

## Osuwiska jako ważny element geozagrożeń we Włoszech

Marek Graniczny\*, Wojciech Rączkowski\*\*



M. Graniczny

W. Rączkowski

W związku z nasilającą się aktywizacją powierzchniowych ruchów masowych w naszym kraju, po katastrofalnej powodzi latem 1997 roku, Państwowy Instytut Geologiczny systematycznie doskonalili metodykę badań osuwisk, począwszy od planowania prac tereno-

wych, analizę materiałów teledetekcyjnych, geofizycznych (georadar, tomografia elektrooporowa i inne), optymalizację pomiarów terenowych (wykorzystanie odbiorników GPS i innych instrumentów specjalistycznych), tworzenie przestrzennych baz danych (GIS, DTM, teledetekcja) oraz tworzenie cyfrowych map osuwiskowości i zagrożeń związanych z ruchami masowymi ziemi. Metodyka ta jest doskonalona w trakcie realizowanych programów badawczych we współpracy z południowymi sąsiadami (Czechy, Słowacja) w ramach tematu — SPUB (KBN), grantu europejskiego — program „ALARM” oraz konsorcjum Terra-Firma (Graniczny, 2004).

Niezwykle ważną rolę odgrywa w tym zakresie wsparcie uzyskane z „Centrum Doskonałości Badań Środowiska Abiotycznego — REA” zorganizowanego w Państwowym Instytucie Geologicznym, w ramach którego funkcjonuje grupa robocza „Zagrożenia Naturalne”. Działania w ramach REA umożliwiły kontakty z wiodącymi ośrodkami w Europie zajmującymi się geozagrożeniami, w tym Włoską Akademią Nauk w Padwie i Bari oraz Uniwersytetami w Mediolanie i Strasbourgu. W kolejnych latach jest przewidywane dalsze rozszerzenie kontaktów, przygotowanie kolejnego grantu europejskiego (VI Ramowy Program Unii Europejskiej). Z wymienionymi instytucjami zostały zawarte stosowne porozumienia

Szczególne znaczenie ma współpraca z ośrodkami włoskimi, gdzie występuje podobna budowa geologiczna obszarów, góry są jednak trochę wyższe. Badania ruchów masowych w tym kraju mają ogromną tradycję, a są w nich wykorzystywane najnowsze metody badawcze będące nowinkami technicznymi. Misje eksploracyjne zorganizowane na terenach Włoskich Alp Wschodnich umożliwiły specjalistom PIG zapoznanie się z metodami badań i monitoringu osuwisk w tym kraju. Poniżej przedstawiono skrótowo opis kilku rejonów osuwiskowych w północnych Włoszech, które były wizytowane przez polskich specjalistów (ryc. 1).

**Włoskie Alpy Wschodnie**, a szczególnie **Dolomity** są powszechnie znane w Europie ze swojej urody oraz znanych ośrodków wypoczynkowych (Cortina d'Ampezzo, Val Badia, Val Gardena, Val di Sole) umiejscowionych na różnych wysokościach oraz niżej w dolinach. Włoskie Dolomity tworzy szereg odosobnionych masywów powyżej 3000 m n.p.m. takich jak — Marmolada, Antelao, Civetta, otoczonych gęsto zaludnionymi dolinami rzecznyymi.

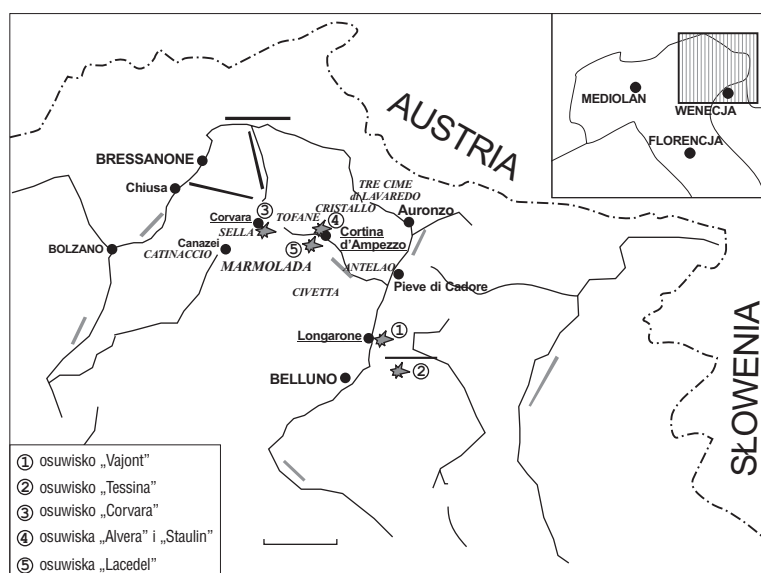
Obszar Dolomitów jest szczególnie podatny na występowanie różnego typu ruchów masowych z uwagi na wysokie spadki zboczy, sprzyjającą osuwiskom budowę geologiczną obejmującą naprzemianległe sekwencje skał twardych i miękkich, intensywnie splekanych i pociętych uskoki. Biorąc powyższe pod uwagę, ocena zagrożeń osuwiskowych jest niezwykle istotna dla prawidłowego planowania przestrzennego i bezpieczeństwa ludności.

**Dolina rzeki Piave — okolice Longarone.** Jedna z największych katastrof w tym rejonie nastąpiła w latach sześćdziesiątych w okolicach **Longarone**, trzeba przyznać, że przy wydatnym udziale czynnika ludzkiego. Historia tragicznych wydarzeń sięga 1943 r., kiedy zdecydowano o budowie w Dolinie Vajont jednej z największych (w tym czasie) zapór. W 1948 r., pierwszy powojenny prezydent Włoch potwierdził legalność decyzji o budowie tamy. Stosowne przygotowania i prace w Dolinie Vajont zostały rozpoczęte. W tym samym czasie geolodzy przeprowadzili badania zboczy masywu Toc (1800 m n.p.m.) okalających dolinę. Prace te rozpoczęto już po podjęciu decyzji o budowie zapory. Wskutek nacisków miejscowych władz i firm, budujących tamę, geologiczny raport oceniający zagrożenia osuwiskowe został sporządzony niedokładnie, a warunki geologiczne określono jako „korzystne” i nie stwarzające podstaw do powstawania większych osuwisk. W 1957 r. wprowadzono poprawki do pierwotnego projektu, podwyższając zapórę z 200 do 266 m, co zakładało umiejscowienie korony zapory na wysokości 722,5 m n.p.m. oraz spiętrzenie trzykrotnie większej ilości wody w stosunku do poprzedniego planu. Podczas stopniowego wypełniania zbiornika, w latach 1959–1960, uaktywniły się pierwsze niewielkie osuwiska, co odnotowały zainstalowane na zaporze sejsmografy. Te pierwsze sygnały ostrzegawcze nie powstrzymały budowniczych zapory od kontynuacji prac. Sytuacja raptownie zaczęła się pogarszać w 1963 r. Na zboczach góry Toc zaczęły powstawać szczeliny, liczne nowe osuwiska i obrywy skalne; 9. października zarządono ewakuację przyległych do zapory wiosek Erto i Casso, choć wielu mieszkańców nie zgodziło się na opuszczenie swoich gospodarstw i dobytku. Tego samego dnia o godz. 22.39 nieszczęście dopełniło się; 250 mln m<sup>3</sup> mas skalnych tworzących masyw Toc runęło do sztucznego zbiornika. W następstwie tego wielkie masy wody (ok. 40 mln m<sup>3</sup>) przewaliły się przez zapórę zmiatając wioski Erto i Casso oraz zatapiając kolejną miejscowość Langarone. Katastrofa spowodowała ponad 2000 ofiar śmiertelnych. Od tamtej pory badaniom geologicznym osuwisk przywiązuje się znacznie większą wagę.

**Osuwisko Tessina.** Jest jednym z najciekawszych osuwisk, wszechstronnie zbadanym i monitorowanym we Włoszech. Położone jest na obszarze działu wodnego Alpago (na wschód od Belluno). Obejmuje ono złożony ruch grawitacyjny w obrębie formacji fliszowej. Intensywny rozwój aglomeracji w tym rejonie spowodował konieczność przeprowadzenia wszechstronnych studiów geologicznych oraz założenia sieci monitoringowej (Mantovani i in., 2000). Osuwisko Tessina położone na wysokościach od 1200 do 640 metrów ma charakter złożony, obejmujący rotacyjny poślizg w części górnej oraz spływ w części środkowej i dolnej. Na podstawie charakterystyki morfologicznej i dynamicznej zostało podzielone na cztery części. Osuwisko jest cały czas aktywne. Pierwsze powa-

\*Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; marek.graniczny@pgi.gov.pl

\*\*Państwowy Instytut Geologiczny, Oddział Karpacki, ul. Skrzatów 1, 31-560 Kraków; wojciech.raczkowski@pgi.gov.pl



Ryc. 1. Szkic sytuacyjny terenów i badań omówionych w artykule

zne ruchy zarejestrowano w październiku 1960 r., po okresie intensywnych opadów. Cały obszar objęty osuwiskiem powiększył się od tego czasu z 300 000 m<sup>2</sup> do 500 000 m<sup>2</sup> w chwili obecnej. Całkowitą ilość przemieszczonego materiału określa się na 7 milionów m<sup>3</sup>. Szybkość ruchów waha się znacznie w zależności od czasu i części osuwiska. Maksymalne szybkości (70 do 100 m dziennie) zarejestrowano powyżej miejscowości **Lamosano** w maju 1992. W tym samym czasie szybkości przesuwu od 25 do 30 m dziennie zarejestrowano w pobliżu wioski **Funes** (ryc. 2).

W następstwie reaktywacji osuwiska w 1992 r. zainstalowano bariery ochronne oraz nowe systemy ostrzegania, w celu ochrony terenów zamieszkałych. System ostrzegania obejmował rozmieszczenie licznych detektorów deformacji i szybkości przemieszczania, wzdłuż całej długości osuwiska. Każdy z nich wysyłał automatycznie sygnały do centrum danych w Lamosano. System był również połączony z ośrodkiem straży pożarnej w Belluno. Kiedy



Ryc. 2. Widok ogólny na rejon niszy osuwiskowej w Tessinie

stopień deformacji przekraczał wartości krytyczne, alarm uruchamiał się również automatycznie w lokalnych posterunkach ochrony cywilnej. W celu uwzględnienia różnych rodzajów deformacji, zachodzących wzdłuż osuwiska detektory obejmowały: stacje elektronicznego pomiaru odległości (EDM), pręty kierunkowe, echometry, ekstensometry kablowe oraz kamery video. Aby zapobiec katastrofalnym skutkom opadów atmosferycznych wykopano tunel drenażowy w górnej części zbocza, ponad główną skarpią. W celu monitoringu przepływu wód podziemnych zainstalowano wiele piezometrów (w obrębie i wokół tunelu drenażowego). Zbudowano również stację meteorologiczną. W wyniku tych zabiegów po 1998 r. można było porównać dane meteorologiczne z poziomem wód gruntowych uzyskanych z piezometrów oraz informacjami zebranymi w wyniku działania sieci EDM.

Obserwowane obecnie rozszerzanie się niestabilnego obszaru oraz przesuwanie się skarpy osuwiska powoduje wzrastające ryzyko dla przyległych osiedli, a zwłaszcza wioski Funes. Dlatego też opracowano plan ewakuacji mieszkańców, a system monitoringu został wyposażony w urządzenia działające w czasie rzeczywistym. Ponadto testowany jest wspólnie z naukowcami japońskimi program symulacji osuwisk — SCIDDICA (ryc. 3).

Na osuwisku w Tessina, oprócz standardowych metod monitoringu geotechnicznego (inklinometry, ekstensometry, odległościomierze) oraz powierzchniowego (GPS, niwelacja precyzyjna) zastosowano unikalną metodę naziemnej interferometrii radarowej (Tarchi i in., 2002). Urządzenie to znane jako liniowy SAR (Synthetic Aperture Radar) — LISA wykonuje pomiar z częstotliwością 17 GHz oraz aperturą syntetyczną 2,8 m. Wyniki pomiarów były kontrolowane poprzez sprawdzanie przemieszczenia piksela (elementu obrazu) przy pomocy mobilnego teodolitu oraz elektronicznych odległościomierzy (EDM) w dwóch punktach kontrolnych. Sesje pomiarowe na osuwisku Tessina przeprowadzono pomiędzy 25 września a 13 października 2000 r. Aparatura została zainstalowana na wysokości 997,3 m n.p.m., na obszarze stabilnym, naprzeciw strefy osuwającej się, która była widzialna na odległości ok. 500 m. Test przeprowadzony w Tessina zezwolił na porównanie metody naziemnej interferometrii radarowej oraz tradycyjnych metod geodezyjnych i stwierdzenie, że dokładność obu zastosowanych metod jest zbliżona. Jednakże nowa metoda ma kilka istotnych zalet:

- jest techniką zdalną (bez-kontaktową) i nie wymaga instalowania punktów kontrolnych na obserwowanym terenie,
- jest bardziej niezależna od różnic temperatur, które zakłócają pomiary elektronicznych odległościomierzy (EDM),



□ zapewnia szybkie wykonanie pomiarów na dużej powierzchni osuwiska,

□ koszt pomiarów (nawet w wersji eksperymentalnej) nie jest wyższy od tradycyjnych metod geodezyjnych).

Przewiduje się kontynuację badań metodycznych z wykorzystaniem interferometrii naziemnej w kierunku opracowywania cyfrowych modeli terenu o wysokiej rozdzielczości, oraz pomiarami wilgotności gruntu.



Ryc. 3. Mur zabezpieczający osuwisko w Tessinie w rejonie wioski Funes

**Osuwisko „frana di Corvara in Badia”.** Osuwisko „frana di Corvara in Badia” rozwinęło na stokach Altiplano di Chertz–Pralongia–Cima Bloch–Braida, Fraidia i Col Alto.

W odróżnieniu od wyższych masywów górskich zbudowanych z triasowych, głównie dolomitycznych formacji: di Contrin, dolomitów Cassiana formacji z Durrenstein i dolomitu głównego stoki te zbudowane są z fliszowych, argilitowych formacji z Wengen i la Valle oraz z San Cassiano. Osady lodowcowe zachowane są w najwyższych częściach dolin w obrębie przełęczy, przez które odbywała się ich transfluencja do dolin sąsiednich lub w samym dnie dolin w formie amfiteatralnych wałów moren czołowych znaczących zasięg poszczególnych jeziorów w późnoglacialnych fazach zlo-



Ryc. 5. Spływ gruzowy w rejonie Cortina d' Ampezzo



Ryc. 4. Ogólny widok na osuwisko w Corwarze ukazujący okalające szczyty, niszę osuwiskową, obszar transportu i akumulacji osadów

dowacenia Würm. Obszar, na którym występuje osuwisko pocięty jest licznymi uskokami oraz nasunięciami związanymi z fazami tektonicznymi w kenozoiku. Niektóre z nich są aktywne w okresie czwartorzędowym (ryc. 4).

Osuwisko Corvara in Val Badia ma powierzchnię 3,04 km<sup>2</sup>, z czego 2,25 km<sup>2</sup> to powierzchnia obszaru alimentacyjnego, 0,09 km<sup>2</sup> — strefa transportu i 0,70 km<sup>2</sup> — strefa akumulacji jezora osuwiskowego. Według datowań radiowęglowych (22 datowania dla tego osuwiska pochodzące z 6 wierceń) powstało ono na przełomie ostatniego glacjału i holocenu. Na osuwisku tym wykonano 4 wiercenia o głębokości przekraczającej 40 m, w których zamontowane były inklinometry. Na osuwisku wykonano szczegółowe zdjęcie geomorfologiczne w skali 1 : 5000, DTM obszaru górnej części doliny Val Badia, mapy podatności na osuwanie, użytkowania



terenu oraz charakterystykę gleboznawczą według obowiązujących standardów. Na zdjęciach lotniczych z lat 1954, 1959, 1970 i 1985 wyróżniono strefy aktywne i nieaktywne osuwiska w tych latach. Powierzchnia poślizgu została ustalona na około 40–50 m ppt. W przekroju przez osuwisko można wyróżnić strefy aktywne i nieaktywne. Do najbardziej aktywnych należy obecnie strefa transportu materiału w środkowej części osuwiska, gdzie można obserwować przesunięcia spowodowane przemieszczeniem koluwiów na odległość ponad 6,0 m oraz zaciskanie doliny potoku Rutorto. Dalszy rozwój osuwiska w tym kierunku grozi zatamowaniem odpływu potoku, utworzeniem jeziora zaporowego, a w razie jego przerwania zalaniem doliny i wiosek znajdujących się poniżej masą materiału spływu gruzowo-błotnego.

W strefie akumulacji osuwiska, na obszarze jeziora, jest zlokalizowana droga państwowa łącząca górną część doliny Val Badia z doliną Cordevole. Jest ona niszczone przez corocznie zachodzące ruchy w jego obrębie. Przemieszczenia materiału osuwiskowego nie są tak duże jak w części przyniszowej. Badania prowadzone na osuwisku były dotowane tak z Programów badawczych Unii Europejskiej jak i z funduszy przeznaczonych na badania z gminy Corvara in Val Badia, a w chwili obecnej kontynuowane są w ramach projektu „ALARM”.

**Kotlina Cortina d'Ampezzo.** Kotlina ta jest położona pomiędzy takimi grupami górskimi Dolomitów jak: Tofane, Lastoni di Formin, Croda del Lago, Falaria, Cristallo i Pomagagnon. W budowie podłoża przeważają skały od środkowego triasu aż po dolną jurę. Wśród nich możemy wyróżnić następujące formacje: San Cassiano i dolomitów Cassiana (margle, łupki, różnokolorowe kalkarenity); formacja z Durrenstein (100–250 m, przeważnie dolomitów), formacja z Raibl i dolomitu podstawowego (1100 m przeważnie dolomitów) oraz wapienie Dachstein (ok. 400 m wapieni). Dwie kenozoiczne fazy tektoniczne spowodowały przemieszczenia i nasunięcia poszczególnych fragmentów na siebie oraz pocięcie uskoki. Na stokach kotliny występuje duża liczba osuwisk sprawiająca, że tylko małe fragmenty dna kotliny nie są objęte ruchami masowymi. Spośród 28 formacji osuwiskowych wydzielonych przez badaczy włoskich na zboczach kotliny 6 współcześnie jest aktywnych i zagrażających gospodarce ludzkiej. Badania szczegółowe wykonano m.in. na osuwiskach Alvera i Staulin na zboczach północnych oraz osuwisku Lacedel na zboczach zachodnich. Zamontowane w tych osuwiskach przyrządy badawcze (m.in. inklinometry) wskazują na różną szybkość przemieszczania koluwiów od 1 cm/rok w przypadku osuwiska Alvera do ponad 1 m/rok na osuwisku Lacedel. To ostatnie osuwisko zagraża drodze krajowej nr 48 oraz powoduje jej niszczenie w miejscowości Lacedel. Gołym okiem można obserwować wielkość przemieszczenia oraz jego skutki na budowach rozmieszczonych na jezorze tego osuwiska.

Drugim poważnym zagrożeniem dla mieszkańców okolic Cortiny d'Ampezzo są spływy gruzowe zachodzące na stokach Pomagagnon, Sorapis i Antelao. Badacze włoscy z Padwy opracowali systemy zabezpieczeń nad drogami w postaci zapór zbudowanych z materiału gruzowego a biegnących ponad drogą i równoległe do niej. Ostatnie katastrofalne opady deszczu w sierpniu 1996 r. uruchomiły masy gruzu o masie 16 mln t w spływie gruzowym ze stoków Pomagagnon i 24 mln t w spływie i lawinie gruzowo-błotnej na stokach Antelao. Przejawy aktywności spływów gruzowych ze stoków doliny rzeki Boite można obserwować na całej jej długości aż po ujście do rzeki

Piave. Największe zniszczenia spowodował spływ gruzowy 27 lipca 1868 r., który zniszczył wioskę Borca di Cadore położoną w dnie doliny i spowodował śmierć 11 osób (ryc. 5).

Podobnie jak we Włoszech po wielkiej katastrofie osuwiskowej zapory Vajont w 1963 r., po odnowieniu się szeregu osuwisk na obszarze Polski w latach sześćdziesiątych KERM zlecił Państwowemu Instytutowi Geologicznemu koordynowanie rejestracji osuwisk na obszarze kraju. Rejestracja ta została wykonana w ciągu dwóch następnych lat i objęła osuwiska w rejonach zamieszkałych i wzdłuż linii komunikacyjnych. Zanotowano wówczas ponad 12 000 osuwisk z czego 1/4 zagrażała zabudowie mieszkalnej i infrastrukturze komunikacyjnej (Bażyński & Kuhn, 1970). W okresie późniejszym zagrożenia wywołane przez ruchy masowe ziemi występowały sporadycznie szczególnie na obszarze Karpat fliszowych. Dalsze prace rejestracyjne, m.in. przy wykonywaniu poszczególnych arkuszy *Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1 : 50 000*, doprowadziły do rozpoznania ponad 20 000 osuwisk. Katastrofalne opady lipca 1997 i 2001 r. doprowadziły do odnowienia się tych procesów na nie notowaną dotychczas skalę. Zniszczenia i zagrożenia wywołane przez ruchy masowe ziemi powodują straty liczone w milionach złotych rocznie. Dlatego też Rząd RP zaciągnął pożyczkę w wysokości 50 mln Euro w Europejskim Banku Inwestycyjnym, z której w niedługim czasie ma dojść do realizacji wielkiego projektu *Ostona przeciwosuwiskowa*. Środki na ten cel są znaczne, dlatego też należy dołożyć wszelkich starań aby zostały one wydane w racjonalny sposób i zapewniły efektywne rezultaty prac i badań. Dotychczasowe doświadczenia z naszego kraju nie są budujące, a zabezpieczenia przeciwosuwiskowe, często wykonywane bez należytej konsultacji geologicznej, rzadko spełniają swe zadania. Dodatkowym efektem prac geologicznych związanych z pożyczką może być pełna rejestracja zjawisk związanych z ruchami masowymi ziemi w skali 1 : 10 000 w układzie gminnym, wykonanie map osuwiskowości i map zagrożeń związanych z osuwiskami, które mogą być podstawą studium zagrożeń osuwiskowych wymaganych przy opracowaniu planów zagospodarowania przestrzennego (tutaj można zacytować nową ustawę *O planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym* z marca 2003).

Ważnym elementem tych wszystkich prac musi być też uświadomienie społeczeństwu zamieszkującemu obszary górskie zagrożenia z którymi mogą się spotkać na co dzień, przyzwyczajając do „życia z zagrożeniem” tak jak jest to w obszarach górskich UE.

Wiedza zdobyta w wyniku współpracy z instytucjami włoskimi okaże się z pewnością przydatna przy realizacji tego przedsięwzięcia.

## Literatura

- BAŻYŃSKI J. & KUHN A. 1970 — Objaśnienia do mapy osuwisk 1 : 500 000. Arch. Zakł. Geol. Inż. Inst. Geol., Warszawa.
- GRANICZNY M. 2004 — Remote sensing data: A perfect tool for solving geological and geoenvironmental cross-border issues. *Prz. Geol.*, 52: 731–737.
- MANTOVANI F., PASUTO A., SILVANO S. & ZANNONI A. 2000 — Collecting data to define future hazard scenarios of the Tessina landslide. *Inter. Jour. Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2: 33–40.
- TARCHI D., CASAGLI N., FANTI R., LEVA D.D., LUZI G., PASUTO A., PERACCINI M. & SILVANO S. 2002 — Landslide monitoring by using ground-based SAR interferometry: an example of application to the Tessina landslide in Italy. *Engineering Geology*, 68 (2003): 15–30.