

Osuwiska w Polsce – od rejestracji do prognozy, czyli 13 lat projektu SOPO

Paweł Marciniak¹, Ziemowit Zimnał¹, Tomasz Wojciechowski¹, Zbigniew Perski¹,
Wojciech Rączkowski³, Izabela Laskowicz¹, Piotr Nescieruk¹, Dariusz Grabowski²,
Marcin Kulak², Antoni Wójcik¹

Landslides in Poland: from registration to forecast, 13 years of the LCS project. *Prz. Geol.*, 67: 291–297.

Abstract. The intensification of disastrous landslide movements in southern Poland occurring at the end of the 20th century, showed that there was a need to create a unified system of acquiring and collecting landslide data. It also indicated the importance of raising awareness of the existence of landslide hazard for both residents and public administration (decision-makers). This was also the reason for launching a nationwide project, the Landslide Counteracting System (LCS; SOPO in Polish). This system is a platform for acquiring and processing information about mass movements in order to support mainly for government and local administration. The main goal of the project is to reduce the landslide risk in Poland, and to limit damages caused by the development of landslides.

Keywords: mass movements, landslides, landslide hazard, LCS, landslide monitoring, risk reduction, inventory of landslides, database

Osuwanie jest naturalnym, egzogenicznym procesem geologicznym, w wyniku którego powstają lub uaktywniają się osuwiska. W okresach intensywnych i/lub długotrwałych opadów atmosferycznych proces ten może przybrać charakter klęski żywiołowej. Szczególne nasilenie się katastrofalnych ruchów osuwiskowych miało miejsce w południowej Polsce pod koniec XX w. Zainicjowało to potrzebę kompleksowego i systematycznego pozyskiwania i archiwizowania danych o osuwiskach i zagrożeniach z nich wynikających. Dane te są potrzebne nie tylko naukowcom, ale także władzom samorządowym, inżynierom, projektantom, inwestorom oraz mieszkańcom.

Celem artykułu jest przybliżenie przede wszystkim Systemu Osłony Przeciwośuwiskowej (SOPO), projektu realizowanego od wielu lat przez Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy (PIG-PIB), a będącego odpowiedzią na potrzeby związane z zagrożeniami osuwiskowymi (Mrozek, Grabowski, 2015). Przedstawia on również złożoną i wyboistą drogę, która doprowadziła do obecnego kształtu systemu. W odpowiedzi na rosnące potrzeby, podążając za rozwojem technologii i zdobyczy nauki, jego forma cały czas się zmienia. I o tym też jest ten artykuł, o SOPO jakim chcielibyśmy, by było w przyszłości.

PRAPOCZĄTKI, CZYLI PIERWSZE PRÓBY INWENTARYZACJI OSUWISK W POLSCE

Przyjmuje się, że osuwiska w Polsce są przedmiotem badań od 1907 r., kiedy to Zuber i Blauth (1907) opublikowali pierwsze doniesienie naukowe dotyczące problematyki ruchów masowych, w związku z powstaniem osuwiska w Duszatynie. Od tego czasu powstało wiele publikacji dla wybranych, zwykle niewielkich obszarów albo pojedynczych form osuwiskowych (Rączkowski, 2019). Większość osuwisk występuje w Karpatach i tam przede wszystkim prowadzone były i są badania nad nimi. Na tym obszarze zajmującym jedynie 6% powierzchni Polski, występuje,

jak się szacuje, ponad 95% wszystkich osuwisk w kraju (Poprawa, Rączkowski, 2003; Rączkowski, 2007), a ich całkowita liczba w Polsce prawdopodobnie przekracza 100 tys. (Wójcik, Wojciechowski, 2016).

Badania i inwentaryzacja osuwisk nie są dziedziną nową. Pierwszą usystematyzowaną rejestrację osuwisk przeprowadzono w latach 1968–1970 na zlecenie ówczesnego Komitetu Ekonomicznego Rady Ministrów (Bażyński, Kühn, 1970). Wykonano ją dla całej Polski, ale rozpoznaniem objęto obszary zabudowane i planowane pod zabudowę oraz tereny położone wzdłuż linii komunikacyjnych. Głównym wykonawcą prac rejestracyjnych prowadzonych przez różne instytucje był PIG. Jak podaje Rączkowski (2007) na obszarze Karpat zarejestrowano wtedy ponad 8,5 tys. osuwisk (tab. 1), a niecałe 3 tys. z nich stanowiło zagrożenie dla budynków i infrastruktury komunikacyjnej.

Pod koniec XX w. i na początku XXI w., bazując głównie na dostępnych ówczesnie materiałach publikowanych i archiwalnych, sporządzono zestawienia osuwisk podsumowujące ówczesny stan rozpoznania. Szacowano wówczas, że na terenie Karpat występuje ok. 20 tys. osuwisk (Rączkowski, 2000, 2001), a na pozostałym obszarze Polski niecałe 2,2 tys. osuwisk (Grabowski in., 2008b). Po katastrofalnych opadach atmosferycznych, opierając się na informacjach przekazanych przez jednostki administracji publicznej, dla różnych obszarów tworzone lokalne spisy uaktywnionych osuwisk, które powodowały straty materialne, jak np. w 1997, 2001 i 2010 r. Wszystkie ważniejsze rejestracje zostały zestawione w tabeli 1.

JAK RODZIŁO SIĘ SOPO

Po katastrofie osuwiskowej w 1997 r. oraz kolejnych uaktywnieniach się osuwisk w latach późniejszych skoncentrowano się przede wszystkim na odtworzeniu i naprawie infrastruktury zniszczonej przez osuwiska.

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Centrum Geozagrożeń, ul. Skrzatów 1, 31-560 Kraków; pawel.marciniak@pgi.gov.pl; ziemowit.zimnal@pgi.gov.pl; tomasz.wojciechowski@pgi.gov.pl; zbigniew.perski@pgi.gov.pl; izabela.laskowicz@pgi.gov.pl; piotr.nescieruk@pgi.gov.pl; antoni.wojcik@pgi.gov.pl

² Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Centrum Geozagrożeń, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; dariusz.grabowski@pgi.gov.pl; marcin.kulak@pgi.gov.pl

³ Emerytowany pracownik Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego; wraczkowski1@gmail.com

Tab. 1. Ważniejsze rejestracje i zestawienia osuwisk w Polsce
Table 1. Important landslide inventories in Poland

Rok lub lata <i>Year or years</i>	Liczba zarejestrowanych lub opracowanych osuwisk <i>Number of registered or developed landslides</i>	Opis <i>Description</i>	Źródło danych <i>References</i>
1968–1970	ok. 10 900: <i>about 10 900:</i> ponad 8500 (Karpaty) <i>more than 8500 (Carpathians)</i> ok. 2400 (poza Karpatami) <i>about 2400 (outside of Carpathians)</i>	osuwiska na obszarze Polski; tylko tereny zabudowane, przeznaczone pod zabudowę i położone wzdłuż szlaków komunikacyjnych <i>landslides in Poland;</i> <i>only urbanized areas, intended for development</i> <i>and located along transportation routes</i>	Rączkowski (2007) geoportal.pgi.gov.pl/ SOPO/archiwum
Koniec lat 70. XX w. <i>The end of the 1970s</i>	2139	osuwiska strukturalne w Karpatach; na podstawie dostępnych pod koniec lat 70. XX w. materiałów publikowanych i archiwalnych <i>structural landslides in the Carpathians;</i> <i>based on published and archival materials</i> <i>available at the end of the 1970s</i>	Bober (1984)
1997	491	osuwiska na terenie województwa nowosądeckiego i tarnowskiego, uaktywnione w 1997 r. <i>landslides in Nowy Sącz and Tarnów</i> <i>Voivodeships, activated in 1997</i>	Poprawa i in. (1998); Poprawa, Rączkowski (1999)
2000	ok. 20 000 <i>about 20 000</i>	osuwiska w Karpatach; zestawienie na podstawie dostępnych pod koniec XX w. materiałów publikowanych i archiwalnych <i>landslides in the Carpathians;</i> <i>based on published and archival materials</i> <i>available at the end of the 20th century</i>	Rączkowski (2000, 2001)
2001	320	osuwiska na terenie województwa podkarpackiego uaktywnione w 2000 i 2001 r. <i>landslides in Podkarpackie Voivodeship</i> <i>activated in 2000 and 2001</i>	Dziewański i in. (2001)
2003–2004	697	osuwiska na obszarze Polski (bez Karpat) <i>landslides in Poland (without the Carpathians)</i>	Lemberger (2005)
2003–2005	653	osuwiska na terenie województw: śląskiego, małopolskiego i podkarpackiego; osuwiska niszczące infrastrukturę publiczną, zapropozowane do stabilizacji (zabezpieczenia) przez podmioty publiczne; weryfikacja geologiczna zadań inwestycyjnych (Osłona Przeciwośuwiskowa – komponent A) <i>landslides in the Śląskie (Silesian), Małopolskie</i> <i>(Lesser Poland) and Podkarpackie Voivodeships;</i> <i>landslides that destroyed public infrastructure</i> <i>and proposed for stabilization by public entities;</i> <i>geological verification of investment tasks</i> <i>(Landslide Protection Framework</i> <i>– Component A)</i>	geoportal.pgi.gov.pl/ SOPO/archiwum
2007	2168	osuwiska na obszarze Polski (bez Karpat); zestawienie na podstawie dostępnych mate- riałów publikowanych i archiwalnych <i>landslides in Poland (without the Carpathians);</i> <i>based on available published and archival</i> <i>materials</i>	Grabowski i in. (2008b)
2007	680	osuwiska na terenie gmin: Cieszyn, Gorlice (obszar wiejski), Strzyżów, Władysławowo, Połaniec i Włodawa; rejestracja pilotażowa w ramach projektu SOPO I <i>landslides in municipalities: Cieszyn, Gorlice</i> <i>(rural area), Strzyżów, Władysławowo, Połaniec</i> <i>i Włodawa;</i> <i>pilot inventory as a part of the LCS I project</i>	Grabowski i in. (2008b)
2010–2015	435	osuwiska uaktywnione w 2010 r. (lub później), zgłoszone przez jednostki administracji samorządowej – prace interwencyjne (wykonanie kart dokumentacyjnych osuwisk z opiniami) <i>landslides activated in 2010 (or later), reported</i> <i>by local government units – intervention works</i> <i>(execution of landslide documentation cards</i> <i>with opinions)</i>	Grabowski i in. (2015)

Tab. 1. Ważniejsze rejestracje i zestawienia osuwisk w Polsce (cd.)
Table 1. Important landslide inventories in Poland (cont.)

Rok lub lata <i>Year or years</i>	Liczba zarejestrowanych lub opracowanych osuwisk <i>Number of registered or developed landslides</i>	Opis <i>Description</i>	Źródło danych <i>References</i>
2008–2015	57243	osuwiska w Karpatach (75% obszaru – 198 gmin) i w wybranych powiatach na pozostałym obszarze Polski; dane na zakończenie projektu SOPO II <i>landslides in the Carpathians (75% of the area – 198 municipalities) and in selected districts in the rest of Poland;</i> <i>data at the end of the LCS II project</i>	Grabowski i in. (2015)
→2018	ok. 62 500: <i>about 62 500:</i> ok. 57 800 (Karpaty) <i>about 57 800 (Carpathians)</i> ok. 4700 (poza Karpatami) <i>about 4700 (outside of Carpathians)</i>	rejestracja osuwisk w Polsce w ramach SOPO, stan na 31 grudnia 2018 r. <i>landslide inventory in Poland as part of Landslide Counteracting System, as of December 31, 2018</i>	osuwiska.pgi.gov.pl

Z inicjatywy geologów Oddziału Karpackiego PIG, wspólnie z Kancelarią Prezesa Rady Ministrów (KPRM) 7 września 2000 r. została zorganizowana w Krakowie konferencja pn. „Prognozowanie i przeciwdziałanie skutkom ruchów osuwiskowych”, w której wzięli udział przedstawiciele władz państwowych i samorządowych: Sejmu RP, KPRM, poszczególnych ministerstw, władz wojewódzkich, powiatowych i gminnych. Podczas tego spotkania omówiono przyczyny powstawania i odnawiania ruchów osuwiskowych oraz ich negatywne skutki dla społeczności zamieszkującej teren polskich Karpat, a przede wszystkim przedstawiono propozycję rejestracji tych zjawisk i założenia sieci monitoringu instrumentalnego. Podkreślono także potrzebę stworzenia odpowiednich, kompleksowych regulacji prawnych dotyczących zabezpieczenia i przeciwdziałania zagrożeniom naturalnymi zjawiskami geologicznymi (Poprawa i in., 2000).

Pierwsze zmiany w ustawodawstwie nastąpiły już w roku 2002 (Poprawa, Rączkowski, 2003). Najważniejsze z nich dotyczyły: uznania osuwisk za katastrofę naturalną, wskazania, że ochrona powierzchni ziemi polega także na zapobieganiu ruchom masowym ziemi i ich skutkom, wprowadzenia konieczności uwzględnienia obszarów osuwania się mas ziemnych w studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy oraz w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego. Najważniejsze akty prawne w Polsce uwzględniające problematykę osuwiskową omówili Marciniec i in. (2015).

Ważnym krokiem w kierunku stworzenia SOPO było zawarcie w dn. 3 czerwca 2003 r. między Rzeczpospolitą Polską a Europejskim Bankiem Inwestycyjnym (EBI) umowy kredytowej na współfinansowanie projektu Osłona Przeciwoświsowa (finansowanie likwidacji skutków osuwisk i zapobiegania ich występowaniu) (Olbrzych, 2004). W ramach projektu przewidziano realizację dwóch komponentów: Komponent A dotyczył likwidacji skutków wystąpienia osuwisk (realizacja przez Biuro ds. Usuwania Skutków Klęsk Żywiolowych w KPRM), oraz Komponent B – opracowanie systemu ograniczenia ryzyka wystąpienia osuwisk (realizacja przez Ministerstwo Środowiska). W Komponentie A działania polegały na zabezpieczaniu osuwisk powstałych w wyniku wysokich opadów z lipca

2001 r. i odbudowie infrastruktury zniszczonej i uszkodzonej przez ruchy masowe. Prace były początkowo realizowane przez Biuro ds. Usuwania Skutków Klęsk Żywiolowych w KPRM, a następnie w Ministerstwie Spraw Wewnętrznych i Administracji. W ramach tych prac w latach 2003–2009 opracowywano dokumentację geologiczno-inżynierską i projektową oraz wykonywano właściwe prace zabezpieczające. Rolą Państwowego Instytutu Geologicznego w Komponentie A było identyfikowanie, rozpoznawanie i weryfikowanie zgłaszanych przez administrację publiczną osuwisk oraz opiniowanie w zakresie geologii przygotowywanych dokumentacji.

Wypracowane wówczas rozwiązania są stosowane do dziś. Odbudową infrastruktury zniszczonej ruchami masowymi zajmuje się obecnie Departament Ochrony Ludności i Zarządzania Kryzysowego przy Ministerstwie Spraw Wewnętrznych i Administracji. Osuwiska zgłaszane przez jednostki samorządowe, po uzyskaniu pozytywnej opinii właściwego terytorialnie wojewódzkiego zespołu nadzorującego realizację zadań w zakresie przeciwdziałania ruchom osuwiskowym oraz usuwania ich skutków (WZNRZ), działającego przy wojewodzie, są zabezpieczane. W ramach tej procedury, w charakterze ekspertów, biorąc udział przedstawiciele PIG-PIB, opiniując dokumentację oraz uczestnicząc w pracach ww. zespołów. Warto podkreślić, że działania te nie są elementem SOPO, ale działaniem komplementarnym (Mrozek, Laskowicz, 2014).

W 2005 r. zrezygnowano z finansowania realizacji Komponentu B w ramach kredytu z EBI. Na mocy porozumienia z 25 maja 2006 r. między ministrem środowiska a prezesem Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW) postanowiono zadania te finansować i realizować ze środków funduszu jako odrębne przedsięwzięcie pod nazwą System Osłony Przeciwoświsowej SOPO.

POCZĄTKI PROJEKTU SOPO

System Osłony Przeciwoświsowej SOPO był do tej pory realizowany w trzech etapach.

W latach 2006–2008 zrealizowano wstępny etap projektu SOPO (etap I), w ramach którego wykonano pilotażowe kartowanie osuwisk wraz ze wstępnym wyznaczeniem

obszarów ich występowania w Polsce. Opracowano i wydano *Instrukcję opracowania Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000* (Grabowski i in., 2008a), zaakceptowaną do stosowania przez ministra środowiska, zawierającą jednolitą metodykę prowadzenia terenowych prac kartograficznych w następnych etapach projektu SOPO. Opracowano również projekt bazy danych o zagrożeniach osuwiskowych, a następnie aplikację do jej obsługi. Sporządzono także listę 100 osuwisk, z których w kolejnych etapach miały zostać wytypowane osuwiska do zainstalowania monitoringu instrumentalnego.

W latach 2008–2015 nastąpiła właściwa realizacja projektu SOPO (etap II), w którym główny nacisk położono na prace inwentaryzacyjne i kartograficzne. Wypracowana w I etapie metodyka stała się standardem podejścia do osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w Polsce. Prace inwentaryzacyjne były prowadzone przez geologów z PIG-PIB oraz z 16 innych instytucji naukowych i przedsiębiorstw geologicznych, większość z nich zrealizowano w Karpatach, czyli w najbardziej zagrożonymi ruchami masowymi obszarze Polski. Były one w całości koordynowane przez PIG-PIB. W ramach tego etapu zainstalowano monitoring węglębny i powierzchniowy na 61 osuwiskach, a wypracowany zintegrowany system pomiarów stał się standardem w monitoringu osuwisk.

Wraz z rozwojem technik pomiarowych do badań osuwisk w ramach projektu SOPO sukcesywnie wdrażano najnowsze rozwiązania analityczne. Od 2009 r. zaczęto wykorzystywać lotniczy skaningu laserowy i satelitarną interferometrię radarową, a od 2011 r. także monitoring oparty na naziemnym skaningu laserowym. Metody te pozwalają wykryć objawy przemieszczeń powierzchni terenu z maksymalną możliwą obecnie dokładnością. Zebrane doświadczenia umożliwiły rozpoczęcie pod koniec II etapu Projektu SOPO opracowywania własnej metodologii przetwarzania surowych danych laserowych w celu ich optymalnego wykorzystania w badaniach ruchów masowych, m.in. do wspomagania zadań inwentaryzacyjnych i aktualizacyjnych.

SPRAWDZIAN – KATASTROFA OSUWISKOWA 2010

Ważnym sprawdzianem dla systemu SOPO była katastrofa osuwiskowa, która miała miejsce po długotrwałych i intensywnych opadach deszczu w Karpatach w okresie od kwietnia do połowy czerwca 2010 r. (z kulminacją na przełomie maja i czerwca). Efektem tej katastrofy były wystąpienia na ogromną skalę ruchów osuwiskowych w Polsce. Okazało się wtedy, że zdecydowanie najwięcej zarejestrowanych przypadków była związana z odmłodzeniami form starszych. Wydarzenia te z jednej strony potwierdziły słuszność założeń SOPO (ewidencja obszarów osuwiskowych i wskazanie terenów zagrożonych ruchami masowymi na mapach w skali 1 : 10 000, karty osuwisk oraz monitorowanie tych terenów), natomiast z drugiej strony pozwoliły na dopracowanie metodyki stosowanej w projekcie, poszerzenie zakresu prac i stworzenie całego systemu powiązanych ze sobą zadań.

TERAŹNIEJSZOŚĆ I NAJBLIŻSZA PRZYSZŁOŚĆ

Pod koniec II etapu informacje o rozmieszczeniu przestrzennym osuwisk zostały po raz pierwszy kompleksowo przetworzone statystycznie pod kątem ich uwarunkowań

geologicznych, czego efektem była mapa podatności osuwiskowej Polski (Wojciechowski i in., 2015). Przedstawia ona obszary predysponowane do ruchów masowych, wskazując miejsca potencjalnych, nowych zagrożeń. Mapa została wykorzystana do planowania etapu III, wskazując miejsca do szczegółowego rozpoznania w skali 1 : 10 000. W kolejnych latach, w miarę gromadzenia kolejnych informacji o rozmieszczeniu osuwisk, jest ona aktualizowana (Wojciechowski i in., 2017; Wojciechowski, 2019).

Etap III projektu SOPO jest realizowany od roku 2016. Niektóre jego cele są kontynuacją z etapów wcześniejszych i pozostają niezmienione, jak na przykład: zebranie, opracowanie i udostępnienie danych o ruchach masowych na kolejnych obszarach Polski; aktualizacja i weryfikacja danych już zebranych; założenie monitoringu na nowych osuwiskach; kontynuacja pomiarów monitoringowych czy też interweniowanie w sytuacjach kryzysowych. Zupełnie nowym elementem SOPO jest system prognozowania zagrożeń osuwiskowych, realizowany na podstawie stale aktualizowanej mapy podatności osuwiskowej Karpat oraz obliczonych progów opadowych, określonych na bazie zdarzeń katastrofalnych i monitoringu.

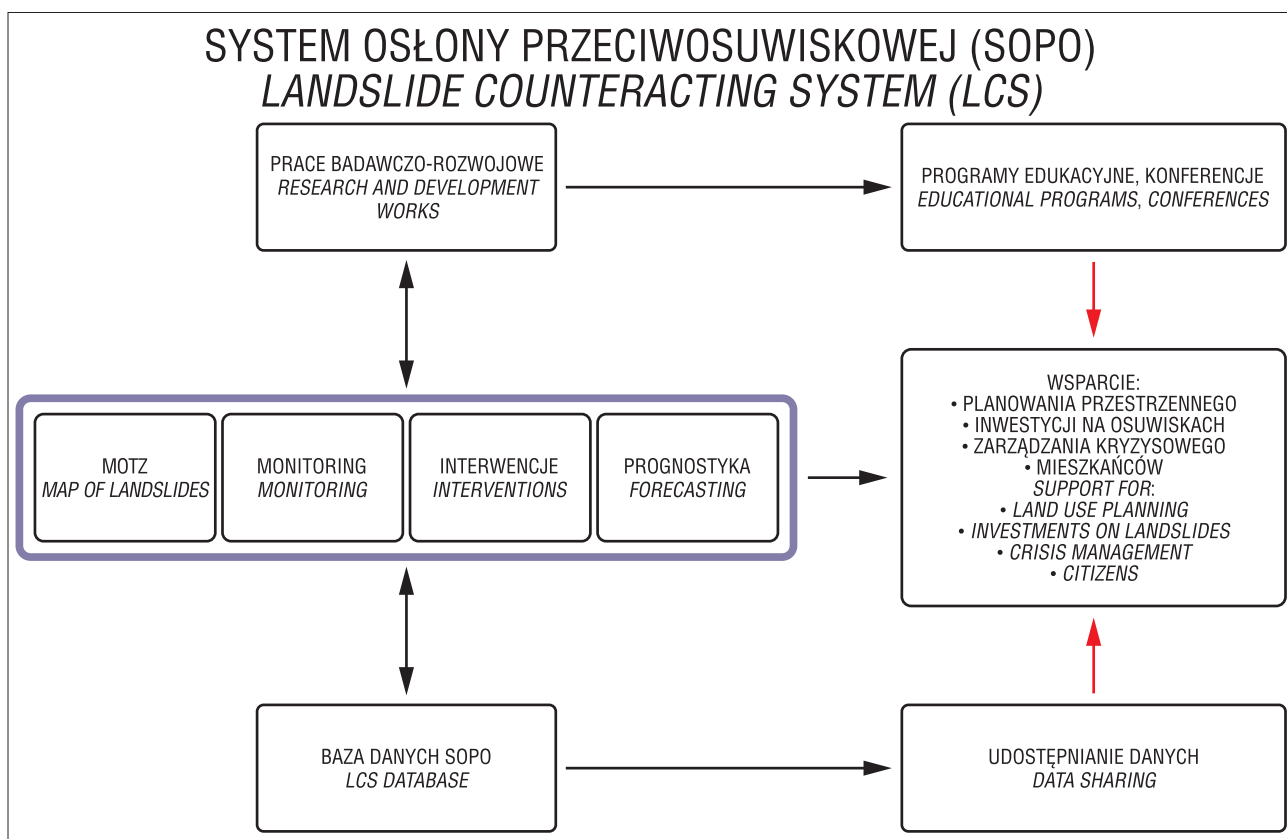
Projekt SOPO składa się z wielu elementów (ryc. 1). Poniżej są one pokrótce opisane, a bardziej szczegółowe informacje o każdym z nich można znaleźć w cytowanej literaturze oraz w niniejszym tomie.

Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi

Jest to podstawowy element kartograficzny, będący jednocześnie przestrzennym komponentem bazy danych SOPO. Mapa jest wykonywana dla poszczególnych jednostek administracyjnych (gmina, powiat) i obejmuje cały ich obszar. Powstaje na podstawie terenowych prac kartograficznych i jest sporządzana na podkładach topograficznych w skali 1 : 10 000 w układzie współrzędnych płaskich prostokątnych PL-1992. Wiedza na temat historii ruchów masowych jest uzupełniana materiałami archiwalnymi. Zgodnie z harmonogramem projektu SOPO inwentaryzacja jest wykonywana w pierwszej kolejności na obszarach, na których zagrożenie osuwiskowe jest największe, czyli w Karpatach. W następnej kolejności prace te są realizowane na terenach o mniejszym zagrożeniu (doliny dużych rzek, wybrzeża klifowe nad Morzem Bałtyckim, Sudety i Góry Świętokrzyskie, obszary występowania pokryw lessowych, obszary młodoglacjalne). Docelowo inwentaryzacja ma być objęty cały obszar Polski.

Podstawowym zadaniem, do którego są wykorzystywane mapy osuwisk, jest planowanie przestrzenne zarówno na etapie studium uwarunkowań przestrzennych, jak i miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego (przy ich sporządzaniu i aktualizacji). Częścią zadań związanych z *Mapą osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi* (MOTZ) jest również weryfikowanie istniejących rejestrów prowadzonych przez starostów.

Do końca 2018 r. inwentaryzacja objęła ponad 82% obszaru Karpat i kilkanaście powiatów pozakarpaccich. Dotychczas zgromadzono dane o ponad 63 tys. osuwisk, z czego prawie 60 tys. w Karpatach, gdzie zajmują one ponad 9% powierzchni. Wśród nich osuwiska „istotne”, tzn. mające na swym obszarze elementy infrastruktury (zabudowa, drogi, linie przesyłowe), stanowią ok. 13% wszystkich zarejestrowanych. Znajduje się na nich ponad 30 tys. budynków mieszkalnych, ok. 23 tys. gospodarstw rolnych,



Ryc. 1. Schemat przepływu informacji w ramach Systemu Osłony Przeciwosuwiskowej
Fig. 1. Flow scheme of information within the Landslide Counteracting System

ponad 9 tys. odcinków różnych dróg oraz kilkaset budynków użyteczności publicznej, sakralnych i zabytkowych. Przytoczone liczby pokazują skalę problemu i zagrożeń, jakie niosą za sobą ruchy masowe.

Monitoring osuwisk

W ramach projektu SOPO, począwszy od 2009 r. w polskich Karpatach i na terenie zapadliska przedkarpackiego, na 67 osuwiskach o zróżnicowanym stopniu aktywności założono instrumentalny system obserwacji okresowych. W związku ze stwierdzeniem braku aktywności oraz zrealizowaniu prac stabilizacyjnych na 7 osuwiskach, monitoring instrumentalny jest prowadzony na 60 obiektach. Obserwacje skupiają się na trzech aspektach: monitoringu powierzchniowym (pomiaru GNSS, interferometryczne i skaning laserowy), monitoringu hydrogeologicznym i hydrometeorologicznym (pomiaru poziomu zwierciadła wody i wysokości opadów) oraz monitoringu wgłębnym (pomiaru inklinometryczne).

Ponadto, na osuwisku w Międzybrodziu Bialskim – Łaskach zrealizowano budowę i kalibrację systemu monitoringu w czasie rzeczywistym (online). System obejmuje kilka komponentów: automatyczny pomiar meteorologiczny (stacja meteo) i hydrogeologiczny (piezometry), monitoring powierzchniowy obsługiwany przez stacje referencyjne GNSS oraz monitoring wgłębny – przez zestawy czujników ekstensometrycznych i czujników ciśnienia porowego. Badania ciągłe uzupełniają pomiary okresowe z wykorzystaniem inklinometru, TDR, skanera laserowego, tachimetru oraz klasycznych metod geodezyj-

nych. Pełne uruchomienie systemu online jest przewidziane w połowie 2019 r.

Wyniki pomiarów monitoringowych pozwalają na stwierdzenie dynamiki osuwiska oraz określenie rzeczywistej głębokości i wielkości przemieszczeń. Zastosowane metody cechują bardzo dużą precyzją rejestracji zmian, z dokładnością dochodzącą do 1 mm. Analizie są poddawane również zmiany poziomu wód gruntowych w koluwiach, w odniesieniu do obserwacji wielkości opadów atmosferycznych. Pozwala to na określenie tzw. czasu reakcji poziomu wód gruntowych na impulsy opadowe. Więcej szczegółów na temat monitorowania osuwisk przedstawiono w artykułach zamieszczonych w niniejszym tomie *Przeglądu Geologicznego*: Perski (2019), Perski i in. (2019), Warmuz, Nescieruk (2019). Należy podkreślić, że w ramach prac prowadzonych w projekcie SOPO sprawdzany jest zakres możliwości innych metod pomiarowych, które być może będą do niego wdrażane. Weryfikowane są m.in. pomiary fotogrametryczne z pułapu drona (Karwacki, 2019) oraz powtarzalne pomiary lotnicze (Perski i in., 2019).

Prace interwencyjne

W związku z katastrofą osuwiskową 2010 r., w odpowiedzi na ogromne zapotrzebowanie ze strony władz samorządowych, przeprowadzono wówczas, oprócz bieżących prac wynikających z harmonogramu projektu SOPO, dodatkowe interwencyjne prace kartograficzne na aktywnych osuwiskowo obszarach Karpat, sfinansowane bezpośrednio ze środków Ministerstwa Środowiska (Grabowski, Przybycin, 2010). Dla osuwisk niszczących infrastrukturę

publiczną, zabudowę mieszkalną oraz stanowiących duże zagrożenie dla zdrowia i życia mieszkańców sporządzano karty dokumentacyjne osuwisk (KDO), rozszerzone o szczegółową opinię geologiczną, dotyczącą prawdopodobieństwa wystąpienia dalszych ruchów osuwiskowych oraz możliwości zabezpieczenia osuwiska (Marciniak, Zimnal, 2015). Karta dokumentacyjna osuwiska umożliwia rozpoczęcie procedury pozyskania środków na udokumentowanie i zabezpieczenie osuwiska przez użytkowników publicznych lub ubieganie się o pomoc finansową dla osób poszkodowanych w wyniku utraty domostw. Taki interwencyjny tryb bardzo dobrze się sprawdził, dlatego utrzymano go dla osuwisk przejawiających aktywność i powodujących powstawanie zniszczeń lub uszkodzeń infrastruktury publicznej. Na bieżąco jest wykonywanych ponad 20 interwencyjnych KDO rocznie w różnych częściach kraju.

Prognoza osuwiskowa

Dane i doświadczenie, jakie udało się do tej pory uzyskać w ramach projektu SOPO, umożliwiły podjęcie prac nad stworzeniem systemu prognozowania ruchów masowych. Osuwiska powstają w miejscach o określonych warunkach środowiskowych, a ustalenie ich współzależności i statystycznego podobieństwa warunków może definiować podatność osuwiskową (Wojciechowski, 2019). Miejsca podatne na występowanie ruchów masowych poddane czynnikom zewnętrznym, mogą zostać uaktywnione. W Polsce dominującym czynnikiem sprawczym uruchamiającym osuwiska są opady atmosferyczne, dlatego też w ramach SOPO, oprócz obliczenia wspomnianej wcześniej podatności osuwiskowej dla Karpat, badany jest wpływ opadów atmosferycznych na aktywowanie ruchów masowych. W kooperacji z IMGW są prowadzone prace badawcze ukierunkowane na określenie progów opadowych, które powodują aktywowanie różnego typu ruchów masowych. Gromadzenie historycznych danych na temat aktywności osuwisk stanowi podstawę do zbudowania modelu prognostycznego, opartego na mapie podatności osuwiskowej, progach opadowych oraz na prognozach meteorologicznych. Końcowym efektem tych prac będzie serwis informacyjny alarmujący sztaby kryzysowe oraz samorządy o możliwych zagrożeniach osuwiskowych.

Baza danych Projektu SOPO

Informacje pozyskiwane w ramach projektu SOPO zasilają bazę danych, która jest jednolitym, największym w Polsce zbiorem danych osuwiskowych. Została ona utworzona w ramach II etapu projektu. Są w niej zgromadzone dane zebrane w terenie podczas wykonywania MOTZ i prac interwencyjnych oraz pochodzące z monitoringu. Zasilają ją również informacje pozyskane w ramach prac niezwiązanych z projektem, jak np. mapy osuwisk i terenów zagrożonych wykonane na zlecenie jednostek samorządowych. Muszą one jednak spełniać standardy określone w *Instrukcji...* (Grabowski i in., 2008a), a przed wprowadzeniem do bazy zostać pozytywnie zweryfikowane przez zespół koordynacyjny projektu SOPO.

W bazie są gromadzone dane przestrzenne, atrybutowe oraz pliki tekstowe. Dane przestrzenne obejmują zasięgi osuwisk, elementy ich rzeźby wewnętrznej, zasięgi tere-

nów zagrożonych. Dane atrybutowe stanowią informacje zawarte w kartach rejestracyjnych osuwisk i terenów zagrożonych. Uzupełnieniem powyższych informacji są teksty objaśnień do map oraz dokumenty dotyczące osuwisk monitorowanych w projekcie SOPO – dokumentacje geologiczno-inżynierskie oraz coroczne raporty z monitoringu. Bazę SOPO tworzy obecnie łącznie prawie 2,5 mln rekordów zawierających informacje o ponad 63 tys. osuwisk i 5 tys. terenów zagrożonych.

Dane są udostępniane w aplikacji na stronach PIG-PIB (osuwiska.pgi.gov.pl). Dane przestrzenne oraz pliki tekstowe są ogólnodostępne, a pracownicy administracji rządowej oraz samorządowej, którzy są jedną z głównych grup odbiorców całego projektu, mają także dostęp do danych atrybutowych. Dane osuwiskowe są wykorzystywane przez władze publiczne różnych szczebli na potrzeby zadań związanych z planowaniem przestrzennym, lokalizowaniem nowych inwestycji oraz bezpieczeństwem publicznym.

Dzięki udostępnieniu tych produktów przez przeglądarkę internetową oraz przekazywaniu MOTZ w formie analogowej do gmin i starostw, starostowie mogą tymi danymi uzupełniać i aktualizować prowadzone przez siebie rejestry terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi oraz terenów, na których występują te ruchy. Należy jednak zwrócić uwagę, że dane zawarte w bazie danych SOPO są aktualne na dzień utworzenia informacji, dlatego też powinny być w razie potrzeby aktualizowane.

Programy edukacyjne

W 2015 r. podczas I Ogólnopolskiej Konferencji „O!suwisko” w Wieliczce stwierdzono potrzebę rozszerzenia współpracy państwowej służby geologicznej i administracji publicznej w zakresie informowania oraz podnoszenia świadomości społecznej o zagrożeniach związanych z ruchami masowymi. Jedną z form współpracy realizowanej w ramach III etapu SOPO jest organizowanie przez PIG-PIB szkoleń dla administracji samorządowej, w których mogą uczestniczyć osoby mające styczność z ruchami masowymi i ich skutkami w ramach wypełniania swoich obowiązków. Ponadto, na bazie zdobytych w ramach projektu SOPO doświadczeń, są prowadzone bieżące konsultacje dla pracowników administracji oraz mieszkańców obszarów szczególnie zagrożonych ruchami masowymi, a także przeprowadzane są wykłady i prelekcje dla studentów.

PLANY NA PRZYSZŁOŚĆ

13 lat realizacji projektu SOPO pozwala stwierdzić, że jego wstępne założenia się sprawdziły, a efekty prac są podstawowym źródłem wiedzy o skali i zasięgu ruchów masowych w Polsce. Baza danych SOPO oraz MOTZ stanowią ważne narzędzie w pracy samorządowców, przede wszystkim w zakresie planowania przestrzennego, prowadzenia inwestycji oraz zabezpieczania osuwisk. Cały czas udoskonalana metodyka i wykorzystywanie coraz nowszych danych (np. z lotniczego skaningu laserowego) sprawiają, że dane o osuwiskach są coraz dokładniejsze, bardziej wiarygodne i szybciej dostępne, a baza danych jest stale aktualizowana. Ważną częścią prac jest weryfikacja najstarszych, tj. najwcześniejszych wykonywanych map, ponieważ wiele osuwisk zmieniło swoje zasięgi po katastrofie

z 2010 r. Stale rozbudowywany system monitoringu również potwierdził swoją przydatność. Obserwacje monitoringowe, sięgające już 10 lat systematycznie prowadzonych pomiarów, stanowią bezcenne źródło danych dla najważniejszego i kluczowego elementu systemu jakim są prognozy osuwiskowe. Nadrzędnym bowiem celem jest zmniejszenie zagrożenia osuwiskowego, a co za tym idzie ograniczenie ryzyka osuwiskowego poprzez ochronę ludności i infrastruktury, co jest realizowane w komponencie prognostycznym.

Projekt SOPO ze względu na zasięg i zakres prac realizuje zadania państwa w kwestii ograniczania strat wynikających z ruchów masowych ziemi. Po zakończeniu inwentaryzacji obszaru całego kraju, oprócz interwencji i niezbędnych aktualizacji, kluczowym elementem SOPO stanie się prognoza osuwiskowa, z której będą korzystać samorządy i jednostki zarządzania kryzysowego kraju. Dalsze prace nad rozwojem prognostyki osuwiskowej będą zatem podstawowym elementem kolejnych etapów realizacji SOPO. W przyszłości ważnym jego uzupełnieniem może stać się mapa deformacji powierzchni terenu Polski, która ma być tworzona w ramach projektu InMoTeP (Interferometryczny Monitoring Powierzchni Terenu Polski), którego realizację rozpoczęto w 2018 r. (Perski i in., 2019).

Autorzy składają podziękowania dr. Witoldowi Bochenkowi za poświęcony czas oraz cenne uwagi w recenzji, które pozwoliły udoskonalić treść i formę artykułu.

LITERATURA

- BAŻYŃSKI J., KÜHN A. 1970 – Rejestracja osuwisk w Polsce. *Prz. Geol.*, 18: 142–145.
- BOBER L. 1984 – Rejony osuwiskowe w polskich Karpatach fliszowych i ich związek z budową geologiczną regionu. *Biul. Inst. Geol.*, 340: 115–162.
- DZIEWAŃSKI J., CZAJKA K., HELIASZ Z., BAK Z., KALETA R., LASKOWICZ I., SKOCZEK A., ŻÓŁTEK J. 2001 – Analiza zjawisk osuwiskowych na terenie województwa podkarpackiego. IGSMiE PAN Kraków. Arch. Urz. Marszałk. Woj. Podkarpackiego, Rzeszów. geoportal.pgi.gov.pl/SOPO/archiwum
- GRABOWSKI D., MARCINIEC P., MROZEK T., NESCIERUK P., RĄCZKOWSKI W., WÓJCIK A., ZIMNAL Z. 2008a – Instrukcja opracowania Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa, s. 92.
- GRABOWSKI D., NESCIERUK P., WOJCIECHOWSKI T., KUŁAK M., MROZEK T., WÓJCIK A. 2015 – System Osłony Przeciwośuwiskowej SOPO etap II: Kartowanie i wykonywanie map osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi dla obszaru Karpat polskich (75% powierzchni) oraz monitorowanie wybranych osuwisk w Karpatach. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa.
- GRABOWSKI D., PRZYBYCIN A. 2010 – Działania resortu środowiska w zakresie systemu osłony przeciwośuwiskowej w Polsce. *Prz. Geol.*, 58: 941–945.
- GRABOWSKI D., WÓJCIK A., NESCIERUK P., RĄCZKOWSKI W., MARCINIEC P., MROZEK T., ZIMNAL Z. 2008b – Dokumentacja końcowa opracowania „System Osłony Przeciwośuwiskowej SOPO” Etap I: Kartowanie pilotażowe osuwisk wraz z wytypowaniem obszarów ich występowania w Polsce. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa.
- KARWACKI K. 2019 – Zastosowanie bezzałogowego statku latającego (UAV) w monitoringu powierzchniowym ruchów masowych na przykładzie osuwiska w Kasince Małej (Beskid Wyspowy, Zewnętrzne Karpaty Zachodnie). *Prz. Geol.*, 67 (5): 339–350.
- LEMBERGER M. (red.) 2005 – Rejestracja i inwentaryzacja naturalnych zagrożeń geologicznych (ze szczególnym uwzględnieniem osuwisk oraz innych zjawisk geodynamicznych) na terenie całego kraju. Sprawozdanie końcowe. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa.
- MARCINIEC P., LASKOWICZ I., ZIMNAL Z., GRABOWSKI D., RĄCZKOWSKI W. 2015 – Problematyka osuwiskowa w działalności służby geologicznej i administracji publicznej. *Prz. Geol.*, 63: 1364–1372.
- MARCINIEC P., ZIMNAL Z. 2015 – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi (MOTZ) i karty rejestracyjne osuwisk (KRO) jako źródło informacji osuwiskowej. [W:] Ogólnopolska Konferencja O!SUWISKO, 19–22 maja 2015, Wieliczka: 47–48.
- MROZEK T., GRABOWSKI D. 2015 – Projekt SOPO – element strategii redukcji ryzyka osuwiskowego w Polsce. [W:] Ogólnopolska Konferencja O!SUWISKO, 19–22 maja 2015, Wieliczka: 53–55.
- MROZEK T., LASKOWICZ I. 2014 – Landslide risk reduction in Poland – from landslide inventory to improved mitigation and landuse practice in endangered areas. [W:] Sassa K., Canuti P., Yin Y (red.), *Landslide Science for a Safer Geoenvironment*, Vol. 2, Methods of Landslide Studies. Springer: 765–771.
- OLBRYCH M. 2004 – Landslide damage recovery: creation of the landslide management system. *Pol. Geol. Inst. Spec. Pap.*, 15: 9–12
- PERSKI Z. 2019 – Zaawansowane techniki InSAR w monitorowaniu osuwisk. *Prz. Geol.*, 67 (5): 351–359. osuwiska.pgi.gov.pl
- PERSKI Z., NESCIERUK P., WOJCIECHOWSKI T. 2019 – Zagrożenia osuwiskowe dla sztucznych zbiorników wodnych w Karpatach. *Prz. Geol.*, 67 (5): 332–338.
- POPRAWA D., GODEK R., GUTOWSKI J., OLBRYCH M., MYSZKA R., ROLEK M., RĄCZKOWSKI W., FRANKOWSKI Z. 2000 – Komunikat końcowy z konferencji „Prognozowanie i Przeciwdziałanie skutkom ruchów osuwiskowych”. PIG-PIB, Oddz. Kraków, 7 września 2000 r.: 42–45.
- POPRAWA D., RĄCZKOWSKI W. 1999 – Osuwiska i inne zjawiska geodynamiczne na obszarze środkowej części Karpat. [W:] Grela J., Słota H., Zieliński J. (red.), *Dorzecze Wisły – monografia powodzi – lipiec 1997*. IMGW, Warszawa: 159–163.
- POPRAWA D., RĄCZKOWSKI W. 2003 – Osuwiska Karpat. *Prz. Geol.*, 51: 685–692.
- POPRAWA D., RĄCZKOWSKI W., DZIEPAK P., KOPCIEWSKI R., MROZEK T., NESCIERUK P., ZIMNAL Z. 1998 – Geologiczne skutki powodzi 1997 na przykładzie osuwisk województwa nowosądeckiego. [W:] Starkel L., Grela J., *Powódź w dorzeczu górnej Wisły w lipcu 1997 roku*. Konferencja naukowa Kraków, 7–9 maja 1998 r., PAN Kraków: 119–131.
- RĄCZKOWSKI W. 2000 – Mapa osuwisk polskich Karpat fliszowych w skali 1 : 400 000. [W:] *Opracowanie systemu georóżnorodności w Polsce*. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa.
- RĄCZKOWSKI W. 2001 – Osuwiska polskich Karpat fliszowych. [W:] *Przewodnik LXXII Zjazdu PTG*, 12–15 września 2001 r., Kraków: 259–262.
- RĄCZKOWSKI W. 2007 – Landslide hazard in the Polish Flysch Carpathians. *Stud. Geomorph. Carpatho-Balcan.*, 41: 61–76.
- RĄCZKOWSKI W. 2019 – Historia badań osuwisk w Polsce. *Prz. Geol.*, 67 (5) : 288–290.
- WARMUZ B., NESCIERUK P. 2019 – Dynamika przemieszczeń wybranych osuwisk w Karpatach. *Prz. Geol.*, 67 (5): 326–331.
- WOJCIECHOWSKI T., MROZEK T., LASKOWICZ I., KUŁAK M. 2015 – Podatność osuwiskowa Polski. Poster. Ogólnopolska Konferencja O!suwisko 19–22 maja 2015, Wieliczka: 119–120.
- WOJCIECHOWSKI T., KAMIENIARZ S., MICHALSKI A., WÓJCIK A., KUŁAK M., 2017 – Podatność osuwiskowa Polski – stan na 2017 rok. 6. Ogólnopolskie Sympozjum Współczesne problemy geologii inżynierskiej w Polsce, 17–20.10.2017. Rzeszów. Książka abstraktów: 77.
- WOJCIECHOWSKI T. 2019 – Podatność osuwiskowa Polski. *Prz. Geol.*, 67 (5): 320–325.
- WÓJCIK A., WOJCIECHOWSKI T. 2016 – Osuwiska jako jeden z ważniejszych elementów zagrożeń geologicznych w Polsce. *Prz. Geol.*, 64: 701–709.
- ZUBER R., BLAETH J. 1907 – Katastrofa w Duszatynie. *Czasopismo Techniczne*, 25: 218–221.