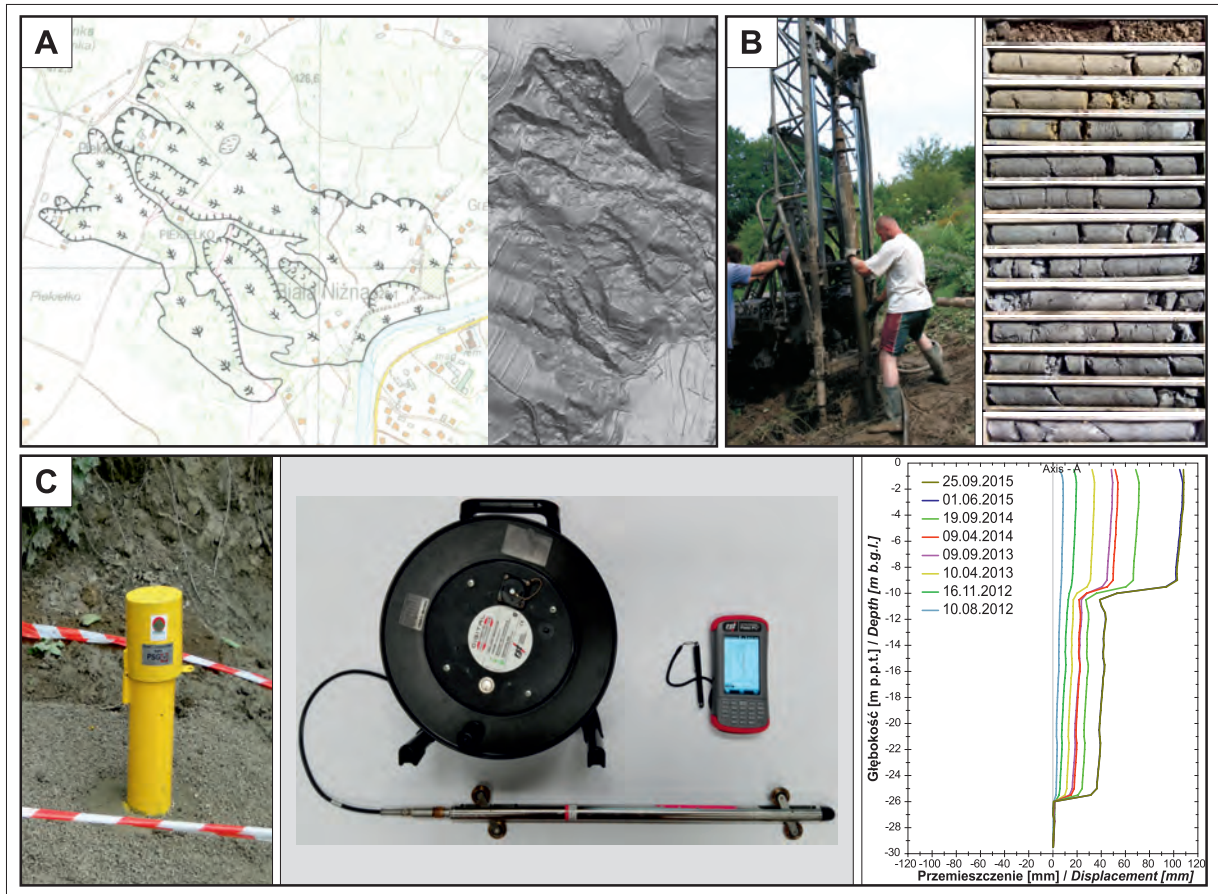
2007; Cała i in., 2016; Bednarczyk, 2019) oraz przy skomplikowanych robotach geotechnicznych (np. Pietrusza, Pletnia, 2009; Wójcik i in., 2017, 2019). Sporadycznie wykonuje się krótkie serie pomiarów na osuwiskach, w celu zidentyfikowania aktywnej powierzchni poślizgu, tak aby móc przeprowadzić działania stabilizacyjne (np. Kos, 2019; Zabuski, Przewłócki, 2019). Największa skala prac, obejmujących szeroki zakres badań nad osuwiskami w Polsce, jest wykonywana obecnie w ramach projektu *System Osłony Przeciwosuwiskowej* (SOPO). Prace te obejmują pozyskiwanie, archiwizację i udostępnianie danych o osuwiskach w Polsce (Grabowski, Przybycin, 2010; Marciniak i in., 2015; Wójcik i in., 2020). Istotnym elementem tego projektu jest monitoring instrumentalny osuwisk poprzez kontrole procesów zachodzących w ich obrębie. Monitoring koncentruje się głównie na osuwiskach w południowej części Polski (Warmuz, Nescieruk, 2019; Warmuz, 2025). Opisane w artykule prace badawcze bazują właśnie na tych pracach monitoringowych.

OBSZAR BADAŃ

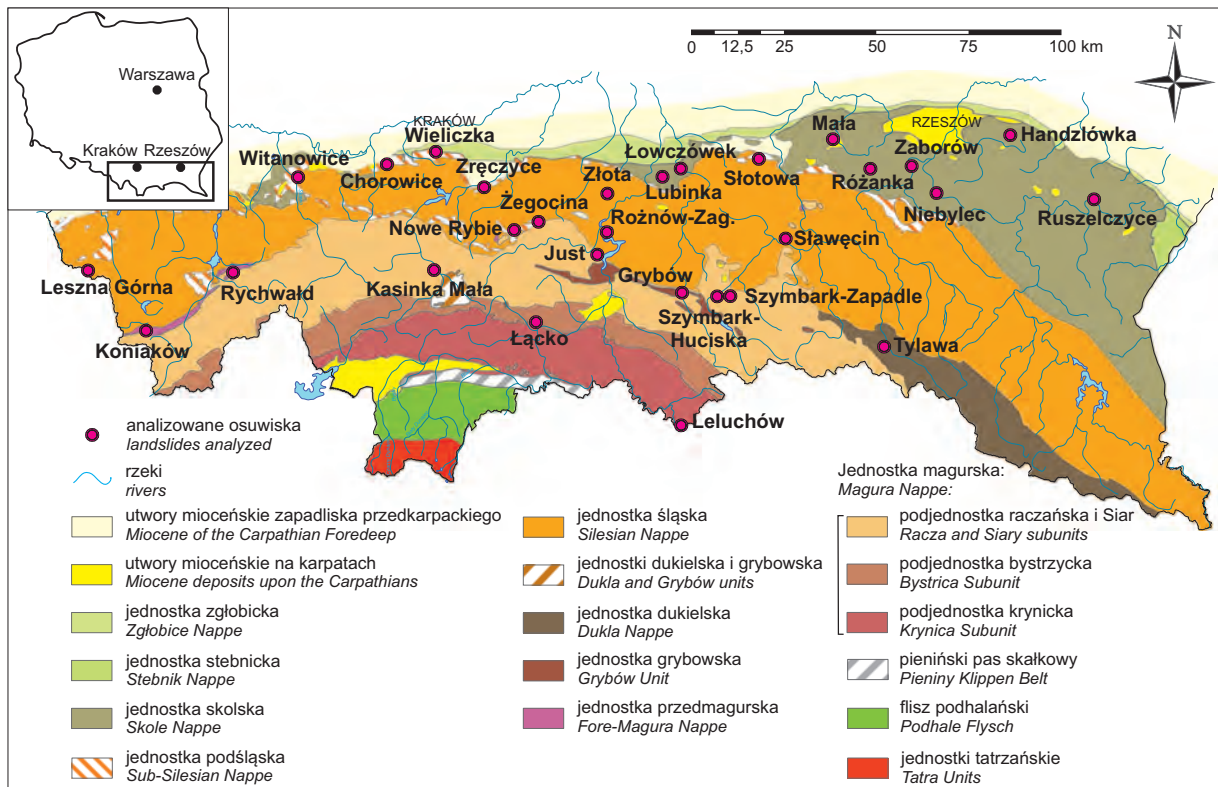
Opisane w niniejszej publikacji osuwiska znajdują się w strefie pogórzy karpackich oraz Beskidów (ryc. 2, tab. 1). Obszar badań to teren zewnętrznych Karpat fliszowych zbudowanych z terygenicznymi osadami morskimi reprezentujących przedział czasu od jury górnej do miocenu dolnego (Książkiewicz, 1953; Nowak, 1973; Ryłko, 2004; Golonka i in., 2008). Osady tu występujące dzieli się na szereg jednostek tektonicznych ponasuowanych w kierunku północnym.

Przeanalizowano 28 osuwisk, których lokalizację przedstawiono na tle głównych jednostek tektonicznych

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Centrum Geozagrożeń, ul. Skrzatów 1, 30-960 Kraków; bartlomiej.warmuz@pgi.gov.pl; piotr.nescieruk@pgi.gov.pl; ORCID ID: B. Warmuz – 0000-0001-9553-925X; P. Nescieruk – 0000-0002-8863-3210



Ryc. 1. A – przykładowy szkic osuwisk w Grybów na podkładzie topograficznym; B – prace wiertnicze na osuwisku i profil koluwiów w rdzeniu wiertniczym; C – kolumna inklinometryczna, sonda inklinometryczna oraz przykładowy wykres przemieszczeń
 Fig. 1. A – example sketch of landslides in Grybów on a topographic base; B – drilling works on the landslide and a colluvium profile in the drill core; C – inclinometer casing, inclinometer probe, and an example displacement graph



Ryc. 2. Lokalizacja analizowanych osuwisk na Mapie geologicznej polskich Karpat (Żytko i in., 1989; częściowo zmienionej)
 Fig. 2. Location of the analysed landslides on the Geological Map of the Polish Carpathians (Żytko et al., 1989; partially modified)

Tab. 1. Lokalizacja analizowanych osuwisk i warunki geologiczne
 Table 1. Location of the analysed landslides and geological conditions

Osuwisko Centroidy osuwisk Landslide Centroids of landslides	Makroregion Macrorregion Mezoregion (Solon i in., 2018) Mezoregion (Solon et al., 2018)	Jednostka tektoniczna Tectonic unit	Wydzielenia litostratygraficzne Lithostratigraphic unit
Chorowice 19°51'22,1" 49°57'7,3"	Pogórze Zachodniobeskidzkie Western Beskidian Foothills Pogórze Wielickie Wieliczka Foothills	zapadisko przedkarpaccie / podśląska Carpathian Foredeep / Silesian unit	- warstwy skawinię [miocen środkowy i górny]: ły, ilupki piaszczyste, mulowce i piaskowce Skawina Beds [Middle and Upper Miocene]: clays, sandy clays, mudstones and sandstones - warstwy gęzowe górne [alb–cenoman]: gęzy i spongiolity z wkładkami margli i lupków Upper Gaze Beds [Albian–Cenomanian]: gaizes and spongiolites with marl and shale interbeds - warstwy wierzowskie [kreda dolna]: lupki z wkładkami piaskowców cienkolawicowych i syderytów Verovice Beds [Upper Cretaceous]: shales with interbeds of thin-bedded sandstones and siderites - warstwy grodzkie [kreda dolna]: piaskowce z wkładkami lupków i zleptenców Grodzkie Beds [Lower Cretaceous]: sandstones with shale and conglomerate inserts
Grybów (2 osuwiska/ landslides) 20°57'29,5" 49°38'07,8"/ 20°57'16,1" 49°38'04,4"	Pogórze Środkowobeskidzkie Central Beskidian Foothills Pogórze Rożnowskie Rożnów Foothills	magurska Magura unit	- piaskowce ciężkowieckie [paleocen–eocen]: piaskowce grubolawicowe i lupki Ciężkowie Sandstones [Paleocene–Eocene]: thick-bedded sandstones and shales - lupki pstrze [paleocen–eocen]: lupki i piaskowce cienkolawicowe Variegated Shales [Paleocene–Eocene]: thin-bedded shales and sandstones - warstwy inoceramowe [turon–paleocen]: piaskowce grubolawicowe i cienkolawicowe oraz lupki Inoceraman Beds [Turonian–Paleocene]: thick- and thin-bedded sandstones and shales
Handzlówka 22°13'39,5" 49°59'15,4"	Pogórze Środkowobeskidzkie Central Beskidian Foothills Pogórze Dynowskie Dynów Foothills	skolska Skole unit	- warstwy inoceramowe [turon–paleocen]: piaskowce cienko- i średniolawicowe, lupki z wkładkami margli i lupki pstrze Inoceraman Beds [Turonian–Paleocene]: thin- and medium-bedded sandstones, shales with marl interbeds and variegated shales
Just 20°38'25,0" 49°43'18,5"	Pogórze Środkowobeskidzkie Central Beskidian Foothills Pogórze Rożnowskie Rożnów Foothills	magurska Magura unit	- warstwy podmagurskie [eocen–oligocen]: lupki, margle i piaskowce Sub-Magura Beds [Eocene–Oligocene]: shales, marls and sandstones
Kasinka Mała 20°1'50,8" 49°41'23,8"	Beskidy Zachodnie Western Beskids Beskid Wyspowy Wyspowy Beskid	magurska Magura unit	- warstwy magurskie [oligocen]: piaskowce grubolawicowe i lupki Magura Beds [Oligocene]: thick-bedded sandstones and shales - warstwy hieroglifowe [eocen]: lupki i piaskowce Hieroglyphic Beds [Eocene]: shales and sandstones - lupki pstrze [paleocen–eocen]: lupki i piaskowce cienkolawicowe Variegated Shales [Paleocene–Eocene]: shales and thin-bedded sandstones
Koniaków 18°56'40,5" 49°32'47,2"	Beskid Zachodnie Western Beskids Beskid Śląski Silesian Beskid	magurska Magura unit	- lupki pstrze [paleocen–eocen]: lupki i piaskowce cienkolawicowe Variegated Shales [Paleocene–Eocene]: shales and thin-bedded sandstones - warstwy inoceramowe [turon–paleocen]: piaskowce cienko- i średniolawicowe, lupki z wkładkami margli i lupki pstrze Inoceraman Beds [Turonian–Paleocene]: thin- and medium-bedded sandstones, shales with marl interbeds and variegated shales - warstwy magurskie – ogniwo z Piwnicznej [eocen]: piaskowce grubolawicowe i lupki Magura Beds – Piwniczna Member [Eocene]: thick-bedded sandstones and shales - pstrze margle globigerynowe [eocen–oligocen] Variegated Globigerina Marls [Eocene–Oligocene]
Leluchów 20°56'16,4" 49°18'4,9"	Beskid Zachodnie Western Beskids Beskid Sądecki Sądecki Beskid	magurska Magura unit	- warstwy magurskie – ogniwo popradzkie [eocen–oligocen]: piaskowce grubolawicowe i lupki Magura Beds – Poprad Member [Eocene–Oligocene]: thick-bedded sandstones and shales - lupki cieszyńskie górne [walanżyn–hoteryw]: lupki z wkładkami piaskowców cienkolawicowych i syderytów Upper Cieszyn Shales [Valanginian–Hotterivian]: shales with interbeds of thin-bedded sandstones and siderites - wapienie cieszyńskie [yton–walanżyn]: wapienie pelityczne i detrytalne z wkładkami lupków Cieszyn Limestones [Tithonian–Valanginian]: pelitic and detrital limestones with shale interbeds
Leszna Górna 18°43'35,5" 49°41'41,1"	Beskid Zachodnie Western Beskids Beskid Śląski Silesian Beskid	śląska Silesian unit	- warstwy magurskie – ogniwo popradzkie [eocen–oligocen]: piaskowce grubolawicowe i lupki Magura Beds – Poprad Member [Eocene–Oligocene]: thick-bedded sandstones and shales - lupki cieszyńskie górne [walanżyn–hoteryw]: lupki z wkładkami piaskowców cienkolawicowych i syderytów Upper Cieszyn Shales [Valanginian–Hotterivian]: shales with interbeds of thin-bedded sandstones and siderites - wapienie cieszyńskie [yton–walanżyn]: wapienie pelityczne i detrytalne z wkładkami lupków Cieszyn Limestones [Tithonian–Valanginian]: pelitic and detrital limestones with shale interbeds

Tab. 1. Lokalizacja analizowanych osuwisk i warunki geologiczne – cd. / Table 1. Location of the analysed landslides and geological conditions – cont.

Osuwisko Centroidy osuwisk Landslide Centroids of land- slides	Makroregion Macrorregion Mezoregion (Solon i in., 2018) Mezoregion (Solon et al., 2018)	Jednostka tektoniczna Tectonic unit	Wydzielenia litostratygraficzne Lithostratigraphic unit
Lubinka 20°53'19,0" 49°54'5,9"	Pogórze Środkowobeskidzkie Central Beskidian Foothills Pogórze Ciężkowickie Ciężkowice Foothills	skolska Skole unit	- lupki pszte [paleocen-eocen]: lupki i piaskowce cienkolawicowe <i>Variagated Shales [Paleocene-Eocene]: shales and thin-bedded sandstones</i> - warstwy inoceramowe [turon-paleocen]: piaskowce cienko- i średniolawicowe, lupki z wkładkami margli i lupki pszte <i>Inoceraman Beds [Turonian-Paleocene]: thin- and medium-bedded sandstones, shales with marl interbeds and variegated shales</i> - warstwy łąckie [eocen]: piaskowce, margle, lupki i rogowce <i>Łącko Beds [Eocene]: sandstones, marls, shales and cherts</i> - lupki pszte [paleocen-eocen]: lupki i piaskowce cienkolawicowe <i>Variagated Shales [Paleocene-Eocene]: shales and thin-bedded sandstones</i> - warstwy inoceramowe
Łącko 20°24'36,1" 49°33'39,7"	Beskidy Zachodnie Western Beskids Beskid Wyspowy Wyspowy Beskid	magurska Magura unit	<i>Inoceraman Beds [Turonian-Paleocene]</i> - formacja z Rybotycz [kreda górna-paleocen]: piaskowce, margle, lupki, wkładki lupków pstrych <i>Rybotycz Formation [Upper Cretaceous-Paleocene]: sandstones, marls, shales, variegated shale interbeds</i> - piaskowce z Leszyczyn [kreda górna]: piaskowce grubolawicowe, zlepienie z przelawicowanymi lupkami ilastych <i>Leszyczyn Sandstones [Upper Cretaceous]: thick-bedded sandstones, conglomerates with interbeds of clay shales</i>
Łowczówek 20°57'54,9" 49°55'28,8"	Pogórze Środkowobeskidzkie Central Beskidian Foothills Pogórze Ciężkowickie Ciężkowice Foothills	skolska Skole unit	- warstwy chodnickie [baden]: ilowce, mulowce oraz ły z wkładkami gipsów <i>Chodnice Beds [Baden]: claystones, mudstones and clays with gypsum inserts</i> - warstwy inoceramowe [turon-paleocen]: piaskowce cienkolawicowe, lupki margle i lupki pszte <i>Inoceraman Beds [Turonian-Paleocene]: thin- and medium-bedded sandstones, shales with marl interbeds and variegated shales</i> - warstwy menilitowe [oligocen]: lupki ilaste z cienkimi wkładkami piaskowców, rogowców i margle <i>Menilite Beds [Oligocene]: clay shales with thin interbeds of sandstones, cherts, and marls</i> - warstwy krosnińskie górne [miocen]: piaskowce grubolawicowe i lupki <i>Upper Krosno Beds [Miocene]: thick-bedded sandstones and shales</i>
Mała 21°03'148,9" 49°58'03,7"	Pogórze Środkowobeskidzkie Central Beskidian Foothills Pogórze Strzyżowskie Strzyżów Foothills	skolska / miocen transgresywny Skole unit / Miocene transgressive	- warstwy wierzowskie [kreda górna]: lupki z wkładkami piaskowców cienkolawicowych i syderytów <i>Verovice Beds [Upper Cretaceous]: shales with interbeds of thin-bedded sandstones and siderites</i> - warstwy grodzkie [kreda dolna]: piaskowce z wkładkami lupków i zlepieńców <i>Grodziszcze Beds [Lower Cretaceous]: sandstones with shale and conglomerate inserts</i> - warstwy istebniańskie dolne [kreda górna]: piaskowce grubolawicowe, zlepienie i lupki <i>Lower Istebnia Beds [Upper Cretaceous]: thick-bedded sandstones, conglomerates and shales</i> - warstwy godulskie [kreda górna]: piaskowce średniolawicowe i grubolawicowe oraz zlepienie <i>Godula Beds [Upper Cretaceous]: medium-bedded and thick-bedded sandstones and conglomerates</i>
Niebylec 21°55'1,5" 49°51'16,2"	Pogórze Środkowobeskidzkie Central Beskidian Foothills Pogórze Dynowskie Dynów Foothills	skolska Skole unit	- warstwy wierzowskie [kreda górna]: lupki z wkładkami piaskowców cienkolawicowych i syderytów <i>Verovice Beds [Upper Cretaceous]: shales with interbeds of thin-bedded sandstones and siderites</i> - warstwy grodzkie [kreda dolna]: piaskowce z wkładkami lupków i zlepieńców <i>Grodziszcze Beds [Lower Cretaceous]: sandstones with shale and conglomerate inserts</i> - warstwy istebniańskie dolne [kreda górna]: piaskowce grubolawicowe, zlepienie i lupki <i>Lower Istebnia Beds [Upper Cretaceous]: thick-bedded sandstones, conglomerates and shales</i> - warstwy godulskie [kreda górna]: piaskowce średniolawicowe i grubolawicowe oraz zlepienie <i>Godula Beds [Upper Cretaceous]: medium-bedded and thick-bedded sandstones and conglomerates</i>
Nowe Rybie 20°19'44,8" 49°47'10,2"	Beskid Zachodnie Western Beskids Beskid Wyspowy Wyspowy Beskid	śląska / podśląska Silesian / Sub-Silesian unit	- warstwy wierzowskie [kreda górna]: lupki z wkładkami piaskowców cienkolawicowych i syderytów <i>Verovice Beds [Upper Cretaceous]: shales with interbeds of thin-bedded sandstones and siderites</i> - warstwy grodzkie [kreda dolna]: piaskowce z wkładkami lupków i zlepieńców <i>Grodziszcze Beds [Lower Cretaceous]: sandstones with shale and conglomerate inserts</i> - warstwy istebniańskie dolne [kreda górna]: piaskowce grubolawicowe, zlepienie i lupki <i>Lower Istebnia Beds [Upper Cretaceous]: thick-bedded sandstones, conglomerates and shales</i> - warstwy godulskie [kreda górna]: piaskowce średniolawicowe i grubolawicowe oraz zlepienie <i>Godula Beds [Upper Cretaceous]: medium-bedded and thick-bedded sandstones and conglomerates</i>
Rożnów-Zagórze 20°40'43,1" 49°46'38,3"	Pogórze Środkowobeskidzkie Central Beskidian Foothills Pogórze Rożnowskie Rożnów Foothills	śląska Silesian unit	- warstwy wierzowskie [kreda górna]: lupki z wkładkami piaskowców cienkolawicowych i syderytów <i>Verovice Beds [Upper Cretaceous]: shales with interbeds of thin-bedded sandstones and siderites</i> - warstwy grodzkie [kreda dolna]: piaskowce z wkładkami lupków i zlepieńców <i>Grodziszcze Beds [Lower Cretaceous]: sandstones with shale and conglomerate inserts</i> - warstwy istebniańskie dolne [kreda górna]: piaskowce grubolawicowe, zlepienie i lupki <i>Lower Istebnia Beds [Upper Cretaceous]: thick-bedded sandstones, conglomerates and shales</i> - warstwy godulskie [kreda górna]: piaskowce średniolawicowe i grubolawicowe oraz zlepienie <i>Godula Beds [Upper Cretaceous]: medium-bedded and thick-bedded sandstones and conglomerates</i>
Ruszelezyce 22°30'43,7" 49°49'01,3"	Pogórze Środkowobeskidzkie Central Beskidian Foothills Pogórze Dynowskie Dynów Foothills	skolska Skole unit	- warstwy wierzowskie [kreda górna]: lupki z wkładkami piaskowców cienkolawicowych i syderytów <i>Verovice Beds [Upper Cretaceous]: shales with interbeds of thin-bedded sandstones and siderites</i> - warstwy grodzkie [kreda dolna]: piaskowce z wkładkami lupków i zlepieńców <i>Grodziszcze Beds [Lower Cretaceous]: sandstones with shale and conglomerate inserts</i> - warstwy istebniańskie dolne [kreda górna]: piaskowce grubolawicowe, zlepienie i lupki <i>Lower Istebnia Beds [Upper Cretaceous]: thick-bedded sandstones, conglomerates and shales</i> - warstwy godulskie [kreda górna]: piaskowce średniolawicowe i grubolawicowe oraz zlepienie <i>Godula Beds [Upper Cretaceous]: medium-bedded and thick-bedded sandstones and conglomerates</i>
Różanka 21°40'40,6" 49°54'51,1"	Pogórze Środkowobeskidzkie Central Beskidian Foothills Pogórze Strzyżowskie Strzyżów Foothills	skolska Skole unit	- warstwy wierzowskie [kreda górna]: lupki z wkładkami piaskowców cienkolawicowych i syderytów <i>Verovice Beds [Upper Cretaceous]: shales with interbeds of thin-bedded sandstones and siderites</i> - warstwy grodzkie [kreda dolna]: piaskowce z wkładkami lupków i zlepieńców <i>Grodziszcze Beds [Lower Cretaceous]: sandstones with shale and conglomerate inserts</i> - warstwy istebniańskie dolne [kreda górna]: piaskowce grubolawicowe, zlepienie i lupki <i>Lower Istebnia Beds [Upper Cretaceous]: thick-bedded sandstones, conglomerates and shales</i> - warstwy godulskie [kreda górna]: piaskowce średniolawicowe i grubolawicowe oraz zlepienie <i>Godula Beds [Upper Cretaceous]: medium-bedded and thick-bedded sandstones and conglomerates</i>
Rychwałd 19°16'23,2" 49°41'18,0"	Beskid Zachodnie Western Beskids Beskid Makowski Maków Beskids	przedmagurska Fore-Magura unit	- margle pszte węglowiekie [kreda górna-eocen] <i>Węglówka Variagated Marls [Upper Cretaceous-Eocene]</i> - lupki pszte [paleocen-eocen]: lupki i piaskowce cienkolawicowe <i>Variagated Shales [Paleocene-Eocene]: shales and thin-bedded sandstones</i> - warstwy inoceramowe [paleocen]: piaskowce grubolawicowe i cienkolawicowe oraz lupki <i>Inoceraman Beds [Paleocene] thick-, thin-bedded sandstones and shales</i>

Tab. 1. Lokalizacja analizowanych osuwisk i warunki geologiczne – cd. / Table 1. Location of the analysed landslides and geological conditions – cont.

Osuwisko Centroidy osuwisk Landslide Centroids of land-slides	Makroregion Macroregion Mezoregion (Solon i in., 2018) Mezoregion (Solon et al., 2018)	Jednostka tektoniczna Tectonic unit	Wyznaczenie litostratigraficzne Lithostratigraphic unit
Slawęcín 21°20'54,0" 49°44'50,9"	Pogórze Środkowobeskidzkie Central Beskidian Foothills Obniżenie Gorlickie Gorlice Depression	magurska / śląska Magura / Silesian unit	– lupki pstr. i warstwy hieroglifowe i warstwy z Duląbki [eocen–oligocen]: łupki, mułowce, margle, piaskowce Variegated Shales, Hieroglyphic Beds and Duląbka Beds [Eocene–Oligocene]: shales, mudstones, marls, sandstones – warstwy krosnińskie dolne [oligocen]: łupki, piaskowce, mułowce Lower Krosno Beds [Oligocene]: shales, sandstones, mudstones
Słotowa 21°15'30,0" 49°56'30,4"	Pogórze Środkowobeskidzkie Central Beskidian Foothills Pogórze Ciężkowickie Ciężkowice Foothills	śląska Silesian unit	– pstr. łupki godulskie [kreda górna]: łupki z wkładkami piaskowców Godula Variegated Shales [Upper Cretaceous]: shales with sandstone interbeds – warstwy wierzowskie [kreda górna]: łupki z wkładkami piaskowców cienkolawicowych i syderytów Verovice Beds [Upper Cretaceous]: shales with interbeds of thin-bedded sandstones and siderites – warstwy grodziskie [kreda dolna]: piaskowce z wkładkami łupków i zlepieńców Grodziszczcze Beds [Lower Cretaceous]: sandstones with shale and conglomerate inserts
Szymbark Huciska 21°06'36,2" 49°36'47,2"	Beskidy Środkowe Central Beskids Beskid Niski Niski Beskid	magurska Magura unit	– łupki pstr. [paleocen–eocen]: łupki i piaskowce cienkolawicowe Variegated Shales [Paleocene–Eocene], thin-bedded shales and sandstones
Szymbark Zapadle 21°07'18,2" 49°36'46,2"	Beskidy Środkowe Central Beskids Beskid Niski Niski Beskid	magurska Magura unit	– warstwy magurskie [oligocen]: piaskowce grubolawicowe i łupki Magura Beds [Oligocene]: thick-bedded sandstones and shales – łupki pstr. [paleocen–eocen]: łupki i piaskowce cienkolawicowe Variegated Shales [Paleocene–Eocene]: thin-bedded shales and sandstones
Tylawa 21°042'18,4" 49°28'48,1"	Beskidy Środkowe Central Beskids Beskid Niski Niski Beskid	dukieleńska Dukla unit	– warstwy hieroglifowe [eocen]: łupki i piaskowce cienkolawicowe Hieroglyphic Beds [Eocene]: thin-bedded shales and sandstones – łupki pstr. [eocen]: łupki i piaskowce cienkolawicowe Variegated Shales [Paleocene–Eocene]: thin-bedded shales and sandstones
Wieliczka 20°2'46,5" 49°58'33,9"	Pogórze Zachodniobeskidzkie Western Beskidian Foothills Pogórze Wielickie Wieliczka Foothills	śląska / podśląska Silesian / Sub-Silesian unit	– warstwy gezw. [kreda dolna]: łupki ilaste i piaskowce Gaize Beds [Lower Cretaceous]: shales and sandstones
Witanowice 19°30'46,8" 49°54'32,1"	Pogórze Zachodniobeskidzkie Western Beskidian Foothills Pogórze Wielickie Wieliczka Foothills	śląska Silesian unit	– warstwy grodziskie [kreda dolna]: piaskowce z wkładkami łupków i zlepieńców Grodziszczcze Beds [Lower Cretaceous]: sandstones with shale and conglomerate inserts – warstwy cieszyńskie [kreda dolna]: łupki z wkładkami piaskowców cienkolawicowych i syderytów Cieszyn Beds [Lower Cretaceous]: shales with interbeds of thin-bedded sandstones and siderites
Złota 20°4'11,8" 49°52'4,7"	Pogórze Zachodniobeskidzkie Western Beskidian Foothills Pogórze Wiśnickie Wiśnicze Foothills	śląska Silesian unit	– warstwy krosnińskie [oligocen]: łupki i piaskowce cienkolawicowe Krosno Beds [Oligocene]: thin-bedded shales and sandstones
Zręczycze 20°13'18,8" 49°53'40,9"	Pogórze Zachodniobeskidzkie Western Beskidian Foothills Pogórze Wielickie Wieliczka Foothills	śląska / podśląska Silesian / Sub-Silesian unit	– warstwy menilitowe [oligocen]: łupki ilaste z cienkimi wkładkami piaskowców, rogowców i margle Menilite Beds [Oligocene]: clay shales with thin interbeds of sandstones, cherts, and marls – warstwy gezw. [kreda dolna]: łupki ilaste i piaskowce Gaize Beds [Lower Cretaceous]: shales and sandstones
Żegocina 20°25'11,6" 49°47'49,6"	Beskidy Zachodnie Western Beskids Beskid Wyspowy Wyspowy Beskid	magurska Magura unit	– warstwy podmagurskie [eocen–oligocen]: łupki, margle i piaskowce Sub-Magura Beds [Eocene–Oligocene]: shales, marls and sandstones

Karpat fliszowych (ryc. 2). Osuwiska te występują na obszarze jednostek tektonicznych: podśląskiej, śląskiej, skolskiej, dukielskiej, przedmagurskiej i magurskiej. Osuwisko w miejscowości Chorowice rozwinęło się częściowo na osadach zapadliska przedkarpackiego, a osuwisko w Małej – na utworach miocenijskich osadów transgresywnych zalegających na fliszu Karpat. W podłożu opisanych osuwisk udokumentowano kilkanaście wydzieleni litostratygraficznych przedstawionych w tabeli 1.

Kilka z opisanych w artykule osuwisk było wcześniej przedmiotem badań. Opisano wpływ opadów deszczu na reaktywację i prędkość przemieszczeń osuwisk w Witanowicach, Chorowicach, Żegocinie, Rożnowie-Zagórze, Grybowie, Szymbarku, Sławęcinie, Małej i Ruszelczycach (Warmuz, Nescieruk, 2019; Warmuz, 2025). Podobne zależności oparte na interferometrycznych pomiarach satelitarnych reflektorów radarowych opisali Perski i Wojciechowski (2022) dla osuwisk w Grybowie, Szymbarku i Słotowej. Osuwiska w miejscowości Rożnow-Zagórze i Just objęte były analizą różnicową numerycznych modeli terenu, jako jedne z wielu osuwisk w rejonie Jeziora Rożnowskiego (Wódka, 2022). Osuwisko w Juście było też przedmiotem badań ukierunkowanych na identyfikację stref poślizgu na podstawie o profilowanie zmian ciśnienia porowego w gruncie (Stanisz, Pilecki, 2018) oraz badań deformacji opartych na technikach InSAR (Perski, 2019). Osuwisko w Ruszelczycach wraz z innymi analizowano w odniesieniu do aspektów geologicznych i geomorfologicznych obszaru wzdłuż Sanu pomiędzy Bachórzcem a Rzeczpołem (Wójcik, Zimnal, 1996). Było także przedmiotem badań studialnych nad warunkami geologiczno-inżynierskimi m.in. w jego granicach. Określone wówczas zostało jako typowo subsekwentne (Bober i in., 1997).

Charakterystyczną cechą fliszu karpackiego jest naprzemianległy układ warstw skalnych złożonych z piaskowców, zlepieńców, mułowców i iłowców, które mają zmienny udział w poszczególnych wydzieleniach litostratygraficznych. Utwory te wykazują znaczne zaangażowanie tektoniczne, często są silnie pofałdowane i spękanе oraz przemieszczone wzdłuż różnego typu uskoków. Warunki geologiczne na obszarze występowania badanych osuwisk są zwykle skomplikowane, a w ich podłożu najczęściej występowały ogniwia fliszowe, o przewodze skał ilastych.

METODYKA

W niniejszej pracy spośród niemal 70 osuwisk monitorowanych w ramach projektu SOPO wybrano 28, które w analizowanym okresie kilkunastu lat wykazywały wyraźną aktywność. Pomiary inklinometryczne na każdym z osuwisk wykonywano dwa razy do roku. Większość kolumn jest nadal monitorowana, a część z nich uległa zaciśnięciu już po kilku miesiącach od rozpoczęcia pomiarów. Umożliwiło to określenie głębokości występowania stref deformacji oraz wartości składowej poziomej przemieszczeń. Pomiary inklinometryczne cechuje wysoka precyzja rejestracji przemieszczeń rzędu ± 1 mm na 10 m długości otworu pomiarowego.

Na każdym z analizowanych osuwisk znajduje się od jednego do sześciu otworów pomiarowych (najczęściej dwa), o identycznej konstrukcji na wszystkich omawianych osuwiskach. Prace monitoringowe obejmują odwiercenie otworów pełnordzeniowych do głębokości nienaruszonych skał podłoża, w celu uzyskania ciągłej informacji o budo-

wie geologicznej, litologii koluwiów oraz gęstości i genezie spękań. We wszystkich otworach są umieszczone kolumny (rury) pomiarowe o średnicy 70 mm; przestrzeń między kolumną a ścianami otworu jest wypełniana zaczynem cementowo-bentonitowym. Pomiary inklinometryczne są wykonywane zwykle dwa razy do roku dwuosową sondą RST, a obliczenia przemieszczeń są przeprowadzane w programie *Inclinalysis* (ryc. 1C).

Na podstawie wyników pomiarów inklinometrycznych określono na każdym z analizowanych osuwisk stwierdzone punktowo głębokości aktywnych powierzchni poślizgu, oraz wartości przemieszczeń zarejestrowanych w całym okresie pomiarów. Na tej podstawie oszacowano średnią prędkość przemieszczeń osuwiska oraz dominujący charakter aktywności. Informacje te zestawiono w tabeli 2. Rozmieszczenie otworów inklinometrycznych na poszczególnych osuwiskach przedstawiono orientacyjnie na rycinie 3. W artykule przedstawiono przeglądową charakterystykę dynamiki analizowanych osuwisk z pominięciem opisowych indywidualnych informacji. Celem badań było sprawdzenie, czy analiza 28 osuwisk monitorowanych sumarycznie w 62 otworach inklinometrycznych ujawni zależności istniejące pomiędzy podstawowymi parametrami osuwisk, takimi jak ich powierzchnia, rozpiętość pionowa, nachylenie osuwiskowego zbocza, a głębokością występowania aktywnych powierzchni poślizgu i średnią prędkością przemieszczeń.

W artykule przedstawiono zależności pomiędzy parametrami osuwisk, takimi jak głębokość strefy poślizgu, powierzchnia osuwiska, rozpiętość pionowa oraz średnie nachylenie powierzchni terenu. Dodatkowo zaprezentowano relacje między średnią prędkością przemieszczeń a parametrami geometrycznymi: powierzchnią osuwiska, głębokością występowania aktywnej powierzchni poślizgu oraz średnim nachyleniem powierzchni terenu (ryc. 4A–F). W celu oceny zależności parametrów charakteryzujących osuwiska obliczono dla wybranych ich par współczynniki korelacji Pearsona (r).

WYNIKI BADAŃ

Opisane w publikacji osuwiska mają zróżnicowaną powierzchnię od 0,019 km² (osuwisko w Żegocinie) do 1,39 km² (osuwisko w Ruszelczycach) i nachylenie terenu od 5° (osuwisko w Ruszelczycach) do 16° (osuwisko w Żegocinie).

Wgłębne powierzchnie poślizgu zidentyfikowano w profilach wiertniczych na głębokości 3–27 m p.p.t., a najczęściej występowały na głębokościach 4–15 m p.p.t. Usytuowanie kolumn pomiarowych na poszczególnych osuwiskach sprawia, że pomiary inklinometryczne nie ukazują maksymalnej miąższości koluwiów, jednak umożliwiają ich oszacowanie.

Wartości składowych poziomych przemieszczeń, jakie zarejestrowano w kolumnach pomiarowych, jedynie w kilku przypadkach przekroczyły 200 mm. Wartości przemieszczeń, po których następowało ścięcie kolumny na opisanych osuwiskach zmieniły się w zakresie od 38 mm dla kolumny 1 w Witanowicach do 232 mm dla kolumny 2 w Ruszelczycach. Taka rozbieżność wartości wynika głównie z miąższości strefy ścinania i uplastycznienia koluwiów w tej strefie. W Witanowicach powierzchnia poślizgu ma miąższość ok. 0,4 m i przebiega w obrębie pokruszonych i zlustrowanych łupków ilastych na kontakcie z ławicą pia-

Tab. 2. Zestawienie podstawowych parametrów analizowanych osuwisk
Table 2. Summary of the basic parameters of the analysed landslides

Osuwisko <i>Landslide</i>	Powierzchnia [km ²] Śr. nachylenie[°] <i>Area [km²] Avg. slope [°]</i>	Długość Szerokość Rozpiętość <i>Length Width Span [m]</i>	Nr otworu: głęb. pow. poślizgu [m p.p.t] <i>Well No.: depth of the slip surface [m b.g.l.]</i>	Max. wartość przemieszczeń <i>Max. landslide displacement [mm]</i>	Czas realizacji monitoringu [miesiące] <i>Monitoring period [months]</i>	Śr. prędkość deformacji [mm/miesiąc] <i>Avg. displace- ment velocity [mm/month]</i>	Dominujący charakter aktywności <i>Dominant activity pattern</i>
Chorowice	0,762 6	1470 845 147	1: 3,0 2: 13,5	25 48	186 54	0,1 0,9	incydentalny ciągły
Grybów (2 osuwiska)	0,194/0,063 10	740 / 620 420 / 200 137 / 120	1: 7,2 2: 10,5 3: 8,3	110 67 170	80 34 60	1,5 2,0 3,0	ciągły ciągły ciągły
Handzlówka	0,300 8	715 775 95	1: 17,0 2: 12,0	8 6	87 87	0,1 0,1	quasi-ciągły quasi-ciągły
Just	0,240 12	780 330 163	1: 12,6 2: 6,5	110 10	9 54	12,2 0,2	ciągły quasi-ciągły
Kasinka Mała	1,353 13	1378 1400 327	1: 13,0 2: 22,0 3: 12,7	137 24 45	31 163 163	4,4 0,1 0,3	ciągły incydentalny incydentalny
Koniaków	0,239 8	980 440 140	1: 7,5 2: 10,5	31 69	55 183	0,6 0,4	quasi-ciągły quasi-ciągły
Leluchów	0,208 13	471 783 112	1: 7,0 i 22,0 2: 9,5 i 20,0 3: 8,3	5 57 i 10 10	10 96 85	0,5 i 5,9 0,6 i 0,1 0,1	ciągły quasi-ciągły quasi-ciągły
Leszna Górna	0,183 11	760 600 142	1: 7,5 i 27,0 2: 24,5	9 i 22 49	60 167	0,1 i 0,4 0,3	ciągły quasi-ciągły
Lubinka	0,048 11	290 190 56	1: 5,5 2: 3,0	205 30	54 143	27,0 0,2	incydentalny incydentalny
Łącko	0,418 9	923 741 154	1: 12,0 2: 12,3	19 130	189 48	0,1 2,7	incydentalny quasi-ciągły
Łowczówek	1,005 7	1050 1400 135	1: 5,7 2: 3,6 3: 14,4	16 22 108	177 177 45	0,1 0,1 2,4	incydentalny incydentalny ciągły
Mała	0,096 7	390 280 54	1: 6,5 2: 7,0	72 98	55 174	1,4 0,5	ciągły ciągły
Niebylec	0,116 7	454 400 57	1: 4,7 2: 10,0	11 38	39 39	0,3 1,0	ciągły ciągły
Nowe Rybie	0,029 9	145 249 39	1: 4,5	188	99	1,9	ciągły
Roznów-Zagó- rze	0,030 13	416 260 91	1: 10,7 2: 9,0	58 225	7 7	8,3 32,1	incydentalny incydentalny
Ruszelczyce	1,390 5	1430 1480 125	1: 8,5 2: 13,7	40 232	168 107	0,2 2,2	quasi-ciągły ciągły
Różanka	0,155 8	384 630 63	1: 8,0 2: 16,5	7 5	30 30	0,2 0,2	ciągły ciągły
Rychwałd	0,135 12	600 340 130	1: 10,0 2: 5,0	23 88	182 182	0,1 0,5	quasi-ciągły ciągły
Sławęcין	0,185 8	700 410 92	1: 7,2 2: 4,5	70 131	189 150	0,4 0,9	quasi-ciągły quasi-ciągły
Słotowa	0,241 6	900 390 95	1: 21,5 2: 4,4	130 170	175 175	0,7 1,0	ciągły ciągły
Szymbark Huciska	0,258 8	840 510 114	1: 6,0 i 13,0 2: 13,3 3: 10,4	121 i 154 183 72	52 176 62	2,3 i 2,9 1,0 1,2	ciągły ciągły ciągły

Tab. 2. Zestawienie podstawowych parametrów analizowanych osuwisk – cd.

Table 2. Summary of the basic parameters of the analysed landslides – cont.

Osuwisko Landslide	Powierzchnia [km ²] Śr. nachylenie[°] Area [km ²] Avg. slope [°]	Długość Szerokość Rozpiętość Length Width Span [m]	Nr otworu: głęb. pow. poślizgu [m p.p.t] Well No.: depth of the slip surface [m b.g.l.]	Max. wartość przemieszczeń Max. landslide displacement [mm]	Czas realizacji monitoringu [miesiące] Monitoring period [months]	Śr. prędkość deformacji [mm/miesiąc] Avg. displace- ment velocity [mm/month]	Dominujący charakter aktywności Dominant activity pattern
Szymbark Zapadle	0,258 8	990 420 190	1:13,6 2:13,5	156 66	11 63	14,2 1,0	ciągły ciągły
Tylawa	0,556 11	780 840 146	1: 14,7 2: 17,4	75 141	64 168	1,2 0,8	ciągły ciągły
Wieliczka	0,227 9	590 621 87	1: 7,0 2: 5,5 3: 6,0 i 9,5 4: 7,0 i 10,5 5: 8,0 6: 16,0	200 197 200 i 170 30 i 60 50 8	33 33 23 21 1 10	6,1 6,0 8,7 i 7,4 1,4 i 2,8 50,0 0,8	ciągły ciągły ciągły ciągły ciągły ciągły
Witanowice	0,215 7	510 540 55	1: 10,5 i 26,6	177 i 38	102 i 42	1,7 i 0,9	quasi-ciągły
Złota	0,352 11	160 320 30	1: 7,0 2: 10,2	95 65	189 6	0,5 10,8	quasi-ciągły
Zręczycze	0,155 7	430 660 54	1: 15,5 2: 4,5	58 185	167 157	0,3 1,2	incydentalny ciągły
Żegocina	0,019 16	200 130 60	1: 11,5	35	171	0,2	quasi-ciągły

incydentalny – *incidental*; ciągły – *continuous*; quasi-ciągły – *quasi-continuous*

skowca. W Ruszelczycach strefa deformacji przebiega w uplastycznionych ilach umożliwiającym większy promień uginania się kolumny inklinometrycznej.

Różnice pomiarów przemieszczeń określano w czasie od 1 miesiąca w kolumnie nr 5 na osuwisku w Wieliczce, zniszczonej w trakcie rozbiórki budynku na osuwisku, do 189 miesięcy na kilku osuwiskach, gdzie nadal prowadzone są systematyczne pomiary. Trwałość kolumny inklinometrycznej uzależniona była głównie od prędkości, a także wartości przemieszczeń kolumniów.

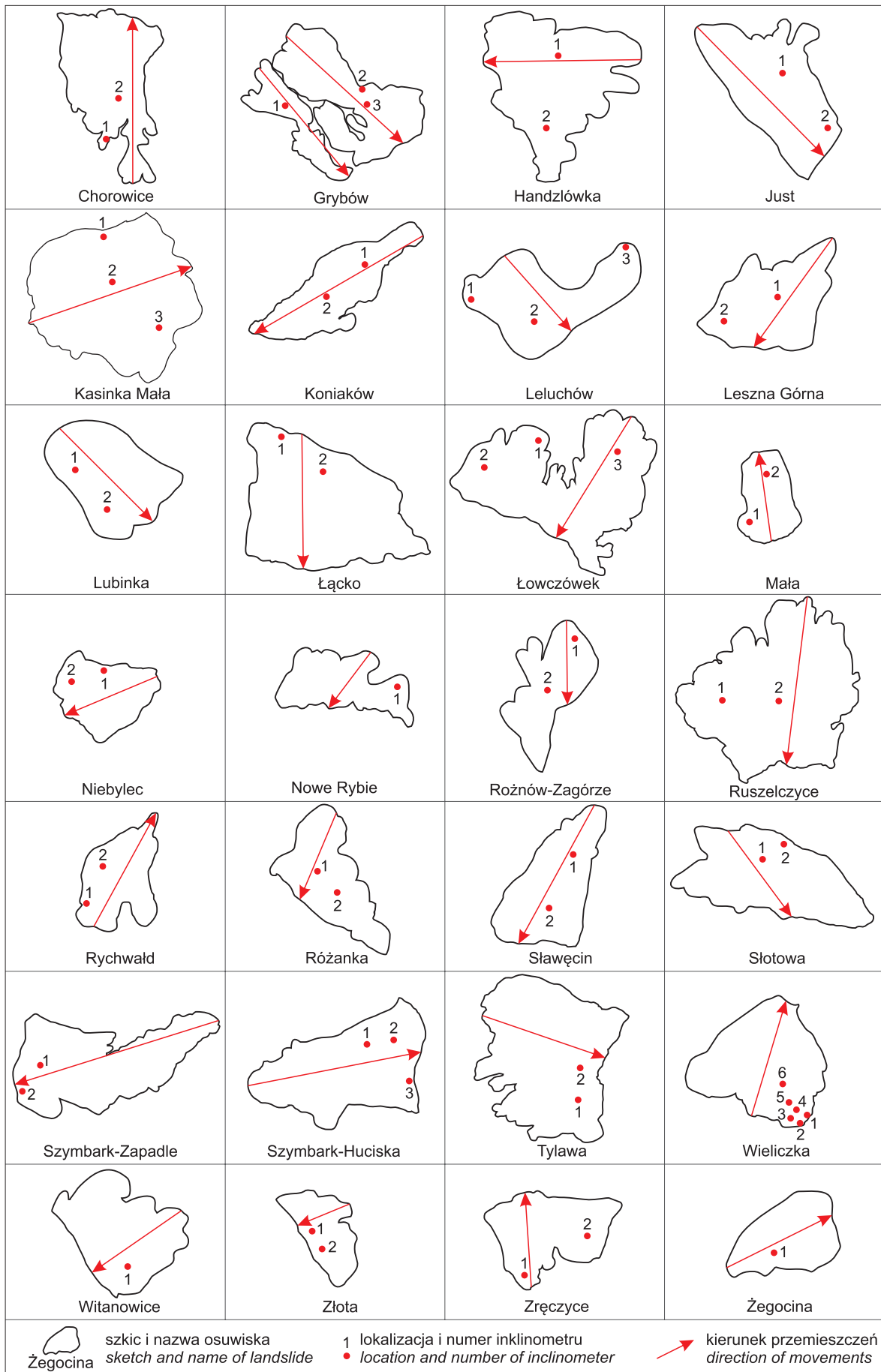
Średnie prędkości deformacji dla poszczególnych osuwisk wyniosły w większości przypadków od 0,1 do ok. 2 mm/miesiąc. Wartości 5,9–14,2 mm/miesiąc obejmowały krótki, kilkumiesięczny przedział czasu z katastrofalnymi opadami deszczu wiosną 2010 r., które doprowadziły do ścięcia kilku kolumn pomiarowych. Analizując szczegółowo przyrosty deformacji na tle czasu, przypisano osuwiskom dominujący charakter aktywności. Incydentalne reaktywacje obejmowały stosunkowo krótko trwające deformacje, zwykle o wielokrotnie większych wartościach przemieszczeń powodujących zniszczenie kolumny pomiarowej. Quasi-ciągły charakter przypisano osuwiskom, gdzie kilkumiesięczne interwały pomiarowe zasadniczo różnią się przyrostami przemieszczeń od bardzo małych wartości (poniżej 1 mm) do kilkunastu milimetrów. Ciągły charakter aktywności przypisano osuwiskom, gdzie w poszczególnych interwałach pomiarowych występowały wyraźne przyrosty przemieszczeń i ich wartości były podobne.

Na rycinie 4 (A–F) przedstawiono wyniki analiz relacji między geometrycznymi i kinematycznymi parametrami 28 analizowanych osuwisk. Zależność pomiędzy głębokością powierzchni poślizgu a powierzchnią osuwiska okazała się

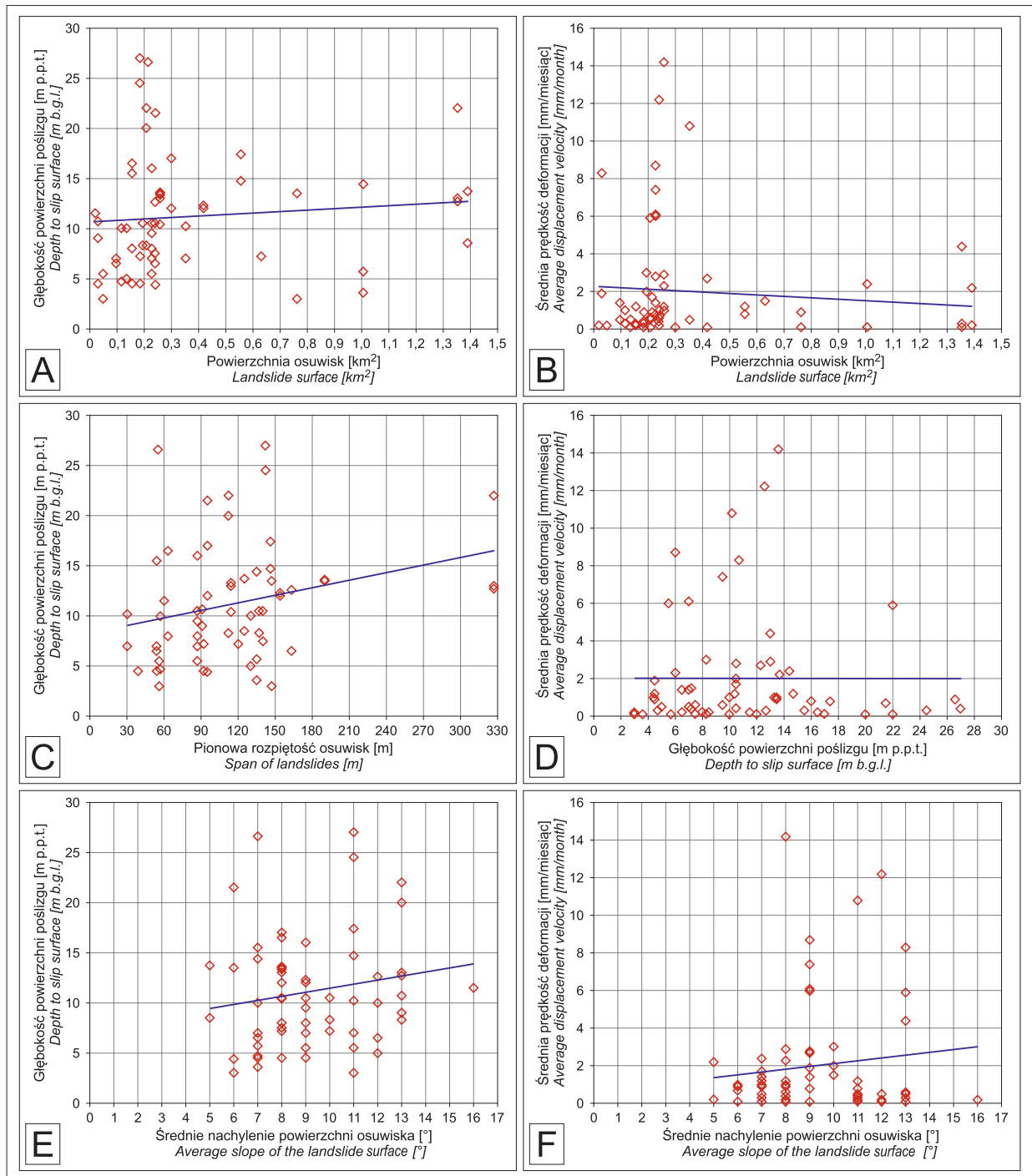
dotadnia, lecz słaba dla osuwisk o powierzchni do 0,5 km² ($r=0,23$) i bardzo słaba w całym analizowanym zakresie ($r=0,10$) (ryc. 4A). Podobnie dodatnie słabe korelacje stwierdzono pomiędzy głębokością powierzchni poślizgu a rozpiętością pionową osuwisk ($r=0,27$) (ryc. 4C) oraz pomiędzy głębokością powierzchni poślizgu a średnim nachyleniem powierzchni osuwisk ($r=0,17$) (ryc. 4E). Relacja między średnią prędkością deformacji a powierzchnią osuwisk również jest słaba i ujemna ($r=-0,10$) (ryc. 4B), co prawdopodobnie wynika z faktu, że mniejsze osuwiska szybciej reagują na opady atmosferyczne. Nie zaobserwowano natomiast zależności pomiędzy średnią prędkością deformacji a głębokością powierzchni poślizgu ($r=0,00$) (ryc. 4D). Widoczna jest jedynie dodatnia słaba korelacja pomiędzy średnią prędkością deformacji a nachyleniem powierzchni osuwisk – prędkość deformacji wzrasta wraz ze wzrostem nachylenia ($r=0,17$) (ryc. 4F).

DYSKUSJA

Wyniki wskazują, że w dużych osuwiskach skalno-zwierzelinowych i skalnych głębokość przemieszczeń jest przede wszystkim determinowana przez miąższość pokryw gruntowych i silną anizotropię właściwości mechanicznych masywów skalnych związaną zarówno z litologią, tektoniką, jak i zasięgiem procesów wietrzenia (Bober, 1984). Rozległy obszar objęty procesami osuwiskowymi jest często wynikiem wieloetapowego rozwoju i propagacji granic osuwiska, więc powierzchnia poślizgu ma wówczas charakter strukturalno-ścięciowy, o czym pisał Margielewski (2001, 2009). Tak więc rozległe osuwiska są zwykle sumą wielu zsuwów, a rzadko jedną bryłą odkucia, która wraz ze



Ryc. 3. Rozmieszczenie otworów pomiarowych na analizowanych osuwiskach ($n=28$)
Fig. 3. The distribution of measurement holes on the analysed landslides ($n=28$)



Ryc. 4. Zależności między geometrycznymi a kinematycznymi parametrami osuwisk ($n = 28$)
 Fig. 4. Relationships between geometric and kinematic parameters of the landslides ($n = 28$)

wzrastającą powierzchnią lub rozpiętością sięga coraz głębiej. Tłumaczy to słabą korelację pomiędzy głębokościami powierzchni poślizgu a wielkością obszaru osuwiska, rozpiętością lub nachyleniem osuwisk.

Powierzchnia poślizgu, wzdłuż której doszło do przemieszczenia mas skalnych lub gruntów w trakcie powstania osuwiska, zwykle stanowi predysponowaną powierzchnię do późniejszych reaktywacji. Przemieszczenia te zachodzą po „powierzchni dyskretnej” lub obejmują większą strefę zniszczonego górotworu (Zabuski, 2022). W analizie rdzenia wiertniczego przyjmuje się, że powierzchnie poślizgu charakteryzują się zmianą stopnia plastyczności gruntów

związaną z obecnością wody w tych strefach lub niskokątowymi, niezmineralizowanymi zlustrowaniami zazwyczaj o małym nachyleniu, najczęściej nie nawiązującymi do uławicenia skał, czy ich oddzielności łupkowej (Wódka, 2026). Różne opracowania i publikacje dla obszarów osuwiskowych dowodzą, że w obrębie osuwisk może być wiele powierzchni poślizgu (m.in. Zabuski i in., 1999; Wójcik i in., 2017, 2019; Kos, Wójcik, 2021). Wyniki pomiarów inklinometrycznych przedstawione w tym artykule oraz innych publikacjach z obszaru Karpat (Zabuski, 2013; Bednarczyk, 2015; Warmuz, Nescieruk, 2019; Warmuz, 2025) pokazują, że deformacje zachodzą najczęściej po jednej lub

sporadycznie dwóch powierzchniach poślizgu. Różnica w liczbie powierzchni poślizgu rozpoznawanych w rdzeniu i dokumentowanych przez pomiary inklinometryczne wynika prawdopodobnie z niejednoznaczności w analizie makroskopowej rdzenia. Powierzchnie poślizgu mogą być przypisywane strefom, gdzie zlustrowania związane są z wzajemnym tarcieniem fragmentów górotworu w całej objętości koluwiów lub strefom zaburzonym tektonicznie, a także zlustrowaniom spowodowanym naciskiem narzędzia wiertniczego (Wódka, 2026).

Słaba korelacja pomiędzy średnią prędkością deformacji oraz przeanalizowanymi parametrami geometrycznymi (powierzchnia osuwiska, głębokość powierzchni poślizgu i średnie nachylenie osuwiska) świadczy, że decydujący wpływ na prędkość osuwiska mają opady deszczu pogarszające warunki stateczności stoków. Opisane w artykule osuwiska wykazywały w okresie prowadzenia monitoringu aktywność z wyraźnie różnymi wartościami przemieszczeń w poszczególnych interwałach pomiarowych. W przypadku osuwiska w Rożnowie-Zagórzcu uchwyciono jego incydentalny charakter reaktywacji w maju 2010 r. W późniejszych latach osuwisko to nie ujawniało aktywności. W większości przypadków wzrost aktywności występował zwykle w okresach długotrwałych, obfitych opadów deszczu, jednak określenie prognozy opadowej i przybliżonego momentu przyspieszenia jest trudne i niejednoznaczne. Często reaktywacja jest efektem kilku następujących po sobie okresów opadowych, których wpływ nie zdąży się rozprószyć i następuje kumulacja niekorzystnych oddziaływań. Potwierdzają to badania osuwiska w Karpatach opisane w publikacjach Zabuskiego i in. (2004), który określił monitorowane przez siebie osuwiska jako „quasi-ciągłe”, a także Warmuza i Nescieruka (2019) oraz Warmuza (2025). W takich osuwiskach ruch odbywa się powoli, sporadycznie zanika, jednak nigdy nie jest gwałtowny. W przypadku tych osuwisk częstsze wykonywanie pomiarów umożliwiłoby lepsze określenie relacji pomiędzy opadami a prędkością przemieszczeń. Ostatnią grupę stanowią osuwiska aktywne ciągle, z porównywalnymi prędkościami przemieszczeń w poszczególnych okresach pomiarowych. Nieustające, powolne przemieszczenia świadczą o tym, że ich stan równowagi nie jest wprost zależny od opadów atmosferycznych, a przyczyny takiego ruchu należy doszukiwać się w budowie geologicznej (litologii, położeniu warstw).

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeprowadzona analiza korelacji Pearsona wykazała brak istotnego statystycznie związku liniowego między przeanalizowanymi parametrami osuwiska. Zdaniem autorów wynika to z faktu, że na rozwój oraz stan aktywności osuwiska wpływa wiele czynników trudnych do złożenia w uniwersalny model geologiczny.

Głębokość przemieszczeń w dużych osuwiskach wynika głównie z miąższości pokryw zwietrzelinowych oraz anizotropii masywu skalnego, a nie z wielkości samego osuwiska. Rozległe osuwiska mają zwykle wieloetapową genezę, co prowadzi do powstawania złożonych, strukturalno-ścięciowych powierzchni poślizgu i tłumaczy słabą korelację między ich głębokością a rozmiarem. Opady deszczu są głównym czynnikiem sterującym prędkością ruchów masowych, przy czym reakcja stoków bywa opóźniona i kumulatywna, co utrudnia wyznaczenie jednoznacznych prognoz opadowych. W Karpatach obserwuje się zarówno

osuwiska incydentalnie reaktywowane, jak i quasi-ciągłe lub stale aktywne, co odzwierciedla różnice w ich budowie geologicznej i wrażliwości na zmiany warunków wodnych.

Zgodnie z klasyfikacją prędkości osuwisk (Cruden, Varnes, 1996) opisane w artykule osuwiska są bardzo powolne i powolne. Jednak w przypadku osuwisk o spodziewanej dużej dynamice – osiągającej kilku centymetrów na miesiąc – warto rozważyć celowość instalowania kolumn inklinometrycznych, ponieważ wiąże się to z dużym nakładem pracy i środków finansowych, a funkcjonowanie tych kolumn będzie stosunkowo krótkie. Pomiary inklinometryczne są uzasadnione na obszarach, gdzie możliwie dokładne rozpoznanie prędkości przemieszczeń oraz głębokości strefy deformacji są istotne na potrzeby projektowania geotechnicznego stabilizacji zbroczy. Planując inwestycje infrastrukturalne na osuwiskach, warto możliwie najwcześniej objąć je monitoringiem instrumentalnym.

Autorzy dziękują kolegom, którzy od wielu lat wytrwale i rzetelnie monitorują osuwiska w ramach projektu SOPO. Zgromadzone dane były podstawą przygotowania tej publikacji. Autorzy pragną podziękować również Recenzentom za wiele cennych wskazówek.

LITERATURA

- BEDNARCZYK Z. 2015 – Metody monitoringu i wczesnego ostrzegania on-line na przykładzie badań geologiczno-inżynierskich w Beskidzie Niższym i Środkim. *Przegląd Geologiczny*, 63 (10/3): 1220–1239.
- BEDNARCZYK Z. 2019 – Zagrożenia osuwiskowe w polskich odkrywkowych kopalniach węgla brunatnego, przykłady przeciwdziałania oraz możliwości zastosowania zdalnego monitoringu w celu ograniczenia ryzyka. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 477: 1–20.
- BOBER L. 1984 – Rejony osuwiskowe w polskich Karpatach fliszowych i ich związek z budową geologiczną regionu. *Biuletyn Instytutu Geologicznego*, 340: 115–158.
- BOBER L., THIEL K., ZABUSKI L. 1997 – Zjawiska osuwiskowe w polskich Karpatach fliszowych. Geologiczno-inżynierskie własności wybranych osuwisk. IBW PAN, Gdańsk.
- CAŁA M., JAKUBCZYK J., CYRAN K. 2016 – Inclinometer monitoring system for stability analysis: the western slope of the Bełchatów field case study. *Studia Geotechnica et Mechanica*, 38 (2): 3–13.
- CRUDEN D.M., VARNES D.J. 1996 – Landslide Types and Processes, Transportation Research Board. U.S. National Academy of Sciences, Special Report, 247: 36–75.
- CZARNECKI L., JOŃCZYK W., ORGANIŚCIAKI B. 2007 – Zagrożenia osuwiskowe w zakładzie górniczym KWB „BEŁCHATÓW”. Prognozowanie, monitoring oraz ograniczenie zagrożeń na przykładzie rejonu XIII-N na zboczu transportowym. *Górnictwo i Geoinżynieria*, 31 (2): 189–202.
- FRANKOWSKI Z., GODLEWSKI T., IRMIŃSKI W., ŁUKASIK S., MAJER E., NAŁĘCZ T., SOKOŁOWSKA M., WOŁKOWICZ W., CHADA K., CHOROMAŃSKI D., GAŁKOWSKI P., JAŚKIEWICZ K., JURYS L., KACZYŃSKI Ł., MADEJ M., MAJER K., PIETRZYKOWSKI P., SAMEL I., WSZĘDYRÓWNY-NAST M. 2012 – Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich dla potrzeb rekultywacji terenów zdegradowanych. Ministerstwo Środowiska, Warszawa; http://geoportal.pgi.gov.pl/css/atlas_y_gi/images/publikacje/zasady_dokumentowania_warunkow_geoinz_Dla_potrzeb_rekultywacji_terenow_zdegradowanych.pdf
- GRABOWSKI D., PRZYBYCIN A., 2010 – Działania resortu środowiska w zakresie systemu osłony przeciwosuwiskowej w Polsce. *Przegląd Geologiczny*, 58 (10): 941–945.
- GOLONKA J., WAŚCIEK Z., SKUPIEŃ P., WAŚKOWSKA-OLIWAA., KROBIĆKI M., CIESZKOWSKI M., ŚLĄCZKA A., SŁOMKA T. 2008 – Litostratygrafia osadów górnej jury i dolnej kredy zachodniej części Karpat zewnętrznych. *Geologia AGH*, 34 (3/1): 9–31.
- KOS J. 2019 – Stateczność stoków osuwiskowych na podstawie pomiarów inklinometrycznych oraz właściwości fizyczno-mechaniczne skał i gruntów na przykładzie osuwisk w Ochojnie i Starym Sączu. *Przegląd Geologiczny*, 67 (5): 377–387.
- KOS J. 2021 – Stateczność stoków osuwiskowych na podstawie właściwości fizyczno-mechanicznych skał i gruntów oraz pomiarów inklinometrycznych. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 478: 15–48; doi: 10.7306/bpig.53

KOS J., WÓJCIK A. 2021 – Dokumentowanie geologiczno-inżynierskie osuwisk na terenie fliszu karpackiego. *Przegląd Geologiczny*, 69 (12): 825–834; doi: 10.7306/2021.44

KSIĄŻKIEWICZ M. 1953 – Karpaty fliszowe między Olzą a Dunajcem. [W:] *Geologia regionalna Polski. Tom 1. Karpaty*, z. 2: Tektonika. PTG, Kraków: 305–362.

MARCINIEC P., LASKOWICZ I., ZIMNAL Z., GRABOWSKI D., RAČZKOWSKI W. 2015 – Problematyka osuwiskowa w działalności służby geologicznej i administracji publicznej. *Przegląd Geologiczny*, 63 (12/1): 1364–1372.

MARGIELEWSKI W. 2001 – O strukturalnych uwarunkowaniach rozwoju głębokich osuwisk - implikacje dla Karpat fliszowych. *Przegląd Geologiczny*, 49 (6): 515–525.

MARGIELEWSKI W. 2009 – Problematyka osuwisk strukturalnych w Karpatach fliszowych w świetle zunifikowanych kryteriów klasyfikacji ruchów masowych. *Przegląd Geologiczny*, 57 (10): 905–917.

NOWAK W. 1973 – Karpaty zewnętrzne (fliszowe). [W:] *Budowa geologiczna Polski (red. S. Sokolowski). Tom 1. Stratygrafia, część 2. Mezozoik*. Wydaw. Geol., Warszawa: 401–408, 464–468.

PERSKI Z. 2019 – Zaawansowane techniki InSAR w monitorowaniu osuwisk. *Przegląd Geologiczny*, 67 (5): 351–359.

PERSKI Z., WOJCIECHOWSKI T. 2022 – Monitoring dynamiki ruchów powierzchni osuwisk w warunkach zmiennego poziomu wód gruntowych z wykorzystaniem reflektorów radarowych. *Przegląd Geologiczny*, 70 (9): 661–670.

PIETRUSZA A., PLETNIA S. 2009 – Problemy utrzymaniowe związane z występowaniem osuwisk na odcinku drogi krajowej nr 7. [W:] *Problematyka osuwisk w budownictwie komunikacyjnym. Zesz. Nauk.-Tech. Stow. Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej oddz. w Krakowie*, 88 (107): 251–286.

RYŁKO W. 2004 – Karpaty. [W:] *Peryt T.M., Piwocki M. (red.) Budowa geologiczna Polski. Tom 1. Stratygrafia, część 3a, Kenozoik. Paleogen i neogen. Państw. Inst. Geol., Warszawa: 271–338.*

SOŁON J., BORZYSZKOWSKI J., BIDLASIK M., RICHLING A., BADORA 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. *Geographia Polonica*, 91 (2): 143–170.

STANISZ J., PILECKI Z. 2018 – Preliminary results of pore pressure profiling on the Tegoborze-Just landslide. *E3S Web of Conferences*, 66: 1–10.

WARMUZ B. 2025 – Assessment of the impact of rainfall on landslide activity in the Polish Carpathians over a decadal period. *Geological Quarterly*, 69, 46; <https://doi.org/10.7306/gq.1819>

WARMUZ B., NESCIERUK P. 2019 – Dynamika przemieszczeń wybranych osuwisk w Karpatach. *Przegląd Geologiczny*, 67 (5): 326–331.

WÓDKA M. 2022 – Conditions of landslide development during the last decade in the Rożnów Dam-Lake region (Southern Poland) based on Airborne Laser Scanning (ALS) data analysis. *Geological Quarterly*, 66 (4): 1–23.

WÓDKA M. 2026 – Planowanie wglębnego rozpoznania osuwisk na podstawie ich szacowanej miąższości. *Przegląd Geologiczny*, 64 (3): 336–342.

WÓJCIK A., KOS J., JURCZAK S. 2017 – Rozpoznanie i próby zabezpieczenia osuwiska w Kurowie (Pogórze Rożnowskie, Karpaty Zewnętrzne). *Przegląd Geologiczny*, 65 (9): 576–585.

WÓJCIK A., JURCZAK S., WNUK M., JANIK K. 2019 – Zagrożenia osuwiskowe na trasie budowy drogi ekspresowej S-7 na odcinku Lubień-Naprawa (Karpaty fliszowe). *Przegląd Geologiczny*, 67 (5): 388–396.

WÓJCIK A., WOJCIECHOWSKI T., WÓDKA M., KACZOROWSKI J., KAMIENIARZ S., SIKORA R., KUŁAK M., KARWACKI K., WARMUZ B., PERSKI Z. 2020 – Rozwój badań osuwisk w Państwowym Instytucie Geologicznym. *Przegląd Geologiczny*, 68 (5): 356–363.

WÓJCIK A., ZIMNAL Z. 1996 – Osuwiska wzdłuż doliny Sanu między Bachórczem a Rieczpolem (Karpaty, Pogórze Karpackie). *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 376: 77–91.

ZABUSKI L. 2013 – Ocena procesów osuwiskowych na podstawie wyników pomiarów inklinometrycznych. *Przegląd Geologiczny*, 61 (4): 248–256.

ZABUSKI L. 2022 – Mechanika procesów osuwiskowych – modelowanie, stateczność, stabilizowanie. Wydaw. Instytut Budownictwa Wodnego PAN, Gdańsk.

ZABUSKI L., PRZEWŁÓCKI J. 2019 – Analiza stateczności i stabilizacji zbocza osuwiskowego na trasie linii kolejowej w Świnnej Porębie. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 3: 136–142.

ZABUSKI L., THIEL K., BOBER L. 1999 – Osuwiska we fliszu Karpat polskich: geologia – modelowanie – obliczenia stateczności. Wydaw. Instytut Budownictwa Wodnego PAN, Gdańsk.

ZABUSKI L., GIL E., BOCHENEK W. 2004 – Interdependence between groundwater level and displacement of the landslide slope. *Polish Geological Institute Special Papers*, 15: 39–42.

ŻYTKO K., ZAJĄC R., GUCIK S., RYŁKO W., OSZCZYPKO N., GARCICA I., NEMCOK J., ELIAS M., MENCIOK E., STRANIK Z., 1989 – Geological Map of the Western Outer Carpathians and their Foreland 1:500 000. CAG PIG-PIB, Warszawa.

Praca wpłynęła do redakcji 31.01.2026 r.
Akceptowano do druku 9.03.2026 r.



Osuwisko w Sieprawiu, 2024 r. Fot. M. Wódka
Landslide in Siepraw, 2024. Photo by M. Wódka