

Osuwiska jako jeden z ważniejszych elementów zagrożeń geologicznych w Polsce

Antoni Wójcik¹, Tomasz Wojciechowski¹



A. Wójcik



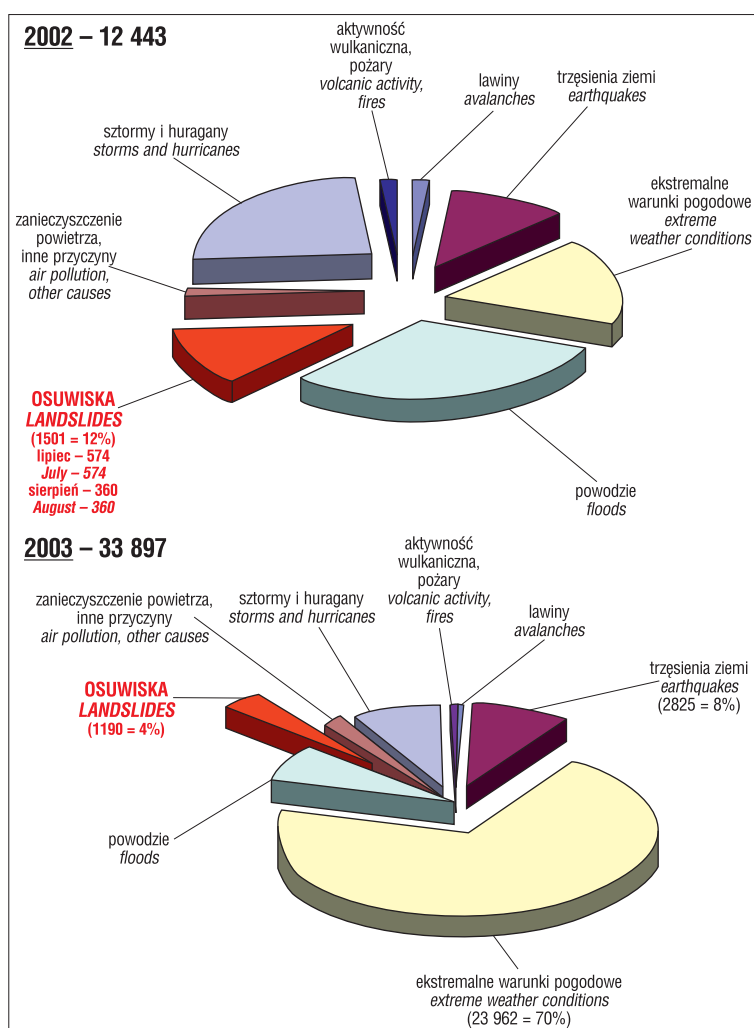
T. Wojciechowski

Landslides as one of the most important elements of geological hazards in Poland.
Prz. Geol., 64: 701–709.

Abstract. Geohazards are defined as extreme events which occur in the lithosphere, atmosphere and hydrosphere. In Poland, landslides and earthquakes are the most dangerous for human activities. Currently, the number of recognized landslides is estimated at about 58,000. The largest damages of buildings and other infrastructures are registered in the years of 2000–2001 and 2010, which were caused by a high amount of rainfall in the spring–summer period. In an attempt to prevent localization of new facilities on danger zones, cataloguing of landslides has been made. Moreover, perilous objects are monitored with different methods. Another threat is earthquakes, observed in southern Poland, along the Teisseyre-Tronquist Zone, which cause damage of buildings. Apart from earthquakes of tectonic origin, equally hazardous are movements that cause deformation of the earth's surface, triggered by mining exploitation.

Keywords: natural hazards, mass movements, landslides, earthquake

Geozagrożenia są definiowane jako procesy geodynamiczne, często ekstremalne, zachodzące w litosferze, atmosferze i hydrosferze, powodujące obniżenie bezpieczeństwa. Skoncentrowane w czasie i przestrzeni prowadzą do strat materialnych, a także ofiar śmiertelnych ludności. Negatywne skutki zagrożeń geologicznych bywają określane katastrofami przyrodniczymi (Graniczny & Mizerski, 2007) lub naturalnymi. W literaturze znajdują się różne podziały i klasyfikacje geozagrożeń (Palmer, 2003; Graniczny & Mizerski, 2007). Wśród nich można wydzielić katastrofy powodowane czynnikami egzo- i endogenicznymi oraz powiązać je ze zjawiskami ekstremalnymi takimi jak: trzęsienia ziemi, erupcje wulkaniczne, huragany, powodzie i powierzchniowe ruchy masowe. Są one przyczyną wielu tragedii na świecie. W okresie między 1947 a 1967 r. wskutek procesów geodynamicznych zginęło na Ziemi ok. 450–500 tys. ludzi. W ostatnich 20 latach (1995–2015) liczba katastrof wg danych ONZ wzrosła. W tym czasie życie straciło 606 tys. osób. Rozłożenie tych katastrof nie jest równomierne w czasie. Porównując liczby ofiar śmiertelnych z lat 2002 i 2003 (ryc. 1), widoczna już duża dysproporcja. Wyraźny jest również różny udział poszczególnych zagrożeń w śmiertelności. Osuwiska w 2002 r. przyczyniły się do 1501 stwierdzonych zgonów, natomiast rok później liczba ta zmalała do 1190, co stanowi 4% wszystkich ofiar śmiertelnych wywołanych przez geozagrożenia (ryc. 1). Najwięcej ofiar na świecie pochłaniają katastrofy związane ze zjawiskami w hydrosferze i atmosferze, a w litosferze dominują trzęsienia ziemi (tab. 1), które są też przyczyną uruchamiania się ruchów masowych.



Ryc. 1. Liczba przypadków śmiertelnych wywołanych przez zdarzenia katastrofalne w 2002 i 2003 r.

Fig. 1. The number of deaths caused by catastrophic events in 2002 and 2003

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, ul. Skrzatów 1, 31-560 Kraków; antoni.wojcik@pgi.gov.pl, tomasz.wojciechowski@pgi.gov.pl.

Tab. 1. Liczba przypadków śmiertelnych wywołanych przez wybrane osuwiska**Table 1.** Number of deaths caused by the selected landslides

| Rok Year | Lokalizacja Location | Liczba ofiar Casualties |
|-------------|----------------------------|----------------------------|
| 1596 | Hofgastein (Austria) | 147 |
| 1669 | Salzburg (Austria) | 250 |
| 1736 | Jazowsko (Polska) | 3 |
| 1806 | Goldau (Szwajcaria) | 457 |
| 1883 | Verdalen (Norwegia) | 112 |
| 1963 | Vaiont Dam (Alpy Włoskie) | 2500 |
| 1985 | Stave (Włochy) | 269 |
| 1997 | Kamionka (Karpaty, Polska) | 1 |
| 2011 | Piaseczno (Polska) | 1 |
| 2014 | Gwatemala | 150 |
| 2014 | Jawa | 108 |
| 2015 | Gwatemala | 266 |
| 2016 | Chiny | 35 |

Geozagrożenia są stwierdzane również w Polsce. Celem niniejszej publikacji jest przybliżenie skali zagrożeń geologicznych w naszym kraju oraz wskazanie przyczyn ich powstawania.

GEOZAGROŻENIA W POLSCE – OSUWISKA

Polska jest krajem, którego nie dotykały wielkie katastrofy pochłaniające jednorazowo setki czy tysiące ofiar. Najczęściej występującymi geozagrożeniami związanymi z litosferą są grawitacyjne przemieszczania mas skalnych i gruntów (m.in. osuwiska), wstrząsy sejsmiczne, obniżanie oraz podnoszenie powierzchni terenu związane z czynnikami naturalnymi i eksploatacją surowców, a także erozja i abrazja. Ważnym problemem jest uwzględnianie tej problematyki w planowaniu przestrzennym oraz w zadaniach administracji rządowej i samorządowej w zakresie przeciwdziałania negatywnym skutkom wystąpień geozagrożeń.

Osuwiska mają często przebieg katastrofalny (ryc. 2), są też bezpośrednią przyczyną śmierci (tab. 1). W Polsce rejonem najbardziej predysponowanym do powstawania tego typu zjawisk są Karpaty, czemu sprzyja charakter rzeźby terenu i budowa geologiczna (naprzemianległe występowanie piaskowców i łupków oraz zaburzenia tektoniczne). Pierwsza rejestracja osuwisk w Polsce, przeprowadzona przez Państwowy Instytut Geologiczny pod koniec lat 60. XX w., wykazała istnienie ponad 3000 osuwisk zagrażających zabudowie mieszkalnej i infrastrukturze komunikacyjnej (Bażyński & Kühn, 1970; Michalik, 1970). Kolejna rejestracja, przeprowadzona jedynie na obszarze środkowej części Karpat w 1997 r., wykazała ponad 500 przypadków zagrożeń obiektów budowlanych. W 2000 r. zidentyfikowano ok. 2500 obiektów zagrożonych ruchami masowymi, a w 2001 r. liczba ta wzrosła o 200. Do 2000 r. szacowano liczbę osuwisk na ok. 20 000 (Rączkowski, 2001; Poprawa & Rączkowski, 2003). W trwającym od 2006 r. Systemie Osłony Przeciw Osuwiskowej (SOPO) szczegółowo zin-

wentaryzowano już blisko 58 000 osuwisk, a ich ostateczna liczba może przekraczać nawet 100 000.

Poza obszarem Karpat ruchy masowe występują głównie na zboczach większych dolin rzecznych (przede wszystkim doliny Wisły), wzdłuż klifowego wybrzeża Bałtyku oraz w obszarach pokrytych mięszymi pokrywami lessów. Wprowadzanie nowych metod badawczych pozwoliło na stwierdzenie wielokrotnie większej liczby osuwisk w Sudetach niż dotychczas przyjmowano (Migoń & Kasprzak, 2011; Migoń i in., 2014; Sikora i in., 2016).

Na podstawie danych SOPO oraz wybranych kryteriów geologicznych i morfometrycznych, wykonano mapę podatności osuwiskowej Polski (Wojciechowski i in., 2015a), z której wynika, że blisko 20% terenu Polski można uznać za podatne na osuwiska (ryc. 3). Tereny o bardzo dużej podatności znajdują się w Karpatach. Dużą podatnością osuwiskową charakteryzują się Wyżyny Śląska, Krakowska, Małopolska i Lubelska, a także niektóre tereny Sudetów (m.in. Góry Bardzkie i Góry Kamienne) oraz strefy skarp dolin rzecznych. Mapa na rycinie 3 przestrzennie obrazuje strefy ewentualnego zagrożenia i stanowi podstawę do oceny potencjalnego ryzyka związanego z ruchami masowymi, zwłaszcza dla terenów, gdzie występuje zabudowa i infrastruktura.

Obecnie obszar Polski jest objęty SOPO. Projekt ten jest nowoczesnym systemem wsparcia dla administracji rządowej, samorządowej i dla społeczeństwa, którego podstawowym elementem jest szczegółowa inwentaryzacja ruchów masowych w skali 1 : 10 000, zgodnie z instrukcją (Grabowski i in., 2008). Istotnym zadaniem jest również prowadzenie monitoringu instrumentalnego oraz prac rozwojowo-badawczych związanych ze sposobami zabezpieczeń i procedurami postępowania przy różnych osuwiskach. Prace terenowe są wspierane danymi pozyskanymi z pułapu naziemnego, lotniczego i satelitarnego. Szczególnie przydatne w ostatnim czasie są dane uzyskiwane za pomocą zarówno lotniczego (Borkowski i in., 2011; Wojciechowski i in., 2012, 2015b), jak i naziemnego skaningu laserowego (Perski i in. 2014).

W dotychczasowych pracach stwierdzono występowanie osuwisk o różnym wieku. Osuwisko w Kłodnym k. Limanowej jest przykładem dużego, współcześnie utworzonego (2010 r.) osuwiska skalnego (Perski i in., 2014). Wiek najstarszych przemieszczeń, datowanych radiometrycznie wynosi 14 900 lat BP, czego przykładem jest osuwisko w Szczawnicy. Niektóre z nich charakteryzują się wieloma etapami rozwoju. Istnieje wiele osuwisk wykazujących wielokrotną aktywność w czasie holocenu, a na podstawie oznaczeń wieku metodą ^{14}C próbowano wyznaczyć „okresy osuwiskowe” w holocenie (Margielewski, 2003).

Jednym z ważniejszych problemów badań osuwisk jest rozpoznanie głębokości, przebiegu i kształtu powierzchni poślizgu. Wymaga to wykonania specjalistycznych wierceń. Często w obrębie jednego osuwiska można stwierdzić kilka powierzchni poślizgu, które występują na różnych głębokościach, co jest związane ze złożonym sposobem przebiegu ruchu i ścinania. Przeważnie są to głęboko położone powierzchnie poślizgu o kształcie cylindrycznym. Ich głębokość osiąga zwykle dwukrotność wysokości skarpy głównej, co zostało stwierdzone na wielu osuwiskach pomiarami inklinometrycznymi. Najbardziej dotychczas rozpoznanymi i mierzonymi obiektami są osuwiska w



Ryc. 2. Widok na zniszczony przez osuwisko budynek mieszkalny w Nowym Sączu w 2010 r.
Fig. 2. View of the landslide that destroyed a residential building in Nowy Sącz in 2010

Międzybrodziu Bialskim i Górze Just k. Nowego Sącza (ponad 40 m p.p.t). W tym drugim najgłębsza powierzchnia poślizgu prawdopodobnie przekracza 50 m. Prawidłowe rozpoznanie głębokości osuwiska wiąże się z właściwym zaprojektowaniem zabezpieczenia. Pierwsze badania geologiczne małego osuwiska w Kurowie, które w 2010 r. na odcinku 40 m zerwało drogę wojewódzką (ryc. 4, 5), wykazały powierzchnie poślizgu na głębokości ok. 13 m (Jurczak i in., 2011; Kos i in., 2014). Uzupełniające wiercenia i zamontowane w nich rury inklinometryczne pozwoliły stwierdzić przemieszczenia mas skalnych na głębokościach 7, 13 i 15 m p.p.t, a najgłębsza powierzchnia poślizgu sięgała 28 m p.p.t. (ryc. 6, 7; Kos i in., 2014; Jurczak i in., 2015). Dobór zabezpieczenia osuwiska bez danych uzupełniających byłby zapewne nieskuteczny.

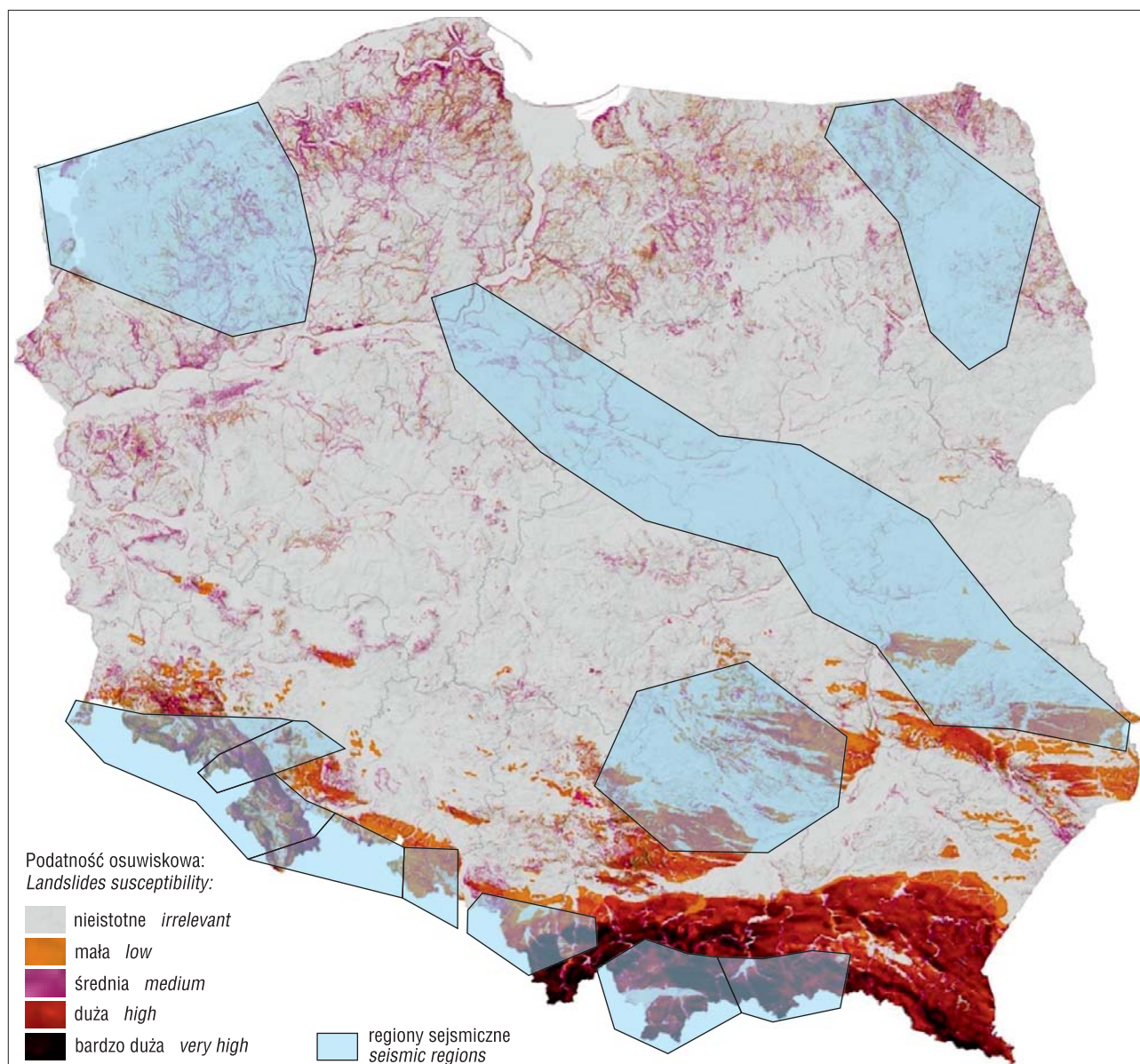
MONITORING OSUWISK

Na obszarze Polski istnieje szereg osuwisk, stwarzających zagrożenie dla tzw. infrastruktury krytycznej, ciągów liniowych bądź zwartej zabudowy mieszkalnej. Osuwiska aktywne, na których są zlokalizowane obiekty użyteczności publicznej (szkoły, biblioteki, urzędy, zakłady komunalne itp.), obiekty zabytkowe i sakralne (zamki, cerkwie, kościoły, cmentarze itp.; Laskowicz & Mrozek, 2015), obiekty hydrotechniczne (zapory, śluzy), infrastruktura liniowa (sieci przesyłowe: energetyczne, gazowe, wodociągowe),

główne ciągi komunikacyjne (drogi, linie kolejowe) uznaje się za zasadne do monitorowania instrumentalnego.

W ramach SOPO wybrano grupę sześćdziesięciu osuwisk (Nescieruk & Rączkowski, 2012) do monitoringu instrumentalnego na terenie Karpat z uwzględnieniem ww. warunków oraz zróżnicowania budowy geologicznej ich podłoża. Geologiczny czynnik doboru osuwisk, pozwoli w przyszłości opracować modele ich rozwoju w zależności od budowy geologicznej oraz wpływu czynników aktywnych na możliwość wystąpienia zagrożenia osuwiskowego podczas ekstremalnych zjawisk pogodowych. Będzie to możliwe po określeniu warunków progowych dla relacji opad–ruch osuwiska. Oprócz monitorowania osuwisk w SOPO istnieje jeszcze szereg innych sposobów pomiarów przemieszczeń mas skalnych, w tym z wykorzystaniem automatycznego systemu wczesnego ostrzegania przed zagrożeniem osuwiskowym on-line (Bednarczyk, 2015). Zakładany jest też monitoring w czasie realizacji projektów związanych z zabezpieczeniem i stabilizacją osuwisk, np., przez zarządy dróg krajowych i wojewódzkich oraz jednostki samorządowe.

System obserwacji w ramach projektu SOPO jest realizowany w formie monitoringu: wglębnego (pomiarów inklinometrycznych), powierzchniowego (pomiarów nawigacji satelitarnej GNSS – *Global Navigation Satellite System* oraz skaning laserowy) oraz hydrogeologicznego i opadowego (pomiarów zmian poziomu zwierciadła wody i wielkości opadów; Nescieruk & Rączkowski, 2012). Dla osiągnięcia założonego celu geologicznego i monitoringowego



Ryc. 3. Mapa podatności osuwiskowej Polski (Wojciechowski i in., 2015) i regiony sejsmiczne Polski (Hojny-Kołoś, 2008)
Fig. 3. Landslide susceptibility map of Poland (Wojciechowski et al., 2015), and seismic regions in Poland (Hojny-Kołoś, 2008)

wykonano w obrębie osuwisk pary otworów badawczo-pomiarowych. Wiercenia były wykonywane z pełnym rdzeniem oraz montażem kolumny inklinometrycznej i piezometrycznej. Łącznie wykonano 214 otworów wiertniczych, w tym 108 inklinometrycznych i 106 piezometrycznych. System pomiarów monitoringu wglębnego uzupełnia 15 otworów przejętych od jednostek samorządowych. Dla właściwego wykonania obserwacji powierzchniowych zrealizowano prace stabilizacyjne geodezyjnych punktów pomiarowych. Prace te obejmowały założenie sieci obserwacyjnej na terenie każdego osuwiska dla pomiarów GNSS. Łącznie zastabilizowano 712 takich punktów. Do pomiaru aktywności poszczególnych osuwisk wykorzystano również naziemny skaning laserowy.

PRZYCZYNY ROZWOJU OSUWISK W 2010 ROKU

Główną naturalną przyczyną odmładzania się form osuwiskowych, ich wzrostu aktywności czy też powstawa-

nia nowych, są opady atmosferyczne. Jest to jedna z podstawowych przyczyn wpływająca między innymi na odkształcalność, wytrzymałość i wodochłonność materiału koluwalnego. Projekt monitoringu osuwisk, zakładał kontrolę opadów atmosferycznych i zmiany poziomu wód gruntowych w koluwiach. Bardzo wysokie sumy opadów miesięcznych (500–700 mm/miesiąc) z przełomu maja i czerwca 2010 r. (Biuletyn Monitoringu Klimatu Polski za 2010) były spowodowane przemieszczeniem się ośrodków barycznych z kierunków południowego i południowo-zachodniego, które są zwykle charakterystyczne dla letnich miesięcy (lipiec–sierpień). Podobna sytuacja baryczna występowała wcześniej w latach 1997 i 2001, kiedy to opady z lipca spowodowały gwałtowne powodzie w południowej Polsce. Sumy opadów miesięcznych w Beskidach i na Pogórzu Karpackim są zwykle niższe i nieznacznie przekraczają 600 mm.

Katastrofalny opad z 2010 r. objął całe polskie Karpaty, a sumy opadów z maja 2010 r. w odniesieniu do okresu normalnego (lata 1971–2000) zostały przekroczone na obszarze

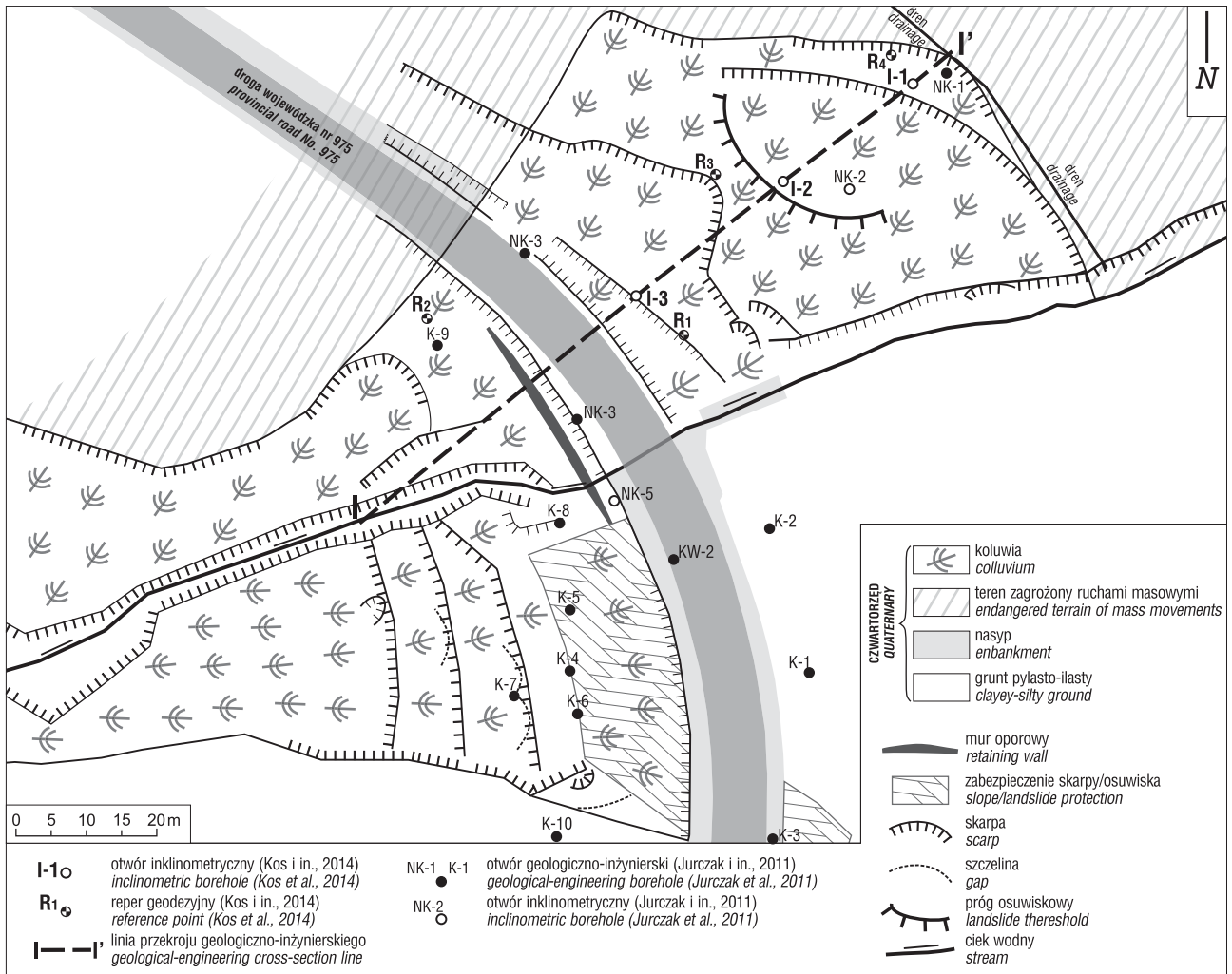


Ryc. 4. Widok na zniszczoną drogę wojewódzką w Kurowie w 2010 r.
Fig. 4. View of the damaged provincial road at Kurów in 2010

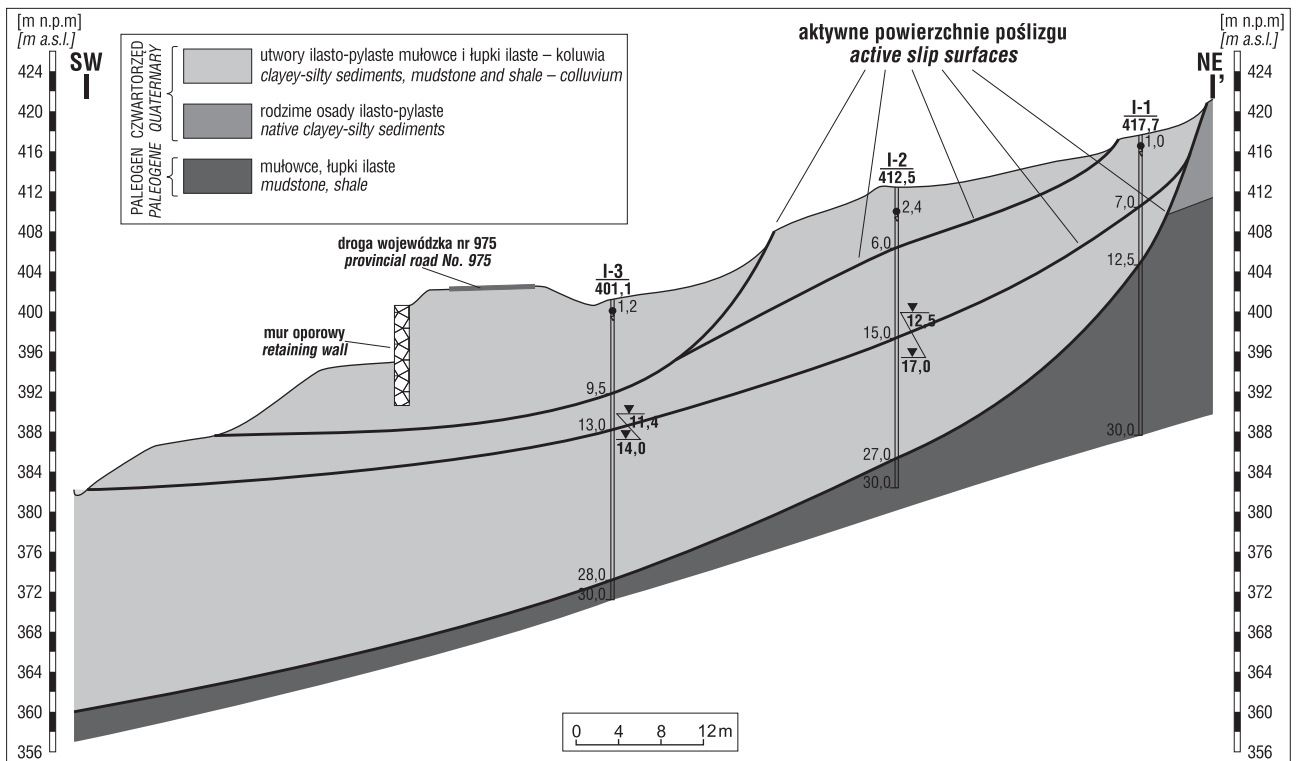
Karpat Zachodnich aż o 400%, a na obszarze Karpat Wschodnich o 200% (Cebulak i in., 2011). Dla silnego uaktywnienia się starych osuwisk w zachodniej części Karpat istotny był fakt, że opady już w pierwszej połowie maja były wysokie i wynosiły: w Korbielowie 149,5 mm, Lachowicach – Kralach 148,7 mm, Kalwarii Zebrzydowskiej – 147,3 mm, Zawoi – 146,1 mm (Cebulak i in., 2011). Dzięki tym opadom i kulminacji opadów przypadającej pomiędzy 15 a 20 maja, pierwsze odnotowane ruchy na osuwiskach wystąpiły już 19 i 20 maja (Lanckorona, Podchybie). Druga fala opadów z początku czerwca spowodowała natomiast rozwój osuwisk w środkowej części Karpat (Beskid Sądecki, Wyspawy, Pogórze Rożnowskie, osuwisko w Kurowie) oraz w części wschodniej Karpat (Pogórze Dynowskie, Pogórze Strzyżowskie).

Rok 2010 był okresem wzmożonej aktywności osuwisk (Mrozek i in., 2012). Liczne z nich, monitorowane powierzchniowo i wgłębnie, wykazywały dużą dynamikę jedynie w okresie opadów z przełomu maja i czerwca 2010 r., po czym ich aktywność znacznie malała. Do tej grupy należy zaliczyć głównie formy, których koluwia są złożone w przewadze z materiału grubodetrytycznego lub pakietów fliszowych z dominacją piaskowców (Berest, Tylawa, Kąty, Zagórze). Szczelinowatość materiału koluwalnego na takich osuwiskach jest znaczna, przez co proggi opadowe mogące je uruchomić muszą być wysokie. Dominującą w puli

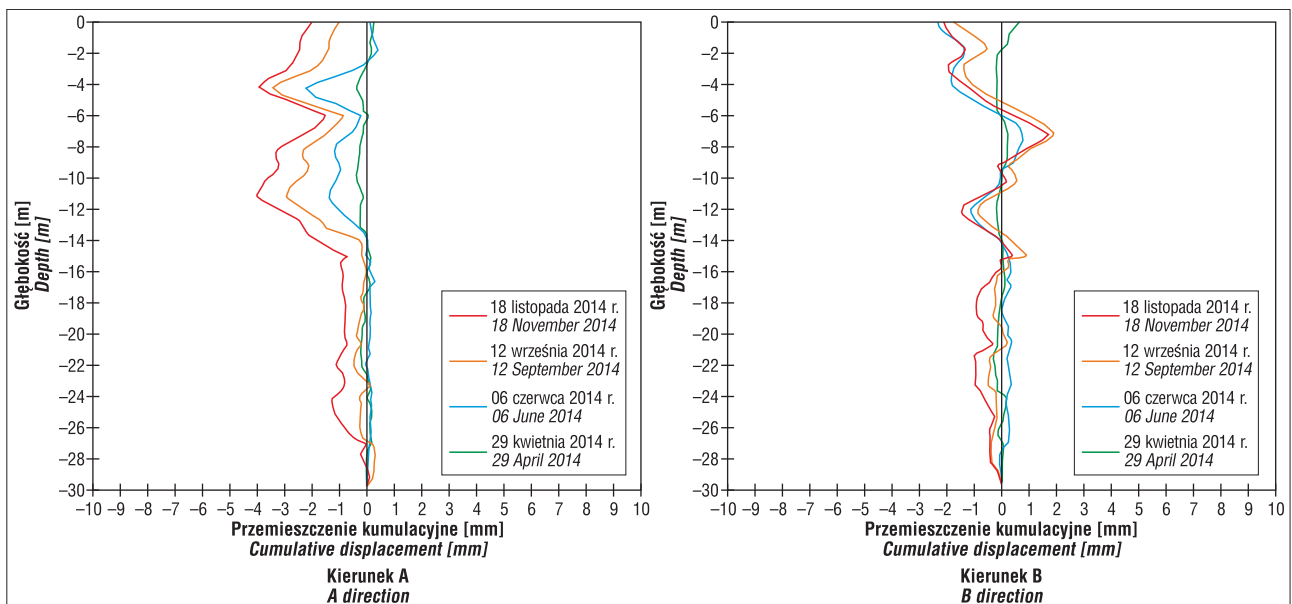
obserwacyjnej grupę stanowią osuwiska, gdzie ruch jest odnotowywany w sposób ciągły od początku obserwacji, tj. 2009 r. (Nescieruk & Rączkowski, 2012). W tych osuwiskach wyraźnie jest widoczny przyrost przemieszczeń po okresach wzmożonych opadów czy wiosennych roztopów i akinezja w okresie bezopadowym i zimowym. W takich warunkach dochodzi do najliczniejszych zmian dynamiki przemieszczeń na różnych głębokościach powierzchni poślizgu. W wielu przypadkach pierwotnie obserwowano strefy aktywności na innych głębokościach niż te, na których w późniejszym okresie doszło do uaktywnienia się osuwiska bądź wręcz ścięcia kolumny pomiarowej (Kurów, Just, Leluchów, Łącko). Dominacja materiału ilastego i marglistego w koluwiach tego typu osuwisk w znaczący sposób obniża jego szczelinowatość, ale jednocześnie powoduje utrzymanie wysokiego poziomu wód gruntowych i większe wartości wskaźnika plastyczności w koluwiach. Wszystkie analizy pomiarów monitoringu hydrogeologicznego i opadowego, uzupełnione danymi z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW), służyły do indywidualnych obliczeń progów opadowych dla każdego osuwiska i określenia wpływu opadów atmosferycznych na czas reakcji poziomu wód w obrębie koluwiów, a co za tym idzie określenie okresu opóźnienia spodziewanych przemieszczeń.



Ryc. 5. Szkic osuwiska w Kurówie
 Fig. 5. Sketch map of the landslide in Kurów



Ryc. 6. Przekrój geologiczny przez osuwisko w Kurówie
 Fig. 6. Geological cross section across the landslide at Kurów



Ryc. 7. Skumulowane przemieszczenia wgłębne w otworze I-2 na osuwisku w Kurowie w latach 2013–2014
 Fig. 7. Cumulated ground displacement in the I-2 borehole in the Kurów landslide in 2013–2014

PRZYCZYNY STRAT SPOWODOWANYCH OSUWISKAMI

Osuwiska stanowią istotne zagrożenia dla ludności oraz różnego typu budowli inżynierskich, a ich zabezpieczenie stwarza wiele problemów ze względów technicznych lub ekonomicznych. W Polsce przyczyną wysokich strat jest lokalizacja budownictwa i infrastruktury komunikacyjnej na obszarach występowania ruchów masowych (Rybicki i in., 2004). Na przykład tymczasowa stabilizacja pięciu osuwisk w rejonie Mogilan, wykonana podczas budowy w latach 70. XX w. „zakopianki”, kosztowała dodatkowo 50 mln PLN. W samym województwie małopolskim poniesione koszty w latach 2000–2001 wynosiły ok. 170 mln PLN, co częściowo wynikało z nieprawidłowo wykonanej stabilizacji (np. w Mogilanach, w rejonie góry Just, w dolinie Bielanki, w rejonie Hańczowej). Bardzo często nieprawidłowa stabilizacja osuwisk jest wynikiem niedostatecznego rozpoznania geologicznego, opartego jedynie na przesłankach teoretycznych, nie potwierdzonych odpowiednimi badaniami geologiczno-inżynierskimi. Straty ekonomiczne i funkcjonalne wywołane osuwiskami można oszacować, natomiast straty społeczne są prawie niemożliwe do wyceny. Mimo że nie powodują one tak dużej liczby przypadków śmiertelnych jak inne geozagrożenia, to przyczyniają się do wielu tragedii ludzkich, związanych ze zniszczeniem niekiedy całego dorobku życia.

Osuwiska powodowały również zagrożenia i szkody linii kolejowych, np. w 2010 r. uszkodziło tory kolejowe między Krakowem a Tunelem. Innymi budowlami narażonymi na niszczące działania przemieszczania mas ziemi są zapory wodne i zbiorniki hydrotechniczne, które mogą zagrozić stateczności zapory, spowodować przelanie się przez nią wody oraz są przyczyną zmniejszenia pojemności zbiornika retencyjnego (Nescieruk i in., 2012; Wojciechowski i in., 2013). Oddzielnym zagadnieniem są osuwiska zlokalizowane w pobliżu klifu morskiego oraz zagrożenie znajdujących się w pobliżu budynków i urządzeń morskich.

Specyficznymi miejscami występowania omawianych zjawisk są kopalnie odkrywkowe i duże hałdy. W przypadku utraty stateczności zboczy kopalni lub hałdy nasypu może powstać duże ryzyko uszkodzenia sąsiadującej infrastruktury. Na terenie Polski zagrożone są także obiekty zabytkowe, sakralne (Laskowicz & Mrozek, 2015) oraz cmentarze.

Przeciwdziałanie zagrożeniom utrudnia psychologiczna „amnezja osuwiskowa”, często stwierdzana w wywiadach z mieszkańcami. Gwałtowne osunięcia występują w większych odstępach czasu niż inne katastrofy (np. wylewy rzek) i stosunkowo łatwo są wypierane z przekazu międzypokoleniowego. Niejednokrotnie buduje się nowe domy i drogi na obszarach predysponowanych do wystąpienia ruchów masowych, bo „tutaj za ludzkiej pamięci ziemia się nie ruszała”. Jedynym skutecznym rozwiązaniem problemu osuwiskowego jest wyłączenie spod nowej zabudowy obszarów aktualnie i okresowo czynnych osuwisk oraz ograniczenie zabudowy w obszarach predysponowanych do ich wystąpienia, co umożliwiają wyniki projektu SOPO. Wyniki tego projektu mają pomóc w zarządzaniu ryzykiem osuwiskowym, czyli w ograniczeniu w znacznym stopniu szkód i zniszczeń wywołanych rozwojem osuwisk przez zaniechanie budownictwa drogowego i mieszkaniowego w obrębie aktywnych i okresowo aktywnych osuwisk. Przeciwdziałanie dalszym procesom osuwania należy do najtrudniejszych zadań, ponieważ zachodzi konieczność pogodzenia ograniczenia negatywnych skutków spowodowanych przez osuwiska z utrzymaniem zagospodarowania i funkcjonowania danego rejonu. Dla terenów osuwiskowych należy wykonać wnikliwą analizę wszelkich warunków na każdym etapie poszczególnych procedur. Rozwiązania zabezpieczeń proponowane na wstępnym etapie rozpoznania zagrożeń terenów osuwiskowych nie powinny wykluczyć przyjęcia innych, właściwych technicznie i funkcjonalnie rozwiązań, wynikających z dokumentacji geologiczno-inżynierskiej projektu technicznego.

TRZĘSIENIA ZIEMI I INNE GEOZAGROZENIA W POLSCE

Polska leży w strefie o słabej aktywności sejsmicznej, gdzie katastrofalne trzęsienia ziemi nie występują. Według Gutercha (2009) nasz kraj znajduje się w zasięgu makrosejsmicznym katastrofalnych trzęsień pochodzących ze śródziemnomorskiej strefy sejsmicznej, a intensywność ich jest mała. Na podstawie danych historycznych opracowano dla Polski katalogi trzęsień ziemi (Lasek, 1902; Pagaczewski, 1972; Hojny-Kołoś, 2008; Guterch, 2009). Z zamieszczonych zestawień wynika, że są to w większości wstrząsy o małej magnitudzie. Największy wstrząs sejsmiczny na terenie Polski odnotowano 5 czerwca 1443 na terenie sudeckim (Hojny-Kołoś, 2008) lub środkowej Słowacji (Guterch, 2009). Jego intensywność określono w granicach 9° MCS (w 12-stopniowej skali Mercallego). Nieco mniejsze wstrząsy, ale o intensywności powyżej 8° miały miejsce pod koniec XVIII w. w zachodnich Karpatach (1785 i 1786 r.) z epicentrum w rejonie Żyliny. Te ostatnie wstrząsy mogły mieć znaczący wpływ na rozwój osuwisk w Beskidzie Śląskim. Wczesne obserwacje sejsmologiczne rejestrują słabe wstrząsy w regionie pienińskim, krynickim i biało-stockim. Tylko kilka mocniejszych wstrząsów zarejestrowano na terenie Beskidów – 1992 i 1993 r., Podhala – 1995 i 2004 r., półwyspu Sambia – 2004, w Tatrach Wysokich – 2006 oraz na pograniczu Beskidu Niskiego i Pogórza Rożnowskiego – 2007 r. (Hojny-Kołoś, 2008; Guterch, 2009). Dotychczas nie zarejestrowano ofiar śmiertelnych, natomiast wstrząsy te spowodowały szkody budowlane. Trzęsienia ziemi zlokalizowane na południu Polski (Karpaty, Sudety) oraz wzdłuż strefy Teisseyre'a-Tronquista mają w większości założenia tektoniczne. Natomiast trzęsienia w NE Polsce, a zwłaszcza w rejonie kaliningradzkim, są związane z ruchami izostatycznymi. Ten rejon platformy prekambryjskiej był uważany za asejsmiczny. W wyniku trzęsienia ziemi w 2004 r. zarejestrowano uszkodzenia 17 konstrukcji budowlanych i drobne uszkodzenia 2000 budynków. Na powierzchni terenu obserwowano powierzchniowe szczeliny w gruncie na odcinku do 100 m i szerokości 20 cm.

Na podstawie przekazów historycznych i współczesnych obserwacji makro- i mikrosejsmicznych na obszarze Polski wyróżnia się 9 lub 11 regionów sejsmicznych położonych w dużych jednostkach strukturalnych (Hojny-Kołoś, 2008; Guterch, 2009). W roku 2008 rozpoczęto realizację projektu „Monitoring zagrożenia sejsmicznego obszaru Polski” opartego na istniejących stacjach sejsmicznych i obserwatoriach sejsmologicznych (Guterch, 2009; Trojanowski i in., 2009), a od 2013 r. jest realizowane zadanie państwowej służby geologicznej (PSG) „Permanenty monitoring geodynamiczny Polski”.

Niezależnie od wstrząsów naturalnych występują wstrząsy i tąpnięcia wywołane eksploatacją górnictwem. Zjawiska sejsmiczne spowodowane eksploatacją górnictwem przynoszą szkody zwłaszcza na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW) i Lubińsko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM). Kopalnie prowadzą obserwacje zagrożeń sejsmicznych i są one kontrolowane i przewidywane przez odpowiednie służby. Zagadnienie wstrząsów sejsmicznych spowodowanych górnictwem są również przedmiotem prac prowadzonych w Głównym Instytucie Górnictwem (GIG) w Katowicach, na Uniwersytecie

Śląskim i Politechnice Śląskiej. Skutkiem górnictwa podziemnego są bardzo często deformacje powierzchni terenu zachodzące zarówno w sposób ciągły, jak i nieciągły. Obniżanie i podnoszenie powierzchni terenu jest stwierdzane również w strefach wysadów solnych oraz w obszarach ulegających zjawiskom krasowym.

POSUMOWANIE

Geozagrożenia stanowią poważny problem w wielu dziedzinach działalności i życia człowieka w państwie. Ich rozpoznanie, monitorowanie i przewidywanie jest sprawą bardzo trudną i wymagającą dużego doświadczenia. Często jest konieczna współpraca specjalistów różnych dziedzin, począwszy od specjalistów w zakresie nauk przyrodniczych przez inżynierów, geotechników i konstruktorów, przedstawicieli planowania przestrzennego, izb ubezpieczeniowych, aż po zespoły jednostek samorządowych i rządowych, wykorzystujących dane do podejmowania decyzji. Przykład Systemu Osłony Przeciw Osuwiskowej pokazuje, że w Polsce zaczyna kształtować się polityka redukcji ryzyka związanego z geozagrożeniami. Konieczny jest ciągły rozwój metod i technologii badawczych, które przez proces doświadczalny powinny być systematycznie wdrażane.

LITERATURA:

- BAŻYŃSKI J. & KHÜN A. 1970 – Objasnienia do mapy osuwisk w skali 1 : 500 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa [maszynopis].
- BEDNARCZYK Z. 2015 – Metody monitoringu osuwisk i wczesnego ostrzegania on-line na przykładzie badań geologiczno-inżynierskich w Beskidzie Niskim i Średnim. *Prz. Geol.*, 63, (10/3): 1220–1239.
- BIULETYN monitoringu klimatu polski, 2010 – Centrum Monitoringu Klimatu Polski na podstawie operacyjnie zweryfikowanych danych z wybranych stacji przez zespół w składzie: prof. dr hab. M. Miętus, prof. dr hab. Z. Ustrnul, dr M. Marosz, dr M. Owczarek, mgr D. Biernacik, mgr D. Czekierda, mgr inż. P. Kilar, mgr Ba. Czernecki. Inst. Meteorol. i Gosp. Wodnej, Warszawa; www.imgw.pl.
- BORKOWSKI A., PERSKI Z., WOJCIECHOWSKI T., JÓŻKÓW G. & WÓJCIK A. 2011 – Landslides mapping in Roznow lake vicinity, Poland using airborne laser scanning data. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 8 3(163): 325–333.
- CEBULAK E., KILAR P., LIMANÓWKA D., MIZERA N. & PYRC R. 2011 – Wysokość, natężenie i przestrzenny rozkład opadów atmosferycznych. [W:] Maciejewski M i in. (red), *Dorzecze Wisły monografia powodzi maj–czerwiec 2010*: 27–40.
- GRABOWSKI D., MARCINIĘC 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. PIG-PIB. Warszawa, s. 104.
- GRANICZNY, M. & MIZERSKI W. 2007 – *Katastrofy przyrodnicze*. PWN. Warszawa, s. 198.
- GUTERCH B. 2009 – Sejsmiczność Polski w świetle danych historycznych. *Prz. Geol.*, 57 (6): 513–520.
- HOJNY-KOŁOŚ M. 2008 – Trzęsienia ziemi w Polsce. *Geografia w Szkole*, 6-2008: 33–41.
- JURCZAK S., RUSOCKI M. & BANEK-GAŁKA I. 2011 – Dokumentacja geologiczna dla określenia warunków geologiczno-inżynierskich zabezpieczenia osuwiska oraz odbudowę drogi wojewódzkiej nr 975 w miejscowości Kurów, gmina Chelmiec, powiat nowosądecki, województwo małopolskie. Przes. Usług Geologiczno-Laboratoryjnych CHEMKOP-LABOR GEO Ltd. Kraków.
- JURCZAK S., KOS J. & WÓJCIK A. 2015 – Osuwisko w Kurowie niszczące drogę wojewódzką nr 975 – historia rozpoznania i próby zabezpieczenia (Pogórze Rożnowskie). Ogólnopolska konferencja O!suwisko, 19–22 maja 2015, Wieliczka. Materiały konferencyjne: 28–30.
- KOS J., SZYMONIK I. & JĘDRZEJOWSKA M. 2014 – Szczegółowy raport z monitoringu osuwiska w Kurowie. Przes. Geol. S.A., Kraków.

- LASEK W. 1902 – Die Erdbeben Polens. Mittelungen der Erdbeben-Koimmission der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, 8: 1–36.
- LASKOWICZ I. & MROZEK T. 2015 – Sacred Historical Affected by Landslides in the Polish Flysch Carpathians. [W:] Lollino G. i in. (red.), Engineering geology for society and territory., 8. Springer International Publishing Switzerland: 415–418.
- MARGIELEWSKI W. 2003 – Late Glacial-Holocene palaeoenvironmental changes in the western Carpathians: case studies of landslide forms and deposits. *Folia Quaternaria*, 74: 1–96.
- MICHALIK A. 1970 – Objaśnienia do mapy osuwisk w Karpatach w skali 1 : 200 000. Oddz. Karpacki Inst. Geol. [maszynopis].
- MIGOŃ P. & KASPRZAK M. 2011 – Morfologiczny zapis ruchów masowych na progach morfologicznych Gór Stołowych w świetle numerycznego modelu wysokości o dużej rozdzielczości. *Przyroda Sudetów*, 14: 115–124.
- MIGOŃ P., JANCEWICZ K. & KASPRZAK M. 2014 – Zasięg obszar objętych osuwiskami w górach Kamiennych (Sudety Środkowe) – porównanie map geologicznych i cyfrowego modelu terenu wysokości z danych LiDAR. *Prz. Geol.*, 62 (9): 463–471.
- MROZEK T., RĄCZKOWSKI W. & WÓJCIK A. 2012 – Zdarzenie osuwiskowe 2010 w świetle dotychczasowej rejestracji osuwisk. II Polski Kongres Geologiczny. 17–19 września 2012, Warszawa: 61–62.
- NESCIERUK P., PERSKI Z., WARMUZ B., WOJCIECHOWSKI T. & WÓJCIK A. 2012 – Zagrożenie sztucznych zbiorników wodnych w Karpatach na przykładzie zbiornika w Porąbce w świetle monitoringu osuwiska Łaski. *Symposium ogólnokrajowe Hydrotechnika XIV'2012*: 25–37.
- NESCIERUK P. & RĄCZKOWSKI W. 2012 – Monitoring wgłębny osuwisk karpackich. II Polski Kongres Geologiczny. 17–19 września 2012, Warszawa: 63.
- PAGACZEWSKI J. 1972 – Catalogue of earthquakes in Poland in 1000-1970 years. *Publs. Inst. Geoph. Pol. Acad. Sc.*, 51: 3–36.
- PALMER T. 2003 – Perilous Planet Earth. Catastrophes and Catastrophism through the Ages. Cambridge University Press.
- PERSKI Z., WOJCIECHOWSKI T., WÓJCIK A. & BORKOWSKI A. 2014 – Monitoring of Landslide Dynamics with LIDAR, SAR Interferometry and Photogrammetry Case Study of Kłodne Landslide, Southern Poland. *Proceedings of World Landslide Forum 3, 2–6 June 2014, Beijing*, 4: Discussion Session: 200–204.
- POPRAWA D. & RĄCZKOWSKI W. 2003 – Osuwiska Karpat. *Prz. Geol.*, 51 (8): 685–692.
- RĄCZKOWSKI W. 2001 – Osuwiska polskich Karpat fliszowych. [W:] Przewodnik LXXII Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego, 12–15 września 2001, Kraków.
- RYBICKI S., RĄCZKOWSKI W. & WÓJCIK A. 2004 – Zjawiska osuwiskowe w Karpatach zagrożeniem dla budownictwa komunikacyjnego. *Materiały Konferencji Naukowej. Krynica 7–8 czerwca 2004 r.* Wyd. AGH Kraków.
- SIKORA R., WOJCIECHOWSKI T. & PIOTROWSKI A. 2016 – Uwarunkowania geologiczne osuwisk zlokalizowanych w rejonie Gór Bardzkich. *Konferencja Geomorfologia stosowana – modelowanie i prognozowanie zmian środowiskowych. 1–3.06.2016 Poznań. Materiały konferencyjne*, s. 53.
- TROJANOWSKI J., PLESIEWICZ B., GUTERCH A. & GRAD M. 2009 – Monitoring zagrożenia sejsmicznego obszaru Polski. *Prz. Geol.*, 57 (2): 133–139.
- WOJCIECHOWSKI T., BORKOWSKI A., PERSKI Z. & WÓJCIK A. 2012 – Dane z lotniczego skaningu laserowego w badaniu osuwisk – przykład osuwiska w Zbyszycach (Karpaty zewnętrzne). *Prz. Geol.*, 60 (2): 95–102.
- WOJCIECHOWSKI T., MROZEK T., LASKOWICZ I. & KUŁAK M. 2015a – Podatność osuwiskowa Polski. *Ogólnopolska konferencja O!suwisko, 19–22 maja 2015, Wieliczka. Materiały konferencyjne*: 119–120.
- WOJCIECHOWSKI T., PERSKI Z. & WÓJCIK A., 2015b – Wykorzystanie wysokościowych danych laserowych w badaniu osuwisk. *Ogólnopolska konferencja O!suwisko, 19–22 maja 2015, Wieliczka. Materiały konferencyjne*: 79–81.
- WOJCIECHOWSKI T., WÓJCIK A., PERSKI Z. & NESCIERUK P. 2013 – Zagrożenia osuwiskowe w strefach brzegowych zbiorników zaporowych Dunajca na przykładzie osuwiska w Czchowie. *Symposium ogólnokrajowe HYDROTECHNIKA XV'2013*: 88–101.