



Ogólnopolska Konferencja  
**O!SUWISKO**  
19–22 maja 2015, Wieliczka  
Materiały konferencyjne





# Ogólnopolska Konferencja **O!SUWISKO**

**19–22 maja 2015, Wieliczka**

**Materiały konferencyjne**



**Warszawa 2015**

**Patronat:** Sławomir BRODZIŃSKI – Podsekretarz Stanu w Ministerstwie Środowiska, Główny Geolog Kraju  
Małgorzata SKUCHA – Prezes Zarządu Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej  
Andrzej HALICKI – Minister Administracji i Cyfryzacji  
Maria WASIAK – Minister Infrastruktury i Rozwoju



MINISTERSTWO  
ŚRODOWISKA



Ministerstwo  
Administracji  
i Cyfryzacji



MINISTERSTWO  
INFRASTRUKTURY  
I ROZWOJU

**Komitety honorowy:** Jerzy MILLER – Wojewoda Małopolski  
Małgorzata CHOMYCZ-ŚMIGIELSKA – Wojewoda Podkarpacki  
Piotr LITWA – Wojewoda Śląski  
Marek SOWA – Marszałek Województwa Małopolskiego  
Władysław ORTYL – Marszałek Województwa Podkarpackiego  
Kazimierz BUJAKOWSKI – Prezes Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii, Główny Geodeta Kraju  
Andrzej MACIĄŻEK – Wiceprezes Zarządu Polskiej Izby Ubezpieczeń  
Janusz SKULICH – Dyrektor Rządowego Centrum Bezpieczeństwa



WOJEWODA  
MAŁOPOLSKI



WOJEWODA PODKARPACKI



WOJEWODA ŚLĄSKI



Małopolska



WOJEWÓDZTWO  
PODKARPACKIE



**Komitet naukowy:** Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy  
prof. dr hab. Antoni WÓJCIK dr Teresa MROZEK  
prof. dr hab. Marek GRANICZNY dr Zbigniew PERSKI  
dr Tomasz MALATA dr Tomasz WOJCIECHOWSKI

**Patronat medialny:**



Konferencja dofinansowana ze środków  
Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska  
i Gospodarki Wodnej



Dofinansowano ze środków  
Narodowego Funduszu  
Ochrony Środowiska  
i Gospodarki Wodnej

Akceptował do druku dnia 30.04.2015 r.

Zastępca Dyrektora Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego  
Dyrektor ds. Państwowej Służby Geologicznej  
mgr inż. Andrzej PRZYBYCIN

© Copyright by Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2015

ISBN 978-83-7863-478-2

Adres redakcji: Zakład Publikacji PIG-PIB, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; [www.pgi.gov.pl](http://www.pgi.gov.pl)

Redakcja: Anna Kalinowska, Paweł Zawada  
Projekt okładki: Sebastian Guraj  
Zdjęcie na okładce: Wojciech Rączkowski

Nakład: 350 egz.

Druk: 2M s.c., ul. Zagójska 2/4, lok. 13, 04-101 Warszawa



## SPIS TREŚCI

|                     |   |
|---------------------|---|
| Słowo wstępne ..... | 7 |
|---------------------|---|

### REFERATY

|                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Przemysław BARAN, Tymoteusz ZYDRON, Andrzej T. GRUCHOT, Alberto BISSON, Simonetta COLA, Ryszard MURZYN — Studium adaptacji techniki kotew pływających SIRIVE SPECIAL jako alternatywnej metody zabezpieczeń osuwisk w Karpatach fliszowych .....                          | 11 |
| Zbigniew BEDNARCZYK — Zastosowanie automatycznych metod pomiarowych do ostrzegania przed zagrożeniem osuwiskowym .....                                                                                                                                                    | 12 |
| Michał CHOROMAŃSKI, Jacek JÓŹWIAK — Detekcja zmian rzeźby terenu w czasie za pomocą technik fotogrametrycznych niskiego pułapu .....                                                                                                                                      | 13 |
| Beata CICHY — Rozwój przestrzenny gmin w kontekście zagrożeń osuwiskowych .....                                                                                                                                                                                           | 15 |
| Bartłomiej ĆMIELEWSKI, Bernard KONTNY, Kazimierz ĆMIELEWSKI, Izabela WILCZYŃSKA — Niskokosztowe techniki pomiarowe w monitorowaniu terenów zagrożonych ruchami masowymi .....                                                                                             | 16 |
| Paweł DĄBEK, Ciesław PATRZALEK, Bartłomiej ĆMIELEWSKI, Andrzej BORKOWSKI, Romuald ŻMUDA — Warunki korzystania z technologii naziemnego skanowania laserowego w monitorowaniu i ocenie zjawisk erozyjnych w terenach naturalnych i przekształconych antropogenicznie ..... | 16 |
| Daniel GARLIKOWSKI, Krzysztof LEJCUŚ, Jolanta DĄBROWSKA, Michał ŚPITALNIAK — Geokompozyty sorbujące wodę jako nowy sposób zapobiegania płytkim osuwiskom .....                                                                                                            | 17 |
| Rafał GAWAŁKIEWICZ, Anna SZAFARCZYK — Geodezyjne badania stabilności budowli ziemnej na przykładzie wybranych zabytkowych kopców krakowskich .....                                                                                                                        | 18 |
| Piotr GAŚKA, Agnieszka PĘKALA, Izabela SKRZYPCZAK — Matryca oceny ryzyka zagrożeń osuwiskowych na podstawie normalizacji danych i zbiorów rozmytych .....                                                                                                                 | 19 |
| Dariusz GRABOWSKI, Tomasz WOJCIECHOWSKI — III etap projektu SOPO – kontynuacja i nowe trendy .....                                                                                                                                                                        | 21 |
| Marek GRANICZNY, Zbigniew KOWALSKI, Wieńczysław PLUTECKI, Antoni WÓJCIK — Zastosowanie bezzałogowych aparatów latających (BAL) w kartowaniu i monitoringu osuwisk w Karpatach .....                                                                                       | 22 |
| Michał GRODECKI, Bernadetta PASIERB, Rafał GWÓŹDŹ — Zastosowanie symulacji numerycznych do oceny stateczności osuwiska w Brzozówce koło Krakowa .....                                                                                                                     | 24 |
| Paulina HARBA, Zenon PILECKI — Czasoprzestrzenna analiza ruchu osuwiskowego metodą interferometrii sejsmicznej na przykładzie osuwiska Tęgoborze-Just .....                                                                                                               | 25 |
| Maria HELDAK, Monika PŁUCIENNIK — Decyzje planistyczne dotyczące obszarów osuwiskowych .....                                                                                                                                                                              | 26 |
| Hanna HREHOROWICZ-GABER, Anna SIKORA — Problem terenów osuwiskowych w procesie planowania i praktyce projektowej w południowej Małopolsce .....                                                                                                                           | 27 |
| Sebastian JURCZAK, Jarosław KOS, Antoni WÓJCIK — Osuwisko w Kurowie niszczące drogę wojewódzką nr 975 – historia rozpoznania i próby zabezpieczenia (Pogórze Rożnowskie) .....                                                                                            | 28 |
| Leszek JURYS, Grzegorz UŚCINOWICZ, Wojciech JEGLIŃSKI — Osuwiska w brzegach klifowych południowego Bałtyku .....                                                                                                                                                          | 30 |
| Robert KACZMARCZYK, Zenon PILECKI, Jacek STANISZ, Krzysztof KRAWIEC — Numeryczna analiza stateczności skarpy z uwzględnieniem parametrów strefy kontaktu z zastosowaniem metody zbiorów losowych na przykładzie KWB Bełchatów .....                                       | 32 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Łukasz KACZMAREK, Paweł DOBAK — Analiza scenariuszy rozwoju ruchów osuwiskowych na skarpie warszawskiej w rejonie południowej obwodnicy Warszawy .....                                                                                                                                                    | 33 |
| Mirosław KAMIŃSKI, Piotr ZIENTARA, Mirosław KRAWCZYK — Monitoring geofizyczny osuwisk metodą elektrooporową upływu czasu ERT-TL – wybrane przykłady z Polski .....                                                                                                                                        | 34 |
| Krzysztof KARWACKI — Model czasowo-przestrzenny osuwiska na Zawodziu w Lachowicach .....                                                                                                                                                                                                                  | 36 |
| Elżbieta KOKOCIŃSKA-PAKIET — Analiza sprężysto-plastyczna skarpy z przyrostowo zwiększanym obciążeniem .....                                                                                                                                                                                              | 37 |
| Jarosław KOS, Marcin WÓDKA — Warunki geologiczno-inżynierskie i przyczyny powstania osuwiska na północnym stoku Wzgórza Świętej Bronisławy w Krakowie .....                                                                                                                                               | 38 |
| Paweł KROH, Paweł STRUŚ, Dominika WRÓŃSKA-WAŁACH, Elżbieta GORCZYCA, Michał DŁUGOSZ — Porównanie wyników kartowania osuwisk metodami terenowymi oraz opartymi na lotniczym skaningu laserowym .....                                                                                                       | 39 |
| Józef KUKULAK, Karol AUGUSTOWSKI — Osuwiska na brzegach rzek zachodniego Podhala .....                                                                                                                                                                                                                    | 40 |
| Izabela LASKOWICZ, Teresa MROZEK, Lesław ZABUSKI — Ryzyko osuwiskowe – implikacje dla zagospodarowania przestrzennego i stabilizowania indywidualnych obiektów (na przykładzie Koronowa k. Bydgoszczy) .....                                                                                              | 42 |
| Krzysztof LIGĘZA, Paweł KARCZ — Proces likwidacji osuwiska w miejscowości Wieniec w gminie Gdów .....                                                                                                                                                                                                     | 43 |
| Edyta MAJER, Grzegorz RYŻYŃSKI — Dokumentowanie warunków geologiczno-inżynierskich w rejonie osuwisk w świetle wymagań Eurokodu 7 .....                                                                                                                                                                   | 44 |
| Anna MAŁKA — Geoinformacyjne modelowanie podatności osuwiskowej nadmorskich obszarów młodoglacjalnych na przykładzie Trójmiasta .....                                                                                                                                                                     | 45 |
| Paweł MARCINIEC, Ziemowit ZIMNAL — <i>Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi</i> (MOTZ) i karty rejestracyjne osuwisk (KRO) jako źródło informacji osuwiskowej .....                                                                                                                         | 47 |
| Włodzimierz MARGIELEWSKI, Jan URBAN — Jaskinie niekrasowe polskich Karpat fliszowych i ich związek z etapami formowania ruchów masowych (charakter rozwoju, typologia, datowania) .....                                                                                                                   | 48 |
| Andrzej MICHAŁSKI — Integracja metod pomiarów monitoringowych przez wykorzystanie metody równowagi granicznej na osuwisku Łaski w Międzybrodziu Bialskim .....                                                                                                                                            | 50 |
| Piotr MIGOŃ, Kacper JANCEWICZ, Marek KASPRZAK, Milena RÓŻYCKA, Filip DUSZYŃSKI — Osuwiska w Górach Kamiennych (Sudety Środkowe) – identyfikacja, rozmieszczenie, morfometria i geneza .....                                                                                                               | 52 |
| Teresa MROZEK, Dariusz GRABOWSKI — Projekt SOPO – element strategii redukcji ryzyka osuwiskowego w Polsce .....                                                                                                                                                                                           | 53 |
| Łukasz MUSIEŁOK, Andrzej KACPRZAK, Piotr MIGOŃ — Wykorzystanie właściwości pokrywy glebowej do określenia wieku ruchów masowych na przykładzie Gór Kamiennych (Sudety Środkowe) .....                                                                                                                     | 55 |
| Piotr NESCIERUK — Instrumentalny monitoring osuwisk .....                                                                                                                                                                                                                                                 | 56 |
| Kamila PAWŁUSZEK, Andrzej BORKOWSKI — Identyfikacja obszarów osuwiskowych na podstawie danych z lotniczego skaningu laserowego .....                                                                                                                                                                      | 58 |
| Zbigniew PERSKI, Tomasz WOJCIECHOWSKI, Petar MARINKOVIC, Andrzej MICHAŁSKI, Piotr NESCIERUK, Antoni WÓJCIK — Trójwymiarowa charakterystyka pola deformacji osuwiska z wykorzystaniem interferometrii satelitarnej wysokiej rozdzielczości oraz pomiarów <i>in situ</i> na przykładzie osuwiska Just ..... | 59 |
| Robert PYRC — Meteorologiczne uwarunkowania ruchów masowych w latach 1997 i 2010 w Beskidzie Wyspowym oraz ich wpływ na wzrost zagrożenia w aspekcie zmian klimatu .....                                                                                                                                  | 61 |
| Wojciech RĄCZKOWSKI — Historia rozpoznania osuwisk i aspekty prawne .....                                                                                                                                                                                                                                 | 62 |
| Jacek RUBINKIEWICZ, Jarosław KACZOROWSKI, Krzysztof KARWACKI — Uwarunkowania geologiczne i geomorfologiczne występowania największego w Polsce kompleksu osuwisk w rejonie Bonarówki (Karpaty zewnętrzne, Pogórze Strzyżowskie) .....                                                                     | 63 |
| Edyta RYCIO — Trudności w wyznaczaniu osuwisk na obszarach historycznych i miejskich na przykładzie Twierdzy Przemysł .....                                                                                                                                                                               | 66 |
| Rafał SIKORA — Rola struktury podłoża w powstawaniu osuwisk na przykładzie rejonu Baraniej Góry (Beskid Śląski) .....                                                                                                                                                                                     | 67 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Anna SZAFARCZYK, Rafał GAWAŁKIEWICZ — Badania deformacji terenu krasowego na podstawie wyników pomiarów geodezyjnych .....                                                                                                                                                                                 | 69 |
| Marta H. TOMASZCZYK — Wykorzystanie trójwymiarowego modelu budowy geologicznej do analizy związku między strukturą podłoża a występowaniem osuwisk na przykładzie zlewni Ochotnicy (Gorce, Karpaty zewnętrzne) .....                                                                                       | 70 |
| Sebastian TYSZKOWSKI, Jarosław CEBULSKI, Krzysztof KISZKA — Doświadczenia w wykorzystaniu skanera TLS dalekiego zasięgu w badaniach procesów geodynamicznych .....                                                                                                                                         | 71 |
| Janusz UKLEJA — Ocena stateczności skarp i zboczy o zdeterminowanej powierzchni poślizgu metodą analizy równowagi przestrzennej bryły odłamu STAB-3D .....                                                                                                                                                 | 73 |
| Krzysztof URBĄŃSKI, Paweł RÓŻAŃSKI, Bartłomiej ĆMIELEWSKI, Bernard KONTNY, Szymon OSTROWSKI, Marcin LASOCKI, Jan FARBISZ, Stanisław MŻYK — Kompleksowe badania geologiczno-geofizyczne na osuwisku w Janowcu (Góry Bardzkie, Sudety) w celu rozpoznania jego budowy strukturalnej i dynamiki rozwoju ..... | 75 |
| Bartłomiej WARMUZ — Oddziaływanie ruchów masowych ziemi na przestrzeń urbanistyczną na przykładzie gmin Mogilany i Świątniki Górne .....                                                                                                                                                                   | 76 |
| Janusz WASOWSKI, Fabio BOVENGA, Raffaele NUTRICATO, Davide Oscar NITTI, Maria Teresa CHIARADIA — Zastosowanie interferometrii satelitarnej o wysokiej rozdzielczości do monitorowania infrastruktury drogowej i kolejowej na obszarach osuwiskowych .....                                                  | 77 |
| Tomasz WOJCIECHOWSKI, Zbigniew PERSKI, Antoni WÓJCIK — Wykorzystanie wysokościowych danych laserowych w badaniu osuwisk .....                                                                                                                                                                              | 79 |
| Tomasz WOJCIECHOWSKI, Antoni WÓJCIK — Podatność i zagrożenia osuwiskowe na fragmencie wschodniego obrzeżenia Jeziora Rożnowskiego w świetle analiz różnicowych LIDAR .....                                                                                                                                 | 81 |
| Antoni WÓJCIK — Błędy rozpoznania i zabezpieczenia – czyli jak nie należy wykonywać prac stabilizacyjnych .....                                                                                                                                                                                            | 82 |
| Radosław WRÓBLEWSKI, Maria RUCIŃSKA-ZJADACZ, Stanisław RUDOWSKI, Patryk SITKIEWICZ, Jarosław NOWAK — Osuwiska podwodne Cypla Helskiego .....                                                                                                                                                               | 83 |
| Rafał ZAPŁATA — Osuwiska jako zagrożenie dla dziedzictwa kulturowego .....                                                                                                                                                                                                                                 | 84 |
| Michał ZATORSKI — Obserwacje dotyczące rozwoju osuwisk subsekwentnych na obszarze Magurskiego Parku Narodowego (Beskid Niski) .....                                                                                                                                                                        | 86 |

## POSTERY

|                                                                                                                                                                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Waldemar BARDZIŃSKI, Ryszard CHYBIORZ, Ewa KUROWSKA — Szczeliny, jaskinie a rozwój osuwisk w Lipowicy (Beskid Niski) .....                                                                                                          | 91  |
| Waldemar BARDZIŃSKI, Ewa KUROWSKA — Zespoły drobnych szczelin i skarp w powierzchniowej warstwie koluwiów na przykładzie osuwiska nr 2621 w Miłowie (Beskid Żywiecki) .....                                                         | 92  |
| Ryszard CHYBIORZ, Dominik JURA, Małgorzata MANOWSKA — Wskaźnik osuwiskowości na obszarze gminy Dukla w Beskidzie Niskim .....                                                                                                       | 94  |
| Piotr DEMCZUK, Tymoteusz ZYDRÓŃ, Mariusz SIŁUCH, Mariusz KLIMEK — Zastosowanie modeli hydrologicznych do wspomagania oceny zagrożenia osuwiskowego na przykładzie wybranych stoków Pogórza Wiśnickiego .....                        | 96  |
| Eugeniusz GIL, Wojciech RĄCZKOWSKI — Osuwisko w dolinie Szklarki w Szymbarku, historia badań .....                                                                                                                                  | 97  |
| Krzysztof JAKUBCZYK, Wojciech SCHNABEL, Agata BEDNARSKA — Osuwisko przy drodze powiatowej nr 1439 w miejscowości Rajcza – metody rozpoznania i obliczenia stateczności .....                                                        | 99  |
| Mieczysław M. KANIA — Analiza wpływu dokładności rozpoznania geologiczno-inżynierskiego na ocenę stateczności skarp i zboczy na terenach zaburzonych glacytektonicznie .....                                                        | 102 |
| Renata KĘPIŃSKA — Model powstania i rozwoju osuwiska na północno-wschodnich stokach Lubogoszcy (Beskid Wyspowy) .....                                                                                                               | 103 |
| Krzysztof KISZKA, Jarosław CEBULSKI, Sebastian TYSZKOWSKI — Rekonstrukcja ruchów masowych dla osuwisk wielkopowierzchniowych z zastosowaniem metody dendrogeomorfologicznej na przykładzie osuwiska Sawickiego (Beskid Niski) ..... | 104 |
| Piotr KŁAPYTA — Aktywność procesów osuwiskowych w masywie Babiej Góry w świetle analiz geomorfologicznych, danych LIDAR oraz wyników testu młotkiem Schmidta .....                                                                  | 105 |

|                                                                                                                                                                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Piotr MIGOŃ, Milena RÓŻYCKA, Aleksandra MICHNIEWICZ, Marek KASPRZAK — Identyfikacja form osuwiskowych na podstawie danych LIDAR – wybrane przykłady z Sudetów Środkowych i Zachodnich .....                                  | 107 |
| Jacek MUCHA — Przydatność badań geomorfologicznych w projektowaniu zabezpieczeń osuwisk karpackich (na przykładzie osuwiska w Tymbarku) .....                                                                                | 108 |
| Wojciech OZIMKOWSKI — Osuwisko na Luboniu Wielkim – porównanie wyników klasycznego kartowania z analizą NMT .....                                                                                                            | 110 |
| Ciechosław PATRZAŁEK, Bartłomiej ĆMIELEWSKI, Izabela WILCZYŃSKA, Paweł DĄBEK, Jan KAZAK — Możliwości wykorzystania bezzałogowych platform latających do monitorowania terenów zagrożonych osuwiskami .....                   | 111 |
| Maria PRZYŁUCKA, Marta H. TOMASZCZYK — Identyfikacja obszarów objętych ruchami masowymi na podstawie automatycznej analizy wysokorozdzielczego numerycznego modelu terenu .....                                              | 112 |
| Rafał SIKORA, Andrzej PIOTROWSKI — Zagrożenia i problemy badawcze osuwisk na Górnym Śląsku .....                                                                                                                             | 113 |
| Anna SZAFARCZYK, Rafał GAWAŁKIEWICZ — Geodezyjny monitoring wybranych osuwisk zlokalizowanych na terenie powiatu krakowskiego jako przykład spełnienia zadań ustawowych starosty .....                                       | 114 |
| Dariusz WIECZOREK — Osuwiska a zagospodarowanie przestrzenne – gmina Pleśna .....                                                                                                                                            | 115 |
| Dariusz WIECZOREK, Marcin KUŁAK — Osuwiska na terenie gminy Pleśna .....                                                                                                                                                     | 117 |
| Tomasz WOJCIECHOWSKI, Teresa MROZEK, Izabela LASKOWICZ, Marcin KUŁAK — Podatność osuwiskowa Polski .....                                                                                                                     | 119 |
| Krzysztof WOJDYŁA, Krzysztof STARZEC, Krzysztof JAKUBCZYK — Osuwisko w ciągu drogi wojewódzkiej 894 w miejscowości Wołkowyja – metody rozpoznania i obliczenia stateczności .....                                            | 120 |
| Antoni WÓJCIK, Tomasz WOJCIECHOWSKI, Zbigniew PERSKI, Piotr WĘŻYK — Osuwiska północnych stoków Babiej Góry – interpretacja numerycznego modelu terenu wygenerowanego z chmury punktów lotniczego skanowania laserowego ..... | 122 |

## WYCIECZKA TERENOWA

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| Osuwisko Just .....                   | 127 |
| Osuwisko w Kłodnem .....              | 128 |
| Osuwiska w Zbyszycach i Kurowie ..... | 130 |

## SŁOWO WSTĘPNE

Problematyka ruchów osuwiskowych jest niezwykle złożona, dotyczy różnych zagadnień z zakresu nauk przyrodniczych i inżynierskich oraz planowania przestrzennego. Osuwiska są przedmiotem badań i pracy specjalistów z dziedziny nauk o Ziemi oraz planistów, projektantów, inżynierów i geotechników. Ich podejście do problemu bywa odmienne, co prowadzi do pewnych rozbieżności w definiowaniu stosowanych pojęć. Geolodzy i inni przedstawiciele nauk przyrodniczych powinni w pierwszej kolejności identyfikować procesy osuwiskowe, a następnie oceniać stopień ich aktywności oraz zasięg powierzchniowy i wgłębny. Kolejnym, choć znacznie trudniejszym zadaniem jest prognozowanie zagrożenia osuwiskowego – czyli określanie, kiedy i gdzie mogą wystąpić kolejne ruchy. Od inżynierów oczekuje się rozwiązań, które pozwolą zaprojektować i eksploatować inwestycje na obszarach występowania osuwisk w taki sposób, żeby ryzyko utraty stateczności stoku i zniszczenia budowli inżynierskich (budynków, dróg itp.) zredukować do minimum.

W badaniach nad osuwiskami można wyróżnić kilka kierunków, w tym:

- szeroko pojęte rozpoznanie zasięgu przestrzennego osuwisk z wykorzystaniem metod kartografii geologicznej, metod zdalnych (lotniczych i satelitarnych), prac wiertniczych, geofizycznych i innych;
- badania wielkości i głębokości przemieszczeń (z zastosowaniem różnych metod pomiarowych – geodezyjnych, fotogrametrycznych – oraz różnych pomiarów w otworach wiertniczych);
- ocenę zagrożenia i ryzyka osuwiskowego;
- sposoby zabezpieczenia infrastruktury budowlanej, komunikacyjnej i przesyłowej;
- określenie wpływu czynników aktywnych i nieaktywnych na rozwój osuwisk.

Wymienione kierunki badań są tematem referatów i posterów przedstawionych na Ogólnopolskiej Konferencji O!SUWISKO w Wieliczce.

Wyniki tych badań mają praktyczne zastosowanie w administracji geologicznej – przy prowadzeniu rejestru terenów zagrożonych ruchami masowymi, planowaniu przestrzennym, prowadzeniu monitoringu i obserwacji, a także zabezpieczaniu różnych obiektów przed negatywnymi skutkami osuwisk. Dokładna inwentaryzacja osuwisk jest pierwszym krokiem do wyznaczenia obszarów potencjalnego zagrożenia dla różnego rodzaju obiektów.

Poruszane zagadnienia są związane z realizacją projektu System Oslony Przeciwośuwiskowej (SOPO), którego celem jest opracowanie skutecznej metodyki zarządzania zagrożeniami wywołanymi ruchami masowymi ziemi oraz sposobu redukcji ryzyka osuwiskowego w Polsce. W wyniku dotychczasowych (2015 r.) prac w Karpatach zlokalizowano znacznie większą liczbę osuwisk i stwierdzono dużo większe ich rozprzestrzenienie, niż wynikało to ze stanu rozpoznania sprzed rozpoczęcia projektu SOPO (2006 r.). Również na obszarze pozakarpackim (np. w Sudetach, na zboczach doliny Wisły i większych jej dopływów, na klifowych wybrzeżach Bałtyku, na terenach występowania pokrywy lessowej) osuwiska są liczniejsze i bardziej niebezpieczne, niż wcześniej przypuszczano.

Na konferencji O!SUWISKO w zasadzie nie są omawiane zagadnienia związane z aparatem pojęciowym dotyczącym osuwisk i z ich klasyfikacją, z kolei zagadnienia związane z wiekiem osuwisk, sposobem jego określania i fazami rozwoju osuwisk są poruszane tylko w nieznacznym stopniu. Wynika to z bardzo małej ilości badań w Polsce poświęconych tym trudnym kwestiom, wymagającym konkretnych datowań utworów koluwalnych. W stosunkowo niewielu pracach podjęto temat ekonomicznego i prognostycznego wykorzystania pozyskanych danych.

Antoni Wójcik





# REFERATY





## STUDIUM ADAPTACJI TECHNIKI KOTEW PŁYWAJĄCYCH SIRIVE SPECIAL JAKO ALTERNATYWNEJ METODY ZABEZPIECZEŃ OSUWISK W KARPATACH FLISZOWYCH

Przemysław BARAN<sup>1</sup>, Tymoteusz ZYDRON<sup>1</sup>, Andrzej T. GRUCHOT<sup>1</sup>, Alberto BISSON<sup>2</sup>,  
Simonetta COLA<sup>2</sup>, Ryszard MURZYN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; e-mail: p.baran@ur.krakow.pl, t.zydron@ur.krakow.pl, rmgrucho@cyf-kr.edu.pl.

<sup>2</sup> University of Padova; e-mail: alberto.bisson@dicea.unipd.it, simonetta.col@unipd.it.

<sup>3</sup> Przedsiębiorstwo Geologiczno-Inżynierskie GEO-INŻ-BUD, Wiśniowa; e-mail: murzyn.r@gmail.com.

Problem osuwisk w południowej Polsce jest zagadnieniem bardzo ważnym z uwagi na coraz częstsze wykorzystywanie terenów znajdujących się na zboczach lub w ich bliskości do celów mieszkalnych, gospodarczych i komunikacyjnych, a także z uwagi na już istniejącą na obszarach osuwiskowych infrastrukturę komunikacyjną i zabudowę mieszkalną. W polskiej części Karpat, gdzie liczba osuwisk jest największa w skali kraju, obszary nimi objęte często zajmują 30–40% powierzchni terenu poszczególnych gmin. Ruchy masowe nasilają się zwykle w czasie długich, intensywnych opadów atmosferycznych oraz w wyniku roztopów wiosennych, co często prowadzi do uszkodzenia lub zniszczenia zabudowy mieszkalnej i gospodarczej, infrastruktury komunikacyjnej, ciągów przesyłowych oraz terenów rolniczych i leśnych.

Podczas projektowania zabezpieczeń należy rozpatrzyć wszystkie sytuacje i oddziaływania ekstremalne. Działania podejmowane w przypadku naruszenia stateczności zbocza powinny polegać przede wszystkim na eliminowaniu przyczyn, które wywołują zagrożenie. W celu poprawy stateczności osuwiska należy w pierwszej kolejności uregulować stosunki wodne i uniemożliwić zawodnienie obszaru koluwium, do czego jest konieczne zaprojektowanie odwodnienia powierzchniowego oraz odpowiednich systemów drenażowych. W drugiej kolejności stabilizuje się koluwia z zastosowaniem metod konstrukcyjnych wykorzystujących beton, stal, żelbet i wykonuje się masywne konstrukcje oporowe, ażurowe konstrukcje oporowe, mury kamienne, palościanki, kotwy, mikropale, gwoździe, zastrzyki, iniekcje strumieniowe, gabiony, ruszty, siatki i przypory na powierzchni zbocza. Wymienione techniki stabilizacji w połączeniu z systemami odwadniającymi, takimi jak drenaże poziome wiercone, wgłębne galerie odwodnieniowe i drenażowe, stanowiły dotąd optymalne rozwiązania techniczne, wiążą się jednak ze znacznymi kosztami, zwłaszcza gdy zabezpieczany obszar ma dużą powierzchnię lub gdy duża jest miąższość osuwających się koluwiów. Konieczne jest więc opracowanie innych metod, które z uwagi na relatywnie niższe koszty będzie można zastosować na różnorodnych osuwiskach i zapewnić ich odpowiednie zabezpieczenie.

Przeanalizowano możliwości zastosowania w Karpatach fliszowych nowatorskiej techniki stabilizacji zboczy osuwiskowych za pomocą systemu kotew pływających SIRIVE Special. Idea tego systemu zrodziła się we Włoszech i ma on patent europejski. System ten wdrożono na wybranych osuwiskach w północnych Włoszech i jest on nadzorowany od strony naukowej przez Uniwersytet w Padwie. Zaletami systemu są m.in. duża głębokość montażu elementów konstrukcyjnych, dochodząca nawet do 55 m, elastyczność i możliwość adaptacji do konkretnych wymiarów terenu chronionego i do dynamiki zachodzącego na nim procesu osuwiskowego. System składa się z trzech zasadniczych elementów: ciężna zewnętrznego półsztywnego w postaci rury, wiązki cięgien elastycznych w otulinie zaczynu cementowego umieszczanych wewnątrz wspomnianej rury oraz zewnętrznego bloku betonowego o odpowiednim kształcie i wymiarach, którego zadaniem jest przeciwdziałanie siłom zsuwającym. Ciężno zewnętrzne wprowadza się w masyw osuwiska standardową techniką wiercenia *self-drilling*.

Referat obejmował opis techniki kotew pływających SIRIVE Special i omówienie budowy geologicznej wybranych osuwisk na terenie Włoch zabezpieczonych tą techniką, a następnie scharakteryzowanie budowy geologicznej wybranego osuwiska w Polsce (Pcim-Sucha, województwo małopolskie), wraz z omówieniem jego zabezpieczenia za pomocą kotew i mikropali. W dalszej kolejności przedstawiono koncepcję oraz koszt zastosowania systemu kotew pływających na osuwisku w Pcimiu-Suchej, a także analizę efektywności tego alternatywnego rozwiązania.

Wstępne wyniki badań osuwiska w miejscowości Val Maso we Włoszech wskazują na dużą efektywność systemu SIRIVE Special pod względem konstrukcyjnym i ekonomicznym w stosunku do kosztów rozwiązań tradycyjnych. Wyniki prowadzonego przez Uniwersytet w Padwie monitoringu przemieszczeń i naprężeń w cięgnach konstrukcji stabilizującej potwierdzają jej poprawne zachowanie oraz ustabilizowanie się procesów osuwiskowych na tym obszarze.

---

## **ZASTOSOWANIE AUTOMATYCZNYCH METOD POMIAROWYCH DO OSTRZEGANIA PRZED ZAGROŻENIEM OSUWISKOWYM**

Zbigniew BEDNARCZYK

Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Poltegor-Instytut, Wrocław; e-mail: zbigniew.bednarczyk@igo.wroc.pl.

Wczesne ostrzeganie o procesach osuwiskowych na podstawie konwencjonalnych metod monitoringu często jest utrudnione. Wpływają na to zazwyczaj: mała częstotliwość pomiarów, kosztowne dojazdy, brak specjalistycznego sprzętu oraz trudności w doborze metod pomiarów odpowiednich do wielkości występujących przemieszczeń. W Polsce mimo zastosowania w niektórych rejonach pomiarów inklinometrycznych (Bednarczyk, 2012; Nescieruk, Rączkowski, 2012) brak jest, jak dotąd, automatycznych systemów pomiarowych instalowanych na osuwiskach. W innych krajach, np. w Norwegii, w USA i we Włoszech, systemy *on line* są stosowane w miejscach, gdzie jest zlokalizowana ważna infrastruktura drogowa, kolejowa lub hydrotechniczna. Oprócz informacji o przemieszczeniach powierzchniowych dużą wartość mają dane dotyczące zasięgu głębokościowego, kierunków, wielkości i prędkości przemieszczeń wgłębnych, które można uzyskać w wyniku pomiarów inklinometrycznych. Automatyczne systemy pomiarowe pozwalają na ciągły zapis mierzonych parametrów, a te bardziej zaawansowane umożliwiają także bezpośrednią transmisję danych do serwerów internetowych i dostęp do danych w czasie rzeczywistym. Żeby przedstawić możliwości tego typu systemów, zaprezentowano technologie automatycznego monitoringu osuwisk zastosowane przez autora na osuwiskach karpackich. Zainstalowany w maju 2010 r. automatyczny system monitoringu jest pierwszym takim systemem w Polsce (Bednarczyk, 2011) i działa od pięciu lat. Instalacja systemu była finansowana w ramach unijnego Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka. System został przetestowany na odcinku drogi powiatowej w rejonie Gorlic. Dane gromadzone są w sposób ciągły w odstępach 10–60 minutowych i transmitowane do internetu. W skład systemu wchodzi urządzenia do pomiaru przemieszczenia wgłębego, ciśnienia porowego oraz głębokości poziomu wód gruntowych. Uzupełniają je czujniki temperatury gruntu, wód gruntowych i powietrza, wielkości opadów, wilgotności powietrza oraz ciśnienia atmosferycznego. System pomiarowy składający się z czterech stacji polowych jest zasilany bateriami litowymi i panelami słonecznymi zapewniającymi jego bezobsługową pracę. Wyniki uzyskane w trakcie prawie pięciu lat pracy systemu wskazują, że możliwości jego zastosowania zależą od kilku czynników. Duże znaczenie mają badania poprzedzające instalację sprzętu. Do prawidłowej instalacji systemu jest niezbędne wcześniejsze poznanie zakresu i szybkości przemieszczeń wgłębnych. Systemy takie instaluje się zazwyczaj w przypadku osuwisk o małej dynamice, przy przemieszczeniach rzędu od kilku milimetrów do kilku centymetrów rocznie, w tym do przewidywania większych ich zakresów. Zastosowany przez autora sprzęt pomiarowy zawiera urządzenia dostosowane do różnych wielkości przemieszczeń. Czujniki jednoosiowe zamontowane w standartowych rurach inklinometrycznych na głębokości powierzchni poślizgu umożliwiają pomiar przemieszczeń o zakresie do ok. 11 cm. Innowacyjny system pomiarowy 3D z sensorami co 0,5 m pozwala na rejestrację znacznie większych przemieszczeń, nawet do ok. 50 cm. Otrzymane wyniki potwierdzają związek między wielkością opadów, zmianą wartości ciśnienia porowego i aktywacją osuwisk. Stwierdzono, że największe przemieszczenia poprzedzał intensywny wzrost i spadek ciśnienia porowego w gruncie. Zwykle następowało to po opadach rzędu 200–250 mm trwających do kilku dni. Zależało to jednak także od początkowej saturacji gruntu. Przy takiej aktywacji system

umożliwia wczesne ostrzeżenie o zagrożeniu osuwiskowym poprzez wysyłanie ostrzeżeń w postaci wiadomości SMS oraz wiadomości e-mail do zdefiniowanych użytkowników po przekroczeniu wprowadzonych wartości progowych. Z badań wynika, że opisana metoda automatycznego monitoringu może być stosowana do przewidywania aktywacji wybranych osuwisk. Metoda ta może być z powodzeniem wykorzystana do przewidywania ruchów osuwiskowych, wczesnego ostrzegania o nich oraz projektowania i kontroli prac stabilizacyjnych. Jej zastosowanie wymaga jednak wcześniejszego wykonania badań geologiczno-inżynierskich i właściwego doboru metody pomiarów do występujących przemieszczeń, ich zakresu głębokościowego i szybkości. Ma to znaczenie ze względu na stosunkowo wysokie koszty sprzętu pomiarowego. Są one jednak znikome w porównaniu z kosztami prac stabilizacyjnych. Oficjalna część projektu została zakończona w 2013 r., ale autor finansuje jego dalszą realizację. W maju 2014 r. jedna ze stacji pomiarowych 3D odnotowała dużą aktywację osuwiska (bardzo blisko maksymalnej możliwości rejestracji przemieszczeń wynoszącej 50 cm). W ciągu pięciu lat pracy systemu zgromadzono ponad 40 000 serii danych pomiarowych, wykorzystanych do ostrzegania o zagrożeniach osuwiskowych i identyfikacji czynników aktywujących osuwiska. Bardziej szczegółowe dane na temat systemów monitoringu można znaleźć w opracowanej przez autora monografii „Metody badań i monitoringu osuwisk” wydanej w 2012 r. przez redakcję czasopisma *Górnictwo Odkrywkowe*.

**Podziękowania.** Autor pragnie podziękować Europejskiemu Funduszowi Rozwoju Regionalnego za finansowanie projektu, Oddziałowi Karpackiemu Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego oraz Stacji Naukowej Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk w Szymbarku za cenne uwagi i pomoc w realizacji prac.

## LITERATURA

- BEDNARCZYK Z., 2011 — Pierwszy w Polsce system wczesnego ostrzegania o zagrożeniu osuwiskowym w czasie rzeczywistym na przykładzie wybranych lokalizacji w Beskidach. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **446**: 1–7.
- BEDNARCZYK Z., 2012 — Geotechnical modelling and monitoring as a basis for stabilization works at two landslide areas in Polish Carpathians. W: *Proceedings of 11th International & 2nd North American Symposium on Landslides*: 1419–1425. Canadian Geot. Soc., Banff, Canada, Balkema, Taylor and Francis.
- NESCIERUK P., RĄCZKOWSKI W., 2012 — Monitoring wgłębny osuwisk karpackich. W: *Geologia jedna?! II Polski Kongres Geologiczny*, Warszawa, 17–19 września 2012 r. Abstrakty: 63–67. WG UW, PTG, Warszawa.

---

## DETEKCJA ZMIAN RZEŻBY TERENU W CZASIE ZA POMOCĄ TECHNIK FOTOGRAMETRYCZNYCH NISKIEGO PUŁAPU

Michał CHOROMAŃSKI, Jacek JÓŹWIAK

FotoRaporty Sp. z o.o., Piaseczno; e-mail: [gis@fotoraporty.pl](mailto:gis@fotoraporty.pl).

Fotogrametria jako dyscyplina naukowa w ostatnich latach przeżywa dynamiczny rozwój. Choć podstawowe metody tworzenia map ze zdjęć lotniczych opracowano blisko 100 lat temu, a idea przetwarzania danych obrazowych pozostaje niezmienna, to jednak dopiero u schyłku XX w. wraz z pojawieniem się cyfrowych systemów zapisu obrazu fotogrametria zaczęła gwałtownie zyskiwać na znaczeniu jako narzędzie do szybkiego i stosunkowo taniego pozyskiwania danych o terenie.

Jedną z najprężniej rozwijających się dziedzin fotogrametrii jest obrazowanie lotnicze z niskiego pułapu za pomocą samolotów bezzałogowych (bądź innych latających jednostek autonomicznych). W niniejszym streszczeniu przedstawiono przykłady produktów fotogrametrycznych wykorzystywanych w monitoringu i kartowaniu osuwisk. Przedmiotem badań jest teren aktywnego osuwiska w miejscowości Zbyszyce (powiat nowosądecki, gmina Gródek nad Dunajcem, numer ewidencyjny osuwiska 12 10 032 18-20).

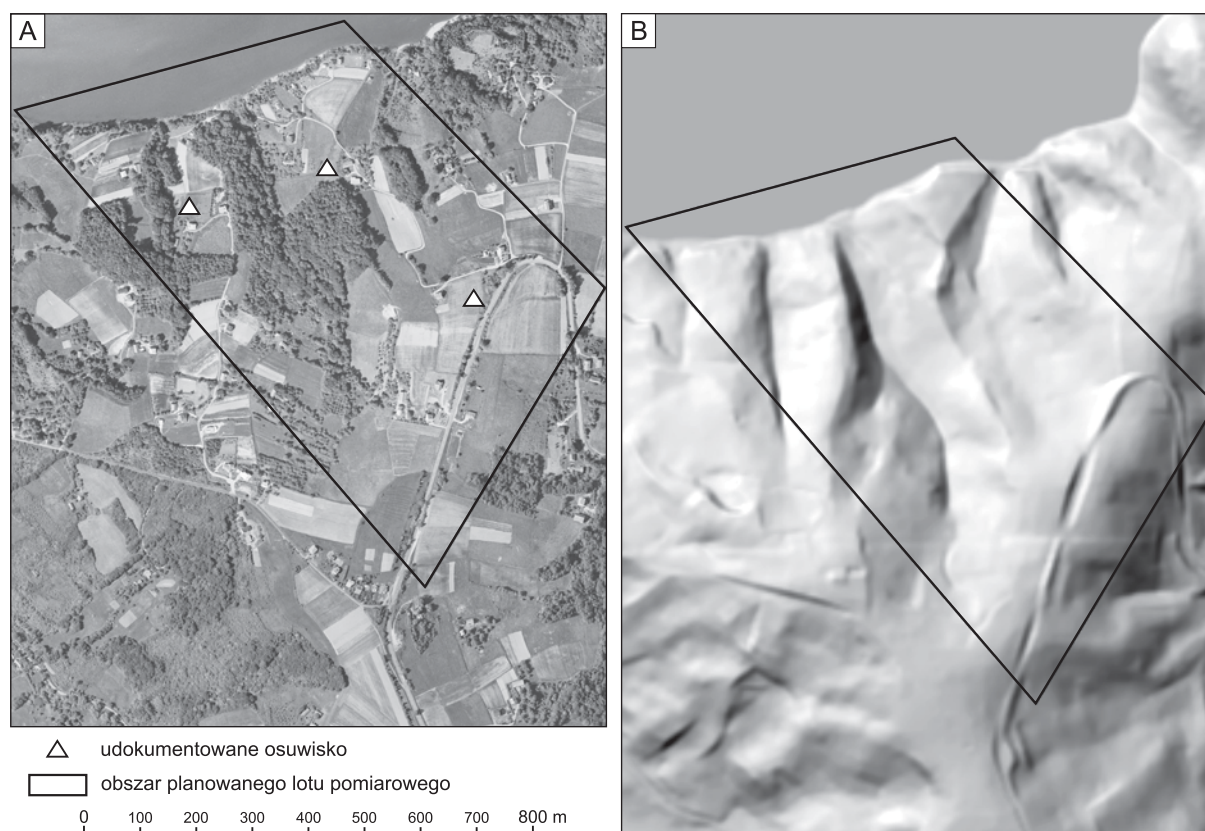


Przystępując do prac, autorzy dysponowali pozyskaną w trakcie realizacji projektu ISOK w 2013 r. chmurą punktów LIDAR o gęstości co najmniej 4 pkt/m<sup>2</sup>. Własny materiał fotolotniczy do opracowań zostanie zebrany w 2015 r.

Na podstawie danych archiwalnych z projektu ISOK zostaną zbudowane: numeryczny model pokrycia terenu (NMPT) i numeryczny model terenu (NMT) w postaci produktów rastrowych zgodnie ze stanem na dzień wykonania skaningu (2013 r.). Po wykonaniu misji fotolotniczej i pozyskaniu własnego materiału zdjęciowego z wykorzystaniem wyspecjalizowanego oprogramowania fotogrametrycznego APS do półautomatycznej obróbki zdjęć lotniczych z samolotów bezzałogowych zostaną sporządzone modele wysokościowe NMPT i NMT. Opracowane modele wysokościowe oraz ortofotomapa o rozmiarze piksela GSD = 5 cm zostaną geometrycznie wpasowane w chmurę punktów. Jako punkty dostosowania zostaną wybrane elementy jednoznacznie identyfikowalne na chmurze, na zdjęciach i w terenie, z zastrzeżeniem, że nie uległy przemieszczeniu w ciągu ostatnich dwóch lat. Takie podejście pozwoli na wykonanie w dalszym etapie analiz różnicowych modeli wysokościowych z dwóch okresów pomiarowych (2013–2015).

Szacuje się, że bezwzględna dokładność wysokościowa chmury punktów z lotniczego skaningu laserowego wynosi  $m_h = \pm 15$  cm, przy czym lokalna dokładność (tzn. w jednym bloku skanowania) może być nawet trzykrotnie większa ( $m_{hL} = \pm 5$  cm). Podobne dokładności uzyskuje się w wyniku automatycznego matchingu obrazów. Empirycznie mierzone odchyłki wysokościowe w punktach kontrolnych wynoszą  $\pm 2$  razy wielkość piksela (dla danego opracowania  $2 \times 5$  cm =  $\pm 10$  cm).

Dzięki wykorzystaniu produktów zbliżonych pod względem jakości geometrycznej możliwe będzie wyznaczenie różnicy między obecnym (2015 r.) a archiwalnym (2013 r.) modelem wysokościowym. W wyniku odejmowania powstanie mapa obrazująca zmianę masy ziemnej: obszar, na którym wysokość terenu wzrosła, będzie miał na mapie wartości dodatnie, a tam, gdzie ziemi ubyło, zaobserwujemy wartości ujemne (wyrażone w metrach). Dodatkowo zostaną policzone objętości mas ziemnych zinter-



**Fig. 1. A. Obszar opracowania na podkładzie ortofotomapy. B. Obszar opracowania na podkładzie cieniowanego numerycznego modelu terenu**

pretowanych jako narzut i ubytek. W przypadku osuwiska idealnego sumaryczne wartości objętości mas ziemnych powinny wynosić zero.

Opracowanie zostanie rozszerzone o wektory przemieszczeń XY dla obiektów jednoznacznie identyfikowalnych (budynki, słupy energetyczne, pnie drzew etc.).

---

## **ROZWÓJ PRZESTRZENNY GMIN W KONTEKŚCIE ZAGROZEŃ OSUWISKOWYCH**

Beata CICHY

Biuro Rozwoju Krakowa S.A., Kraków; e-mail: bcichy@brk.com.pl.

W planowaniu przestrzennym, zgodnie z art. 1 ust. 2 pkt 5 ustawy o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym, uwzględnia się m.in. „wymagania ochrony zdrowia oraz bezpieczeństwa ludzi i mienia...”. Konsekwencją tego zapisu są inne regulacje ustawy, w szczególności art. 15 ust. 1 pkt 7 stanowiący, że w planie miejscowym określa się „granice i sposoby zagospodarowania (...) obszarów osuwania się mas ziemnych”. Wspomniana zasada musi być przestrzegana zwłaszcza tam, gdzie to bezpieczeństwo może być zagrożone i gdzie sposób jego zapewnienia nie jest uregulowany ogólnie obowiązującymi przepisami w sposób adekwatny do stwierdzonych zagrożeń. Dla gminy, wobec której w przypadku zaistnienia klęsk żywiołowych i innych prowadzących do powstania szkód zjawisk przyrodniczych są wysuwane wszelkie roszczenia o odszkodowanie, oskarżenia o brak regulacji, bezczynność itp., miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego musi być jednym z narzędzi przeciwdziałania i zapobiegania negatywnym skutkom sił przyrody. Stąd też w planach miejscowych są przyjmowane rozwiązania, które przede wszystkim mają chronić przed zagrożeniami ludzi i ich mienie, ale również stanowią dowód wzrastającej świadomości samorządów gminnych o zagrożeniach, zwłaszcza że klęski żywiołowe (powodzie, osuwiska) nawiedzają gminy wchodzące w skład Krakowskiego Obszaru Metropolitalnego stosunkowo często.

W pracach nad planami miejscowymi w zakresie zagrożeń osuwiskowych są wykorzystywane dokumentacje wykonane w ostatnich latach przez uprawnioną (w świetle art. 162 i 163 ustawy Prawo geologiczne i górnicze) jednostkę państwową, tj. Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy. Dokumentacje te składają się zarówno z części rysunkowej w skali i o szczególności przydatnej do wykorzystania w celach planistycznych, jak i z części opisowej. Na ich podstawie w planie miejscowym określone zostają granice osuwisk (aktywnych, okresowo aktywnych i nieaktywnych), co skutkuje albo wyłączeniem terenów położonych na stwierdzonych osuwiskach z możliwości zabudowy albo, jeżeli dokumentacja, a przede wszystkim karta rejestracyjna osuwiska taką możliwość wskazują, dopuszczeniem zabudowy na osuwiskach nieaktywnych i okresowo aktywnych. Są to tereny, na których warunkowo zezwala się na zabudowę i w odniesieniu do których sformułowano w ustaleniach planu miejscowego warunki zagospodarowania, w tym zabudowy, w ścisłym nawiązaniu do wskazań zawartych w ww. dokumentacjach.

Regulacje planistyczne mają stanowić informację dla właściciela, inwestora i każdego zainteresowanego o położeniu nieruchomości na obszarze zagrożonym, gdzie zabudowa albo nie jest możliwa, albo jest dopuszczona, jeżeli zostanie to potwierdzone w dokumentacji wykonanej zgodnie z ustaleniami planu. Ze względu na konieczność ochrony mienia, zdrowia i życia ludzi regulacje te są właściwą i uprawnioną merytorycznie i formalnie (stanowisko PIG-PIB) reakcją gminy na zagrożenia osuwiskowe.

---



## **NISKOKOSZTOWE TECHNIKI POMIAROWE W MONITOROWANIU TERENÓW ZAGROŻONYCH RUCHAMI MASOWYMI**

Bartłomiej ĆMIELEWSKI<sup>1</sup>, Bernard KONTNY<sup>2</sup>, Kazimierz ĆMIELEWSKI<sup>2</sup>,  
Izabela WILCZYŃSKA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Wrocławska, Laboratorium Skanowania i Modelowania 3D; e-mail: bartlomiej.cmielewski@pwr.wroc.pl.

<sup>2</sup> Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Geodezji i Geoinformatyki; e-mail: bernard.kontny@up.wroc.pl,  
kazimierz.cmielewski@up.wroc.pl, izabela.wilczynska@up.wroc.pl.

Rozpoznanie zasięgu oraz dynamiki zjawisk ruchów masowych jest jednym z podstawowych zadań realizowanych na terenach objętych lub zagrożonych tymi zjawiskami. Metody monitoringu można podzielić na dwie grupy: powierzchniowe i wglębne. Zasięg osuwiska i stopień deformacji terenu określa się na podstawie obserwacji geodezyjnych bezpośrednich (GNSS, tachymetria elektroniczna, niwelacja geometryczna) i zdalnych (fotogrametria naziemna i lotnicza, skaning laserowy, interferometria radarowa – INSAR lub PINSAR) oraz metod geotechnicznych (np. ekstensometry, szczelinomierze). W przypadku pomiarów wglębnych są prowadzone badania geotechniczne (inklinometry, piezometry itp.). Z uwagi na wysokie koszty instalacji urządzeń pomiarowych i wykonywania pomiarów metody te są stosowane zazwyczaj na osuwiskach dobrze rozpoznanych, o potwierdzonej aktywności i o wysokim stopniu zagrożenia dla ludności oraz obiektów inżynierskich.

Autorzy chcą przedstawić koncepcje zarówno urządzeń prototypowych, jak i już zastosowanych rozwiązań służących do monitorowania obszarów osuwiskowych i znajdujących się na nich obiektów technicznych. Urządzenia te mogą stanowić pewien system wczesnego ostrzegania, który będzie rejestrował wystąpienie pierwszych ruchów gruntu, co stanowiłoby sygnał do rozpoczęcia geodezyjnego i geotechnicznego monitorowania potencjalnego osuwiska. Rozwiązanie takie pozwoliłoby na racjonalne gospodarowanie budżetem przeznaczonym na przeciwdziałanie zagrożeniom osuwiskowym.

---

## **WARUNKI KORZYSTANIA Z TECHNOLOGII NAZIEMNEGO SKANOWANIA LASEROWEGO W MONITOROWANIU I OCENIE ZJAWISK EROZYJNYCH W TERENACH NATURALNYCH I PRZEKSZTAŁCONYCH ANTROPOGENICZNIE**

Paweł DĄBEK<sup>1</sup>, Ciechosław PATRZALEK<sup>2</sup>, Bartłomiej ĆMIELEWSKI<sup>3</sup>, Andrzej BORKOWSKI<sup>4</sup>,  
Romuald ŻMUDA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska; e-mail: pawel.dabek@up.wroc.pl,  
romuald.zmuda@up.wroc.pl.

<sup>2</sup> Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Katedra Gospodarki Przestrzennej; e-mail: ciechoslaw.patrzalek@up.wroc.pl.

<sup>3</sup> Politechnika Wrocławska, Laboratorium Skanowania i Modelowania 3D; e-mail: bartlomiej.cmielewski@pwr.wroc.pl.

<sup>4</sup> Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Geodezji i Geoinformatyki; e-mail: andrzej.borkowski@up.wroc.pl.

Autorzy przedstawili własne doświadczenia ze stosowania technologii naziemnego skanowania laserowego (TLS) w monitoringu i analizach procesów erozyjnych w środowisku naturalnym i na budowach technicznych.

Udoskonalenie i wdrożenie technologii naziemnego skanowania laserowego stwarza nowe możliwości w analizach procesów zachodzących w środowisku, w tym także zjawisk erozyjnych. Technologia TLS umożliwia szybkie i precyzyjne odwzorowanie ukształtowania i zagospodarowania terenu oraz wymiarów budowli technicznych. Wykorzystanie technologii naziemnego skanowania do analizy zjawisk

erozyjnych pozwala odejść od tradycyjnych pomiarów punktowych metodami geodezyjnymi i wykonywać analizy różnicowe modeli mikrorzeźby obiektów. Za stosowaniem TLS przemawiają nie tylko kryteria ekonomiczne w postaci krótkiego czasu wykonania pojedynczej sesji pomiarowej, lecz także łatwość obrazowania. Przede wszystkim TLS odznacza się wysoką rozdzielczością odwzorowania terenu nawet w przypadku obiektów wielkoobszarowych i pozwala na przedstawienie ich w postaci modeli 3D. Umożliwia to dokładne analizy zmian mikrorzeźby i procesów erozyjnych. Wykorzystanie tej technologii pozwala na ocenę zjawisk erozyjnych, zarówno pod kątem natężenia procesów, jak i zdarzeń inicjalnych i intensyfikujących erozję oraz zasięgu obszarowego występujących zjawisk.

Korzystanie z TLS wiąże się z koniecznością opracowania metodyki badań, doboru skanera, powiązania obrazowania z układem odniesienia ogólnym lub własnym obiektu, a także ustalenia rozdzielczości przestrzennej wykonywanej inwentaryzacji. Konsekwencje przyjętej metodyki i parametrów technicznych skanowania będą rzutowały nie tylko na czas i sposób prowadzenia pomiarów, lecz również na wiarygodność i dokładność przeprowadzonych analiz.

Na podstawie pomiarów zjawisk erozyjnych autorzy przedstawili przyjęte zasady wykorzystania TLS i metodykę badań, których dobór przyczynił się do uzyskania wiarygodnych wyników, dzięki zapewnieniu optymalnych warunków realizacji zadania.

---

## **GEOKOMPOZYTY SORBUJĄCE WODĘ JAKO NOWY SPOSÓB ZAPOBIEGANIA PŁYTKIM OSUWISKOM**

Daniel GARLIKOWSKI, Krzysztof LEJCUS, Jolanta DĄBROWSKA, Michał ŚPITALNIAK

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Inżynierii Środowiska; e-mail: daniel.garlikowski@up.wroc.pl, krzysztof.lejcus@up.wroc.pl, jolanta.dabrowska@up.wroc.pl, michal.spitalniak@up.wroc.pl.

Autorzy przedstawili nowatorską metodę retencjonowania wód opadowych za pomocą geokompozytów sorbujących wodę. Zastosowanie tego rozwiązania skutkuje znaczącą poprawą warunków wodnych w glebie. Ustabilizowanie wilgotności gleby odgrywa kluczową rolę w rozwoju roślin. Trawy i krzewy stanowią naturalne zabezpieczenie biotechniczne takich elementów krajobrazu, jak skarpy, stoki czy skłony. W skrajnych przypadkach (np. powódź) zabezpieczenie biotechniczne może minimalizować ryzyko zniszczenia obwałowań przeciwpowodziowych w sytuacji, kiedy woda przelewa się przez koronę wału i spływa po stronie odpowietrznej obwałowania.

Zazielenianie skarp oraz intensyfikacja rozwoju systemu korzeniowego roślin wymagają dużej ilości wody, która dostarczana jest w postaci opadu. Woda zmagazynowana w warstwie humusu i w podścielającym go gruncie to woda kapilarnie zawieszona i higroskopijna. Woda zgromadzona w powierzchniowej warstwie gruntu nie wystarcza do zaspokojenia potrzeb roślin. Rozwiązaniem tego problemu może być zastosowanie geokompozytów sorbujących wodę.

Podczas referatu omówiono wyniki doświadczenia przeprowadzonego na skarpie wyeksploatowanej kopalni piasku. Czterdziestometrowej długości skarpe o nachyleniu 1:3 i dwudziestometrowym boku podzielono na osiem pól doświadczalnych. W czterech poletkach, na różnych głębokościach, zaaplikowano geokompozyty sorbujące wodę, a pozostałe cztery stanowiły poletka kontrolne. Obserwacje prowadzono przez trzy lata. Analizowano suchą masę korzeni traw, oceniano długość korzeni oraz odporność na ścinanie pobranych próbek gruntu przerośniętych trawą. Próbkę do oceny długości pobierano za pomocą metalowych cylindrów o średnicy 10 cm i długości 30 cm. Próbkę do aparatu bezpośredniego ścinania pobierano za pomocą metalowych kaset o wymiarach 15 × 15 cm. Średnia sucha masa korzeni z poletek z geokompozytem powierzchniowym wyniosła odpowiednio 4,56 i 6,34 g, a z poletek bez geokompozytu – 2,91 i 3,04 g. W przypadku poletek, gdzie zainstalowano geokompozyt liniowy, masa wyniosła 6,29 i 7,05 g, podczas gdy dla poletek kontrolnych – 0,98 i 6,81 g. Kolejnym elementem oceny biometrycznej pokrycia biotechnicznego była średnia długość korzeni. W 2011 r. średnia długość

korzeni na czterech pierwszych poletkach wahała się od 19,0 do 21,0 cm. Na poletkach z geokompozytem średni przyrost korzeni traw był większy (23,5 i 29,0 cm) niż na poletkach kontrolnych (21,0 i 22,0 cm). W 2013 r. przeciętna długość korzeni na poletkach z geokompozytem była większa od długości korzeni na poletkach kontrolnych średnio o 1,4–7,6 cm. Zwiększająca się długość i grubość korzeni przekłada się na zwiększony opór ścinania. Różnice dochodziły do 10 kPa na korzyść poletek z geokompozytem.

Opisane rozwiązanie opracowano na Uniwersytecie Przyrodniczym we Wrocławiu w ramach projektu „Geokompozyty sorbujące wodę – innowacyjne technologie wspomagające vegetację roślin”. Wynalazek jest chroniony patentem krajowym numer PL 211198, został też zgłoszony w międzynarodowym trybie PCT (PCT/PL2011/050008).

---

## **GEODEZYJNE BADANIA STABILNOŚCI BUDOWLI ZIEMNEJ NA PRZYKŁADZIE WYBRANYCH ZABYTKOWYCH KOPCÓW KRAKOWSKICH**

Rafał GAWAŁKIEWICZ, Anna SZAFARCZYK

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie; e-mail: rgawal@wp.pl, szafarcz@agh.edu.pl.

Kopce jako budowle pochodzenia antropogenicznego o bardzo delikatnej strukturze podlegają ciągłym zmianom, a wskutek oddziaływania czynników zewnętrznych (długotrwałe opady, wstrząsy) często ulegają deformacjom w postaci ruchów masowych. Ruchy te przeważnie mają charakter łagodnego ślizgania gruntu w czasie, jednak niekiedy, w wyniku nagłej utraty stateczności, mogą powstać poważne uszkodzenia w formie osunięć mas ziemnych. Zjawisko to powoduje zazwyczaj okresowe wyłączenie fragmentu lub całego obiektu z użytkowania i pociąga za sobą znaczne koszty likwidacji osuwiska. Obowiązek opieki nad zabytkowymi krakowskimi kopcami spoczywa na ich właścicielach lub prawnych opiekunach. Wynika to z wielu przepisów prawnych, w tym z:

- ustawy z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane z późniejszymi zmianami (DzU 1994 Nr 89, poz. 414);
- ustawy z dnia 23 lipca 2003 r. o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami z późniejszymi zmianami (DzU z 17 września 2003 r. Nr 162, poz. 1568);
- ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo o ochronie środowiska (DzU 2001 Nr 62, poz. 627);
- zarządzenia prezydenta miasta Krakowa nr 1223/2007 z dnia 4 czerwca 2007 r.;
- ustawy z dnia 18 kwietnia 2002 r. o stanie klęski żywiołowej (DzU 2002 Nr 62, poz. 558).

Opieka nad tego rodzaju obiektami geotechnicznymi polega na prowadzeniu prac konserwacyjnych w ramach profilaktyki budowlanej, zabezpieczenia powierzchni kopców przy wykorzystaniu najnowszych technologii budowlanych w zakresie hydroizolacji, a także monitoringu geodezyjnym zmian geometrii obiektu w czasie jako wyniku zmian zachodzących w ośrodku gruntowym pod wpływem oddziaływania czynników atmosferycznych oraz innych czynników środowiskowych wywołujących odkształcenia. Część osuwisk powstałych na przestrzeni lat w strukturach krakowskich kopców doczekała się kart informacyjnych (kopce Kościuszki i Piłsudskiego), a w odniesieniu do obowiązujących przepisów prawnych także finansowania ich likwidacji. Część z nich, z uwagi na mniejszy zakres uszkodzeń (mniej widoczny), nie została poddana likwidacji, a proces ich deformacji przypomina model z teorii Terzagiego. Wykorzystanie nowoczesnych technologii geodezyjnych pozwala nie tylko na prowadzenie szczegółowej inwentaryzacji tego typu budowli geotechnicznych (wyznaczenie parametrów morfometrycznych), lecz także – przede wszystkim – na monitoring zmian ich geometrii w czasie. Właściwie zdefiniowane pole badawcze oraz należyty dobór technologii pomiarowej pod kątem dokładności metody względem spodziewanych zmian mogą pomóc w określeniu wielkości deformacji, a także w wybraniu sposobu skutecznego zabezpieczenia zabytkowych kopców. W przypadku obserwacji obiektów geotechnicznych wielkość deformacji można wyznaczyć dzięki monitoringowi:

– punktowemu, na podstawie sieci punktów kontrolnych (stabilizacja w formie trwałych punktów modułowych typu PLASTMARK) stabilizowanych na powierzchni badanego obiektu, prowadzonemu metodami poligonizacji i GNSS, gwarantującymi wyznaczenie przemieszczeń poziomych i pionowych z wysoką dokładnością;

– obszarowemu, w ramach którego obserwuje się wybrany fragment lub całość powierzchni budowli (zboża) z zastosowaniem technologii niewymagających stabilizacji sieci punktów, ale gwarantujących właściwą rozdzielczość pomiarów (tachimetria, GNSS, skaning laserowy, fotogrametria cyfrowa).

W opracowaniu przedstawiono wyniki monitoringu i sposoby analizy danych przestrzennych pozyskanych z wykorzystaniem technologii geodezyjnych w ramach pomiarów zintegrowanych prowadzonych na Kopcu Wandy. Wykorzystanie zintegrowanych technologii pomiarowych oraz specjalistycznego oprogramowania pozwala na kompleksową ocenę stopnia deformacji budowli oraz określenie kierunków zmian w czasie, a także na wyodrębnienie stref anomalnych w ramach prowadzonego monitoringu osuwiskowego.

## MATRYCA OCENY RYZYKA ZAGROŻEŃ OSUWISKOWYCH NA PODSTAWIE NORMALIZACJI DANYCH I ZBIORÓW ROZMYTYCH

Piotr GAŚKA, Agnieszka PEKAŁA, Izabela SKRZYPCZAK

Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, Katedra Geodezji i Geotechniki im. Kaspra Weigla;  
e-mail: pitg@prz.edu.pl, apekala@prz.edu.pl, izas@prz.edu.pl.

Osuwiska należą do procesów przyrodniczych prowadzących do katastrof naturalnych lub awarii technicznych, których skutki zagrażają życiu, zdrowiu i mieniu ludzi. W klasyfikacji klęsk żywiołowych i zagrożeń występujących na świecie osuwiska znajdują się na piątym miejscu, i to zarówno pod względem liczby ofiar, jak i pod względem strat materialnych (Wysokiński, Frankowski, 2013). Zapobieganie skutkom klęsk żywiołowych oraz ocena ryzyka są więc bardzo istotnymi zagadnieniami.

Przedstawiono koncepcję budowy matrycy oceny ryzyka zagrożenia osuwiskiem przy wykorzystaniu metody normalizacji danych (Hellwig, 1968) oraz zbiorów rozmytych (Yager, Filiev, 1985). Pozwoli ona m.in. w ilościowy i obiektywny sposób uchwycić zależności między podatnością danego stoku na osuwanie a jego parametrami.

Analizę ryzyka zagrożenia osuwiskowego wykonano i przedstawiono w odniesieniu do dwóch wybranych osuwisk z województwa podkarpackiego objętych programem SOPO. Na powszechność występowania osuwisk w tym województwie wpływa obecność w podłożu utworów fliszowych, zwłaszcza łupków, oraz obecność pokryw zwietrzelinowych. Podatność systemu stokowego na osuwanie wynika ze zróżnicowania stokowych warunków wewnętrznych. Takie cechy jak np. kąt nachylenia stoku, miąższość zwietrzeliny, występowanie dawniejszej aktywności osuwiskowej oraz dyslokacje wpływają na prawdopodobieństwo ryzyka osunięcia. Wybrane cechy posłużyły do utworzenia matrycy ryzyka osuwiskowego; zestawiono je wraz z ich wagami w tabeli 1. Autorzy omówili dwie główne kwestie identyfikacji

**Tab. 1. Zdefiniowane cechy systemu stokowego oraz parametry i ich wagi**

| Grupa tematyczna/ Cecha | Osuwisko 1 | Osuwisko 2 | Waga |
|-------------------------|------------|------------|------|
| Fizjograficzne          |            |            |      |
| Pogórze Dynowskie       | 1          | 1          | 1,00 |
| Tektoniczne             |            |            |      |
| Dyslokacje uskokowe     | 1,00       | 1,00       | 0,60 |
| Dyslokacje fałdowe      | 0,00       | 1,00       | 0,40 |

Tab. 1. cd.

| Grupa tematyczna/ Cecha                        | Osuwisko 1 | Osuwisko 2 | Waga |
|------------------------------------------------|------------|------------|------|
| Hydrologiczne i hydrogeologiczne               |            |            |      |
| Maksymalna głębokość wód gruntowych [m p.p.t.] | 20         | 7,7        | 0,30 |
| Przeciętna średnia opadów [mm/m <sup>2</sup> ] | 650        | 550        | 0,50 |
| Wody szczelinowo-porowe                        | 1          | 0          | 0,20 |
| Litologiczne                                   |            |            |      |
| Osuwisko pierwotne/ flisz                      | 1          | 0          | 0,50 |
| Osuwisko wtórne/ flisz                         | 0          | 1          | 0,50 |
| Morfometryczne                                 |            |            |      |
| a) ogólne                                      |            |            |      |
| powierzchnia całkowita [ha]                    | 30         | 26,5       | 0,01 |
| nachylenie [°]                                 | 7          | 14         | 0,25 |
| długość [m]                                    | 965        | 330        | 0,01 |
| szerokość [m]                                  | 490        | 300        | 0,01 |
| wysokość maksymalna [m n.p.m.]                 | 343        | 330        | 0,10 |
| wysokość minimalna [m n.p.m.]                  | 230        | 268        | 0,03 |
| część innego osuwiska [ha]                     | 0          | 1          | 0,01 |
| b) główna skarpa osuwiskowa                    |            |            |      |
| wysokość skarpy [m]                            | 8          | 4          | 0,07 |
| kąt nachylenia [°]                             | 45         | 25         | 0,12 |
| skarpy wtórne [szt.]                           | 3          | 0          | 0,01 |
| szczeliny inicjalne [szt.]                     | 0          | 0          | 0,01 |
| c) jęzor i koluwium                            |            |            |      |
| średnia miąższość [m]                          | 20         | 6,95       | 0,03 |
| plaszczyny poślizgu                            | 1          | 3          | 0,07 |
| Infrastruktura terenu                          |            |            |      |
| Bardzo zabudowany                              | 1          | 0          | 0,60 |
| Średnio zabudowany                             | 0          | 1          | 0,40 |

|    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|
| RH | RH | RH | RH | RH | RH |
| RH | RH | RH | RH | RH | O1 |
| RM | RM | RM | RM | RH | RH |
| RM | RM | RM | O2 | RM | RH |
| RM | RM | RM | RM | RH | RH |
| RL | RM | RM | RM | RH | RH |

Fig. 1. Przykładowa matryca oceny ryzyka

Objaśnienia: RH – ryzyko wysokie, RM – ryzyko średnie, RL – ryzyko niskie, O1 – osuwisko pierwsze, O2 – osuwisko drugie



oraz klasyfikacji ryzyka. Przedstawiono metodę kalibracji docelowych poziomów oceny ryzyka na podstawie koncepcji zbiorów rozmytych. Autorzy, korzystając z koncepcji zbiorów rozmytych, zmodyfikowali podejście do oceny ryzyka na podstawie metod statystycznych i rozmytych (fig. 1).

## LITERATURA

- HELLWIG Z., 1968 — Zastosowanie metody taksonomicznej do typologicznego podziału krajów ze względu na poziom rozwoju. *Prz. Stat.*, **4**: 307–327
- WYSOKIŃSKI L., FRANKOWSKI Z., 2013 — Problemy zagospodarowania zboczy wysoczyzn i dolin rzecznych. W: XI Międzynarodowe Targi Geologiczne GEO-EKO-TECH. Warszawa.
- YAGER R., FILEV D., 1995 — Podstawy modelowania i sterowania rozmytego. WNT, Warszawa.

---

## III ETAP PROJEKTU SOPO – KONTYNUACJA I NOWE TRENDY

Dariusz GRABOWSKI<sup>1</sup>, Tomasz WOJCIECHOWSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa; e-mail: [dariusz.grabowski@pgi.gov.pl](mailto:dariusz.grabowski@pgi.gov.pl).

<sup>2</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, Kraków; e-mail: [tomasz.wojciechowski@pgi.gov.pl](mailto:tomasz.wojciechowski@pgi.gov.pl).

Trzeci etap projektu SOPO jest zaplanowany na siedem lat (2016–2022) jako kontynuacja prac wcześniejszych. Główne zadania, które zostaną wykonane w tym czasie, to: opracowanie map osuwisk kolejnych gmin karpackich (52 gminy w granicach województw podkarpackiego i śląskiego), monitoring aktywności osuwisk zagrażających infrastrukturze krytycznej, a także stworzenie systemu wczesnego ostrzegania o zagrożeniu osuwiskowym.

Wyniki prac inwentaryzacyjnych oraz prowadzonych równoległe z nimi prac interwencyjnych będą na bieżąco wprowadzane do bazy danych SOPO. W trzecim etapie projektu większe znaczenie będzie miało wykorzystanie danych pozyskanych z najnowszych systemów pomiarowych. Dotyczy to zarówno prac kartograficznych, w których dużym wsparciem będą dane z lotniczego skaningu laserowego, jak i monitoringu, w ramach którego wdrażane będą nowe technologie pomiarowe. Planowane jest założenie na jednym z monitorowanych osuwisk systemu pomiarowego pracującego w czasie rzeczywistym (*on line*).

Dotychczasowe wyniki projektu SOPO (które będą uzupełniane w trakcie dalszej realizacji projektu) umożliwiają budowę systemu wczesnego ostrzegania o zagrożeniu osuwiskowym, stanowiącego ważny krok w strategii redukcji ryzyka. System oparty będzie na ujednoliconej mapie podatności osuwiskowej oraz prognozie zagrożeń osuwiskowych, uwzględniającej dane meteorologiczne. Możliwe będzie generowanie raportów i komunikatów ostrzegawczych oraz innych produktów (m.in. map, opracowań, ekspertyz) przeznaczonych dla różnych grup odbiorców. Możliwe stanie się również określanie zagrożeń i ryzyka związanego z ruchami masowymi.

Bardzo istotnym elementem kompletnej i skutecznej strategii redukcji ryzyka osuwiskowego w Polsce jest współpraca różnych grup zawodowych i administracji państwowej, zajmujących się zagrożeniami osuwiskowymi. Taka współpraca państwowej służby geologicznej i administracji rozpoczęła się już w czasie poprzedniego etapu projektu SOPO. Podczas trzeciego etapu będzie ona kontynuowana, ale w szerszym zakresie, obejmującym także współpracę z projektantami, konstruktorami, architektami, urbanistami, prawnikami, ubezpieczycielami oraz pracownikami zajmującymi się statystyką państwową (GUS). Skuteczne przeciwdziałanie ruchom masowym wymaga wspólnego wysiłku fachowców z różnych dziedzin. Ograniczanie zagrożenia osuwiskowego nie powinno skupiać się wyłącznie na zakazach budowania nowych obiektów na obszarach osuwiskowych, ale powinno prowadzić w przy-



sztłości do wypracowania metod konstrukcji obiektów częściowo odpornych na ruchy osuwiskowe. Tego typu trendy obserwuje się obecnie w wielu miejscach na świecie.

W trzecim etapie projektu SOPO zostanie zakończone opracowywanie map osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi na obszarze Karpat. Kolejnym celem inwentaryzacji będzie obszar Polski pozakarpackiej, gdzie skala problemu ruchów masowych (ograniczonych głównie do zboczy większych dolin rzecznych) oraz skala zagrożeń i zniszczeń wywołanych osunięciami są znacznie mniejsze, ale również wymagają one opracowania map osuwisk w skali 1:10 000 do planowania przestrzennego.

---

## **ZASTOSOWANIE BEZZAŁOGOWYCH APARATÓW LATAJĄCYCH (BAL) W KARTOWANIU I MONITORINGU OSUWISK W KARPATACH**

Marek GRANICZNY<sup>1</sup>, Zbigniew KOWALSKI<sup>1</sup>, Wieńczysław PLUTECKI<sup>2</sup>, Antoni WÓJCIK<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa; e-mail: marek.graniczny@pgi.gov.pl, zbigniew.kowalski@pgi.gov.pl.

<sup>2</sup> TAXUS SI Sp. z o.o., Warszawa.

<sup>3</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, Kraków; e-mail: antoni.wojcik@pgi.gov.pl.

Bezzałogowy aparat latający (BAL), po angielsku zwany *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), to rodzaj aparatu lotniczego pilotowanego zdalnie albo wykonującego lot automatycznie. Obecnie niemal na całym świecie są prowadzone intensywne prace nad konstrukcją i wdrożeniem urządzeń zaprojektowanych przede wszystkim do prowadzenia różnorodnych działań bojowych. Bezzałogowe statki latające mają również zastosowanie cywilne oraz w badaniach naukowych. Urządzenia te są wykorzystywane do mierzenia grubości warstwy ozonowej, tworzenia map zbiorników wody spływającej podczas roztopów, rejestrowania stanu pokrywy lodowej, mierzenia grubości lodu, badania zanieczyszczenia atmosfery i przepływu aerozoli nad Oceanem Spokojnym, monitorowania zagrożenia pożarowego, granic państwowych itp.

Coraz częściej bezzałogowe aparaty latające stosuje się również do sporządzania precyzyjnych modeli terenu oraz monitorowania różnego typu katastrof i zagrożeń przyrodniczych (np. powodzi czy też powierzchniowych ruchów masowych). Można je również wykorzystywać do monitoringu eksploatacji w kopalniach odkrywkowych. W trakcie referatu przedstawiono przykład zastosowania BAL do poprawnej identyfikacji i monitoringu osuwiska w Kłodnem w Karpatach.

Osuwisko w Kłodnem koło Limanowej znajduje się w południowo-wschodniej części grzbietu Jaworza, będącego częścią Beskidu Wyspowego. Osuwisko utworzyło się po opadach w maju 2010 r. Na zdjęciach lotniczych wykonanych do 2009 r. nie stwierdzono obecności osuwiska na tym terenie, widać na nich natomiast duże osuwisko skalne położone na wschód od osuwiska powstałego w 2010 r. Ruchy grawitacyjne rozpoczęły się z 31 maja na 1 czerwca 2010 r., a ich największą intensywność obserwowano przez kilka kolejnych dni zarówno w strefie skarpy głównej, jak i w strefie czoła osuwiska. Nowe osuwisko powstało w wyniku procesów grawitacyjnych, które zaszły 31 maja i 1 czerwca 2010 r. Nocą 1 czerwca ruchy były już na tyle intensywne, że spowodowały uszkodzenia 18 budynków mieszkalnych i zabudowań gospodarczych, przez co konieczne okazało się wykwaterowanie mieszkańców. W ciągu następnej doby całkowitemu zniszczeniu uległo 17 budynków zamieszkałych stale (Chowaniec i in., 2012). Przemieszczenia mas skalnych w górnej części osuwiska w pierwszych dniach ruchu wyniosły od kilku do ponad 50 m. Do końca 2010 r. przemieszczenia poziome wyniosły co najmniej 80 m, obniżenia pionowe poniżej skarpy głównej – ok. 20 m, a wypiętrzenia w dolnej części jezora osuwiska – 8 m (Wójcik i in., 2011).

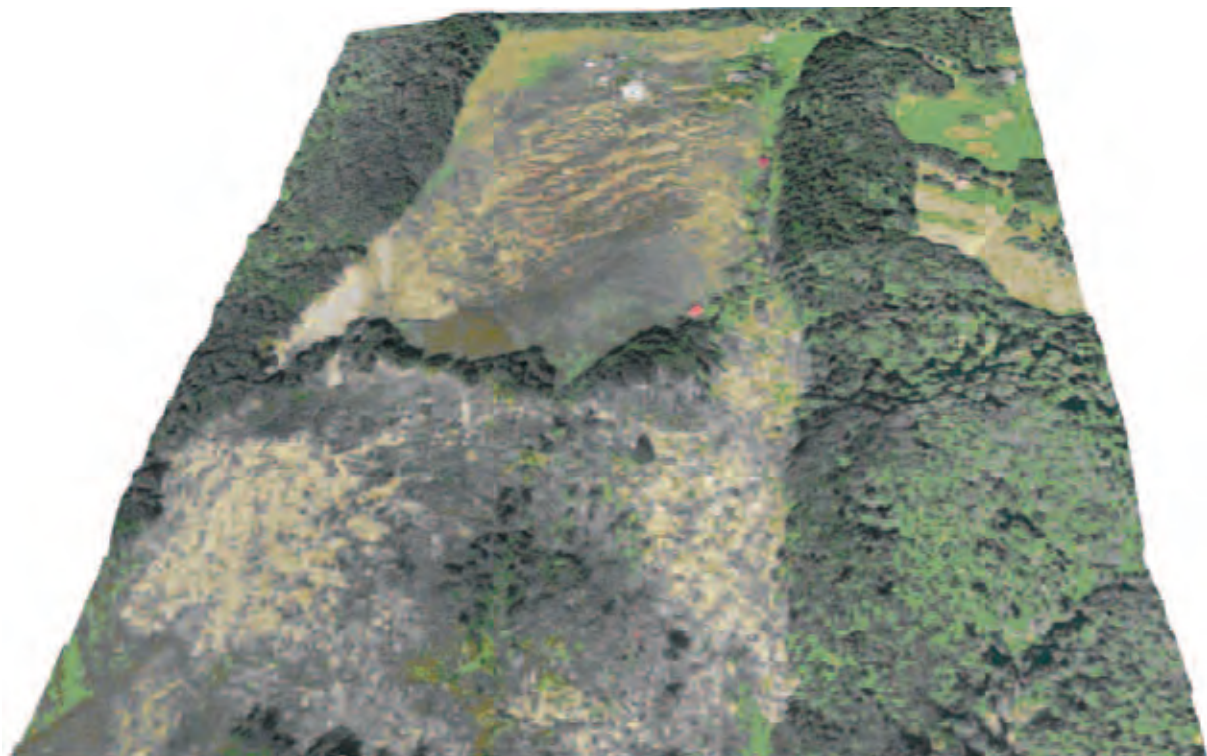
Na osuwisku w Kłodnem wykonano badania metodyczne, wykorzystując m.in. sieć pomiarów GPS, lotniczy skaning laserowy (ALS) i analizę danych interferometrycznych (TerraSAR-X oraz TanDEM-X).

Wyniki badań potwierdziły mobilność osuwiska oraz umożliwiły wykonanie map przemieszczeń pionowych w okresie od czerwca do listopada 2010 r.

Eksperymentalne loty z wykorzystaniem bezzałogowego aparatu latającego AVI-1, udostępnionego Państwowemu Instytutowi Geologicznemu – Państwowemu Instytutowi Badawczemu przez firmę TAXUS SI, wykonano 2 sierpnia 2011 r., rok po katastrofalnych wydarzeniach. Warto dodać, że była to pierwsza próba wykorzystania BAL do badań osuwisk w Karpatach. Lot fotogrametryczny odbył się w rejonie osuwiska w Kłodnem o powierzchni 1,2 km<sup>2</sup>. Łącznie zostało wykonanych 150 pionowych zdjęć, zrobionych z wysokości 250–400 m nad osuwiskiem. Pokrycie podłużne zdjęć wynosiło 80%, a pokrycie poprzeczne 60%. Po wykonaniu aerotriangulacji metodą niezależnych wiązek uzyskano ortofotomozaikę o rozdzielczości terenowej 15 cm oraz numeryczny model pokrycia terenu (NMPT; fig. 1). Cyfrowy model terenu porównano z modelami opracowanymi na podstawie lotniczego skaningu laserowego, wykonanymi przez firmę MGGP w 2010 r. (w ramach projektu ISOK) oraz pomiarami kontrolnymi GPS.

Z analizy wynika, że numeryczny model powierzchni terenu ma dokładność sytuacyjną (składowe X i Y) porównywalną z lotniczym skanowaniem laserowym z projektu ISOK i wynosi ona ok. 0,5 m, jednak dokładność wysokościowa (składowa Z) chmury punktów z BAL jest prawie dwukrotnie niższa od dokładności ALS i w skrajnych przypadkach przekracza 0,5 m. Mniejsza dokładność wynika z występowania artefaktów, a w szczególności z dużego wpływu wegetacji na proces generowania modelu numerycznego. Z analizy porównawczej danych z ALS (2010 r.) oraz z BAL (2011 r.) wynika, że na terenie Kłodnego nie doszło do większych przemieszczeń powierzchni terenu, które mogłyby wskazywać na aktywizację ruchów osuwiskowych.

Uzyskane wyniki w pełni potwierdziły potencjał i użyteczność bezzałogowych aparatów latających do badania powierzchniowych ruchów masowych, tj. osuwisk, obrywów, spływan czy osiadań (Niethammer i in., 2010). Ta nowa technologia powinna znaleźć zastosowanie w monitoringu małych obszarów (o wielkości kilku kilometrów kwadratowych), takich jak np. osuwiska karpackie. Nie bez znaczenia – w porównaniu z technologią lotniczego skanowania laserowego – są niskie koszty użycia bezzałogowych aparatów latających oraz szybkość reakcji. Dodatkową zaletą jest bardzo szybki postęp



**Fig. 1. Osuwisko w Kłodnem – numeryczny model powierzchni terenu na tle ortomozaiki opracowany na podstawie danych z BAL**

technologii bezzałogowych aparatów latających polegający na instalowaniu na nich ultralekkich skanerów laserowych. Jednym z przykładów takiego rozwiązania jest amerykański Phoenix AL 2/3 UAV LIDAR Octocopter o wadze 3,5 kg – jego dokładność to 2–3 cm.

## LITERATURA

- CHOWANIEC J., WÓJCIK A., MROZEK T., RĄCZKOWSKI W., NESCIERUK P., PERSKI Z., WOJCIECHOWSKI T., MARCINIEC P., ZIMNAL Z., GRANOSZEWSKI W., 2012 — Osuwiska w województwie małopolskim. Atlas – przewodnik. Dep. Środ., Roln. Geod. Urzędu Marszałk. Woj. Małop., Zesp. Geol., Kraków.
- NIETHAMMER U., ROTHMUND S., JAMES M.R., TRAVELLETTI J., JOSWIG M., 2010 — UAV-based remote sensing of landslides. *Int. Arch. Photogramm., Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, **38**, 5, Commission V Symposium, Newcastle, UK: 496–501.
- WÓJCIK A., PERSKI Z., BORKOWSKI A., WOJCIECHOWSKI T., 2011 — Zastosowanie danych teledetekcji lotniczej i satelitarnej do badania dynamiki czynnych osuwisk w 2010 r. na przykładzie osuwiska w Kłodnem koło Limanowej. W: „Współczesne technologie w świetle zabezpieczenia infrastruktury drogowej przed klęskami żywiołowymi”, Zakopane, 30 marca–1 kwietnia 2011 r. (materiały konferencyjne): 111–120.

---

## ZASTOSOWANIE SYMULACJI NUMERYCZNYCH DO OCENY STATECZNOŚCI OSUWISKA W BRZÓZÓWCE KOŁO KRAKOWA

Michał GRODECKI, Bernadetta PASIERB, Rafał GWÓZDŹ

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska, Instytut Geotechniki; e-mail: mgrode@pk.edu.pl, bettk@pk.edu.pl, rgwozd@pk.edu.pl.

Dzięki zintegrowanej interpretacji wyników badań geotechnicznych i geofizycznych można wyznaczyć parametry powstałego osuwiska, przedstawić jego strukturę w postaci obrazu 2D i 3D oraz odtworzyć zachodzące w nim procesy. Podane wyniki otrzymano na podstawie pomiarów prowadzonych w miejscowości Brzozówka pod Krakowem, na zboczu, na którym procesy osuwiskowe trwają już od kilkudziesięciu lat. Badania prowadzono na poletku doświadczalnym, dla którego nie istnieje dokumentacja geologiczno-inżynierska. Prace polowe obejmowały pomiary geofizyczne (metodą tomografii elektrooporowej – ERT) oraz geotechniczne (sondowania statyczne – CPTU – i wiercenia). Wykonano również badania laboratoryjne próbek gruntów pobranych w terenie. Uzyskany na podstawie pomiarów ERT model budowy geologicznej osuwiska zawierający informacje z badań geotechnicznych i laboratoryjnych posłużył do ustalenia założeń niezbędnych do wykonania numerycznych analiz stateczności osuwiska w różnych warunkach nawodnienia warstwy gruntów pylastych. Obliczenia przeprowadzono z wykorzystaniem metody elementów skończonych w programie ZSoil.PC. Stateczność analizowano metodą proporcjonalnej redukcji parametrów wytrzymałościowych gruntu (redukcji  $c-\Phi$ ). Wyniki obliczeń miały posłużyć do określenia, w jakich warunkach gruntowych (przy jakich parametrach wytrzymałościowych warstwy pyłów) i wodnych (przy jakim nawodnieniu) następuje utrata stateczności (metoda analizy wstecznej). Uzyskane numeryczne modele utraty stateczności (powierzchnie poślizgu) porównano z wynikami obserwacji terenowych. Potwierdzono zgodność powierzchni poślizgu wyznaczonych na podstawie symulacji numerycznych z powierzchniami obserwowanymi w terenie, co świadczy o poprawności modelu numerycznego. Stwierdzono że osuwisko uaktywnia się przy znacznym nawodnieniu zbocza, co jest zgodne z obserwacjami terenowymi.

Zastosowanie analizy numerycznej daje możliwość prognozowania zachowania się osuwiska w wyniku zmian wilgotności naturalnej podłoża gruntowego. Wyniki można również wykorzystać do prognozowania wystąpienia procesów osuwiskowych w podobnych warunkach geologicznych.

---

# **CZASOPRZESTRZENNA ANALIZA RUCHU OSUWISKOWEGO METODĄ INTERFEROMETRII SEJSMICZNEJ NA PRZYKŁADZIE OSUWISKA TĘGOBORZE-JUST**

Paulina HARBA, Zenon PILECKI

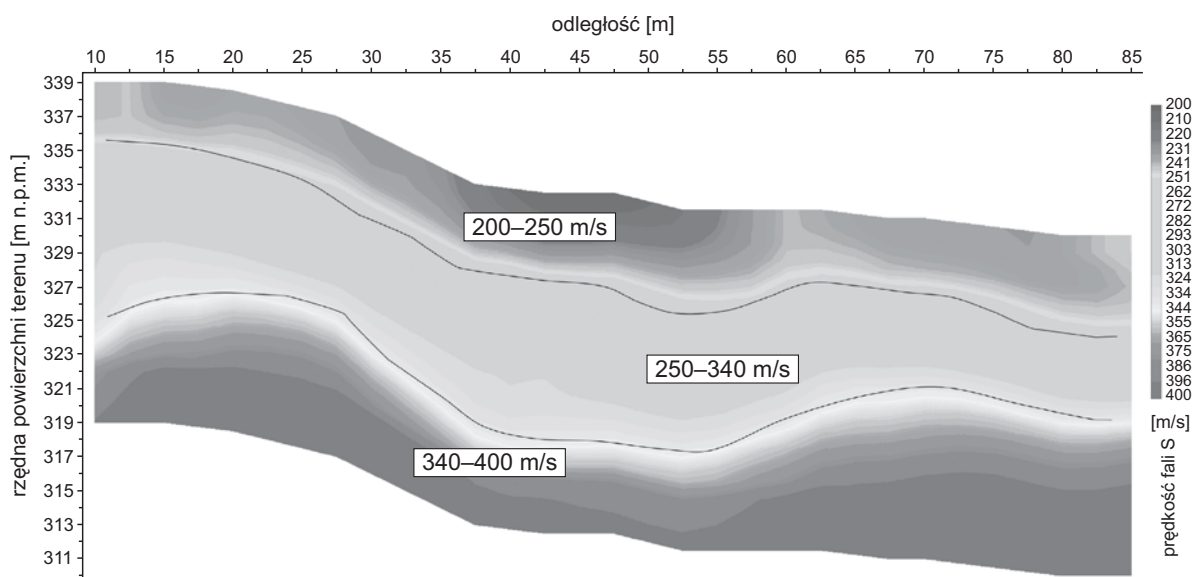
Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, Kraków; e-mail: paulina@min-pan.krakow.pl, pilecki@min-pan.krakow.pl.

Celem badań było rozpoznanie ośrodka geologicznego oraz próba czasoprzestrzennej analizy ruchu osuwiskowego przy zastosowaniu innowacyjnej metody interferometrii sejsmicznej (IS).

Interferometria sejsmiczna jest nową tomograficzną techniką sejsmiczną polegającą na wykorzystaniu lokalnego szumu sejsmicznego jako źródła fali (Marcak i in., 2014). Od strony matematycznej polega ona na odwzorowaniu odpowiedzi impulsowej ośrodka (funkcji Greena) pomiędzy parą czujników przy pomocy operacji konwolucji wzajemnej lub dekonwolucji sygnałów sejsmicznych zarejestrowanych na tych czujnikach (Marcak i in., 2014). W interpretacji wykorzystywane są fale powierzchniowe typu Rayleigha, które charakteryzują się właściwościami dyspersyjnymi i mogą zostać opisane za pomocą krzywych dyspersji, obrazujących zależność prędkości fazowej od częstotliwości fali.

Testowe badania metodą IS przeprowadzono w kilku seriach na obszarze aktywnego osuwiska Tęgoborze-Just przy drodze krajowej nr 75. Wybrano odcinek o długości 95 m, który był dobrze rozpoznany na podstawie otworów badawczych z opracowanym przekrojem geologiczno-inżynierskim oraz na podstawie sejsmicznego profilowania refrakcyjnego (Czudec, 2012). Głównymi źródłami szumu sejsmicznego były samochody przejeżdżające drogą krajową nr 75. Rejestracja odbywała się przy użyciu sejsmometrów Güralp CMG-6TD. Do przetwarzania i interpretacji danych sejsmicznych wykorzystano programy MATLAB oraz Geogiga Seismic Pro.

Wynikiem przetwarzania i interpretacji danych sejsmicznych jest obraz zmian prędkości fali poprzecznej (fali S) z głębokością (fig. 1). W rozpatrywanym przypadku głębokość rozpoznania ośrodka geologicznego wyniosła ok. 20 m. Na przykładowym przekroju sejsmicznym wyraźnie zaznaczają się trzy strefy prędkości. Strefa o najmniejszej prędkości fali poprzecznej (200–250 m/s) występuje najbliższej powierzchni terenu, przy czym prędkość maleje w środkowej części tej strefy. W drugiej strefie –



**Fig. 1. Przykład przekroju sejsmicznego pola fali S na osuwisku Tęgoborze-Just opracowany metodą interferometrii sejsmicznej**



o miąższości ok. 8–10 m, a miejscami ok. 5 m – prędkość fali S wynosi 250–340 m/s. Najgłębiej położona strefa charakteryzuje się największą prędkością fali S (340–400 m/s). Strop tej strefy występuje na głębokości 10–15 m.

W odniesieniu do przekroju geologiczno-inżynierskiego (Czudec, 2012) można wnioskować, że przypowierzchniowe warstwy sejsmiczne odpowiadają gliniastym i skalno-zwietrzelinowym utworom kolidującym. Granicę sejsmiczną występującą na głębokości ok. 10–15 m można korelować ze stropem słabiej zwietrzałych skał serii łupkowej, będących mniej naruszonym przez ruchy osuwiskowe podłożem fliszowym osuwiska. W porównaniu z granicami wyznaczonymi w wyniku innych badań sejsmicznych granica ta jest odmienna ze względu na nieckowaty kształt, który wskazuje na występowanie lokalnego zawodnienia. Lokalizację tej strefy osłabienia można wyjaśnić występowaniem na tym odcinku miąższej, silnie nachylonej warstwy miękkich łupków. Poza tym na obrazach IS uzyskanych w okresie prowadzenia badań nie stwierdzono istotnych zmian położenia granic sejsmicznych, co jest zgodne z bieżącymi obserwacjami terenowymi.

Na podstawie przeprowadzonego profilowania sejsmicznego można wstępnie uznać, że powierzchnia poślizgu pokrywa się z granicą sejsmiczną stropu mniej zwietrzałych skał fliszowych.

## LITERATURA

- CZUDEK G., 2012 — Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla opracowania systemu zabezpieczenia strefy osuwiskowej nr MPL0051 w ciągu drogi krajowej nr 75, km od 51+900 do 52+700 w miejscowości Tęgoroz-Just. Geotech Sp. z o.o., Rzeszów.
- MARCAK H., PILECKI Z., ISAKOW Z., CZARNY R., 2014 — Możliwości wykorzystania interferometrii sejsmicznej w górnictwie. *Prz. Gór.*, **70**: 74–83.

---

## DECYZJE PLANISTYCZNE DOTYCZĄCE OBSZARÓW OSUWISKOWYCH

Maria HEŁDAK, Monika PŁUCIENNIK

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Katedra Gospodarki Przestrzennej, Zakład Geodezyjnych Urządzeń Rolnych i Gospodarki Nieruchomościami; e-mail: maria.heldak@up.wroc.pl, monika.pluciennik@up.wroc.pl.

Praca dotyczy decyzji planistycznych podejmowanych przy opracowaniach realizowanych na szczeblu gminy w zakresie zagospodarowania terenów osuwiskowych. W toku sporządzania opracowań planistycznych oraz wydawania decyzji o warunkach zabudowy lub decyzji o lokalizacji inwestycji celu publicznego istotną rolę odgrywa starosta, który opiniuje lub uzgadnia, w zależności od rodzaju dokumentu lub decyzji, planowane przedsięwzięcie na terenach zagrożonych osuwaniem się mas ziemi.

Przeanalizowane zostaną decyzje wydawane przez starostę w trakcie tworzenia studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy, w trakcie tworzenia planu miejscowego oraz w trakcie wydawania decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu. W sposób syntetyczny zostaną przedstawione uzgodnienia oraz opinie, w tym decyzje odmowne ze względu na zagrożenie spowodowane brakiem stabilizacji zbocza.

W toku prowadzonych badań zostanie sporządzona analiza terenów zagrożonych osuwaniem się mas ziemnych w powiecie podgórskim, a także zostaną ukazane projektowane i istniejące funkcje terenów w strefach osuwiskowych oraz w ich bliskim sąsiedztwie. W syntezie zostaną uwzględnione odrębnie polityka przestrzenna określona w studium, odrębnie plany miejscowe oraz decyzje o warunkach zabudowy wydawane na terenach pozbawionych planów miejscowych.

Wyniki wykonanych badań ukążą skalę podejmowania decyzji o lokalizacji inwestycji na terenach zagrożonych osuwaniem się mas ziemnych i w ich sąsiedztwie na obszarze powiatu podgórskiego.

---

## PROBLEM TERENÓW OSUWISKOWYCH W PROCESIE PLANOWANIA I PRAKTYCE PROJEKTOWEJ W POŁUDNIOWEJ MAŁOPOLSCE

Hanna HREHOROWICZ-GABER<sup>1</sup>, Anna SIKORA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Krakowska, Wydział Architektury, Instytut Projektowania Miast i Regionów;  
e-mail: hanna.hrehorowicz@interia.pl.

<sup>2</sup> Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Zakład Architektury i Urbanistyki;  
e-mail: sikora@prz.edu.pl.

Południowa Małopolska leży w większości na obszarze fliszu karpackiego, gdzie występuje większość zdiagnozowanych osuwisk w Polsce. Urbanizacja obszaru Karpat jest procesem postępującym, dlatego duże znaczenie ma przemyślane inwestowanie na obszarach narażonych na problemy związane z osuwaniem się mas ziemi. Coraz sprawniejsze metody monitorowania zagrożeń naturalnych nie są jednak równoznaczne z zabezpieczeniem przed tymi zagrożeniami terenów inwestycji i przeznaczonych pod inwestycje. Poważnym problemem jest brak sprawnej współpracy między branżami odpowiedzialnymi za inwestycje powstające lub już powstałe na newralgicznych terenach. Problem stanowi też niska świadomość społeczna w zakresie konieczności zabezpieczenia zagrożonych obszarów oraz oczekiwanie przez ich mieszkańców, że zjawiska przyrodnicze, które pojawiają się niecyklicznie, zanikną, a teren osuwiskowy odzyska stabilizację. Obiekty źle posadowione lub posadowione w wyniku samowoli budowlanej są skazane na uszkodzenia, w wielu przypadkach kończące się katastrofą budowlaną.

Przykładów uszkodzeń i katastrof budowlanych w południowej Małopolsce jest wiele (fig. 1), jednak działające na tym obszarze organy samorządowe i nadzorcze wykazują się dużą sprawnością w zakresie ich wykrywania i usuwania oraz działań pomocowych. Powszechność występowania terenów zagrożonych osuwiskami w tym rejonie stanowi duży problem planistyczny, architektoniczny i inżynierski. Katastrofalne skutki nieprzestrzegania ograniczeń i obostrzeń dotyczących inwestowania na terenach zagrożonych osuwaniem się mas ziemi są winą nie tylko użytkowników zniszczonych obiektów, ale także wszystkich specjalistów uczestniczących w procesie projektowym. Za jedno z najskuteczniejszych



**Fig. 1. Katastrofa budowlana będąca wynikiem posadowienia obiektu na terenie osuwiska (Zabawa, powiat wielicki). Uszkodzeniu uległy ławy fundamentowe, ściany i układ konstrukcyjny budynku**



sposobów przeciwdziałania powstawaniu szkód osuwiskowych i ich minimalizowania należy uznać właściwie prowadzony proces planowania i zagospodarowania terenów osuwiskowych oraz – nadal niedocenianą – edukację w tym zakresie.

## **OSUWISKO W KUROWIE NISZCZĄCE DROGĘ WOJEWÓDZKĄ NR 975 – HISTORIA ROZPOZNANIA I PRÓBY ZABEZPIECZENIA (POGÓRZE ROŻNOWSKIE)**

Sebastian JURCZAK<sup>1</sup>, Jarosław KOS<sup>2</sup>, Antoni WÓJCIK<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Przedsiębiorstwo Usług Geologiczno-Laboratoryjnych Sp. z o.o. CHEMKOP-LABOR GEO, Kraków;  
e-mail: s.jurczak@laborgo.krakow.pl.

<sup>2</sup> Przedsiębiorstwo Geologiczne S.A. w Krakowie; e-mail: j.kos@pgsa.krakow.pl.

<sup>3</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, Kraków;  
e-mail: antoni.wojcik@pgi.gov.pl.

Na zachodnich i północnych stokach Dąbrowskiej Góry na Pogórzu Rożnowskim występują duże skalne osuwiska. Jedno z nich uaktywniło się 19–20 maja 2010 r. i zniszczyło drogę na całej szerokości, na długości ok. 40 m, co doprowadziło do jej zamknięcia. Częściowe upłynnienie skał i gruntu spowodowało przemieszczenie ok. 7820 m<sup>3</sup> materiału (Wojciechowski i in., 2012). W stosunku do osuwisk występujących na terenie otaczającym jest to osuwisko małe, ale jak na warunki polskie charakteryzuje się szybkim przemieszczeniem materiału skalnego. Dla osuwiska opracowano kartę dokumentacyjną (KDO) oraz kilka opinii i dokumentacji geologicznych (Jurczak i in., 2010, 2011; Grzywacz, 2012; Kos i in., 2014). Z uwagi na niewielki rozmiar formy zakładano, że jej zabezpieczenie będzie proste w stosunku do innych osuwisk. Zadanie okazało się jednak bardziej skomplikowane, niż wynikało to z początkowych badań. Historia rozpoznania tego osuwiska jest interesująca i stanowi przykład na to, że należy zachować bardzo dużą ostrożność przy podejmowaniu decyzji o wykonaniu zabezpieczeń na terenach występowania osuwisk, oraz świadczy o roli procedur przy dokumentowaniu i zabezpieczaniu tych form.

Osuwisko znajduje się na terenie zalesionym i składa się z dwóch części – południowej i północnej. W części południowej powstała charakterystyczna forma spływu błotno-gruzowego, będącego wynikiem silnego zawodnienia skał i gruntów. W części północnej osuwisko rozpoczyna się powyżej drogi wojewódzkiej nr 975, od wysokości 428 m n.p.m., niską, ale wyraźną świeżą skarpią.

Na podstawie wyników dotychczasowych prac i wierceń stwierdzono, że miąższość utworów koluwalnych wynosi od 12,5 m w rejonie skarpy głównej do 28,0 m w rejonie drogi wojewódzkiej, przy czym początkowo przyjmowano, że powierzchnia poślizgu w rejonie drogi przebiega na głębokości ok. 14 m (Jurczak i in., 2011). W profilu pionowym górną część koluwiów osuwiskowych stanowią grunty spoiste w postaci glin i ilów oraz ilów ze znaczącą domieszką okruchów skał podłoża. Stan konsystencji tych gruntów jest różny – od miękkoplastycznego i plastycznego do twardoplastycznego i zwartego na większej głębokości. Dolna część koluwiów to utwory skaliste – łupki ilaste i mułowce. Podłoże osuwiska stanowią warstwy krośnieńskie dolne.

Po opracowaniu KDO przystąpiono do dokładnego badania i dokumentowania osuwiska, głównie na podstawie otworów wiertniczych. Pierwsza ekspertyza dotyczyła rozpoznania osuwiska na podstawie 10 otworów wykonanych sondą rdzeniową (łącznie 35,4 mb) oraz 3 otworów rdzeniowanych (łącznie 47,0 mb) w rejonie umiejscowienia ewentualnych przyczółków planowanej wówczas estakady (Jurczak i in., 2010). W rdzeniach wiertniczych rozpoznano mułowce pochodzące z głębokości 10,5–14,0 m p.p.t., w których nie zaobserwowano cech świadczących o ich zaangażowaniu w ruchy osuwiskowe. W ekspertyzie uwzględniono obszar widocznie zniszczony przez osuwisko i konieczność jego zabezpieczenia. Małopolski zespół nadzorujący realizację działań w zakresie przeciwdziałania

ruchom osuwiskowym oraz usuwania ich skutków zalecił wykonanie pełnej dokumentacji dla całego osuwiska, ponieważ fragmentaryczne zabezpieczenie uznano za nieuzasadnione.

Kolejnym etapem było wykonanie dokumentacji geologicznej w celu określenia warunków geologiczno-inżynierskich zabezpieczenia osuwiska oraz odbudowy drogi wojewódzkiej (Jurczak i in., 2011; Grzywacz, 2012). Skoncentrowano się na dokładnym rozpoznaniu podłoża ewentualnego przyczółka estakady zlokalizowanego na terenie północnej części osuwiska. Wykonano pięć otworów rdzeniowych o głębokości 21,2–29,5 m p.p.t. We wszystkich otworach zagłębiono się w stromo zalegające mułowce co najmniej na 10 m. W dwu otworach (NK-2 i NK-5) zainstalowano kolumny inklinometryczne. We wszystkich otworach stwierdzono zlustrowania. Wyznaczono powierzchnie poślizgu, z których najgłębsza przebiegała na głębokości od 13,0 m p.p.t. w pobliżu skarpy głównej do 22,5 m p.p.t. w pobliżu planowanego przyczółka estakady. W otworze NK-4 powierzchnia poślizgu występowała na głębokości 24,0 m p.p.t. Żeby potwierdzić zaangażowanie skał w ruchach osuwiskowych, wykonano pomiary w zainstalowanych inklinometrach.

Na podstawie odczytów z inklinometru zainstalowanego w otworze wiertniczym NK-2 zlokalizowanym poniżej skarpy głównej stwierdzono dwie strefy przemieszczeń przekraczających 10 mm w ciągu czterech miesięcy w 2012 r. Pierwsza występowała na głębokości 14,0 m p.p.t. (na głębokości 14,0–17,0 m p.p.t. stwierdzono obecność silnie pokruszonego materiału skalnego; był to rumosz z iłem plastycznym stanowiącym 20–50% materiału), druga na głębokości 21,5 m p.p.t., a jej przemieszczenia odpowiadały strefie stwierdzonego zlustrowania mułowca.

Na podstawie pomiarów z inklinometru zlokalizowanego w rejonie planowanego północnego przyczółka estakady stwierdzono przemieszczenia na głębokości 7,0–8,0 m p.p.t. oraz 13,5 m p.p.t. Pierwsza strefa obejmuje kontakt glin plastycznych z niżej zalegającymi utworami, druga znajduje się w miejscu kontaktu utworów koluwalnych z mułowcami.

W listopadzie 2012 r. małopolski Wojewódzki Zespół Nadzorujący Realizację Projektu Osłona Przeciwoświsowska pozytywnie zaopiniował wspomniany wcześniej projekt budowlany dla pierwszego etapu zabezpieczenia (Smajdor i in., 2012), a jednocześnie uzależnił charakter opinii dotyczącej drugiego etapu stabilizacji od wyników monitoringu osuwiska. Wstrzymanie prac w północnej części (drugi etap) wynikało z wątpliwości w stosunku do wyników wcześniejszych pomiarów inklinometrycznych. Nasuwały się pytania, czy osiągnięto najniższą powierzchnię poślizgu, ponieważ wyniki pomiarów wskazywały na możliwość wystąpienia głębszych przemieszczeń; zastrzeżenia miał też wykonawca projektu budowlanego – dotyczyły one głębokości, na której stwierdzono przemieszczenia.

Zniszczony fragment drogi wojewódzkiej odbudowano i zabezpieczono w 2013 r. na podstawie projektu budowlanego (Smajdor i in., 2012) poprzez wykonanie nasypu zbrojonego geosyntetykami i stabilizowanego gwoździowaniem. Skarpę drogową pokryto siatką antyerozyjną, u podstawy nasypu wykonano palisadę o długości 10 m, a całą południową część osuwiska odwodniono poprzez wykonanie drenażu francuskiego. Dodatkowo wykonano tarasowanie stoku, wyrównano jego powierzchnię oraz uregulowano niewielkie skarpy potoku rozdzielającego północną i południową część osuwiska. Mimo odbudowania drogi i dokonanej stabilizacji południowa część osuwiska nadal podlegała procesom osuwiskowym. Ich przejawami były świeże, cylindryczne spękania oraz skarpy widoczne na stoku poniżej drogi, głównie w obrębie sztucznie wykonanych, stopniowanych stopni.

W kolejnym etapie prac wykonano trzy otwory badawcze i zainstalowano inklinometry oraz pięć reperów geodezyjnych (Kos i in., 2014). Na podstawie wyników badań uznano, że osuwisko jest obecnie w całości aktywne. W północnej części osuwiska występują skarpy wewnątrzsuwiskowe i nabrzmienia oraz niska skarpa główna. Wyniki pomiarów z reperów geodezyjnych wskazują na powierzchniowe ruchy osuwiskowe o małej dynamice.

Na podstawie pomiarów z inklinometrów (Kos i in., 2014) uznano, że ruch w osuwisku odbywa się po powierzchniach ściecia (od 2 do 4). Przebiegają one na różnych głębokościach – 6 m (otwór I-1), 7, 13 i 15 m p.p.t. (I-1, I-2, I-3), a najgłębsza powierzchnia poślizgu sięga 28,0 m p.p.t. Wyniki badań geologicznych oraz monitoringu powierzchniowego i wgłębnego, przeprowadzonych w północnej części osuwiska, prowadzą do wniosku, że osuwisko jest aktywne i niestabilne.

Na podstawie pomiarów wykonanych przez różne zespoły prowadzące roboty geologiczne na obszarze osuwiska niezależnie udokumentowano przebieg głębokich powierzchni poślizgu i potwierdzono wcześniejsze wnioski. Podczas ostatnich pomiarów z dolnego inklinometru stwierdzono wyraźne

przemieszczenia na głębokości 28,0 m p.p.t., co prowadzi do pytania o przyczynę tak głębokiego przebiegu przemieszczeń i do pytania, czy w omawianym przypadku zabezpieczenie jest możliwe. Istotnym problemem jest występowanie przemieszczeń w części wykonanego zabezpieczenia z pierwszego etapu. Należy także wyjaśnić przyczynę wzrostu intensywności ruchu przy stosunkowo małych opadach, co stwierdzono na podstawie pomiarów z dolnego inklinometru. Nasuwa się również pytanie, czy nie istnieją jeszcze głębsze powierzchnie poślizgu, przebiegające poniżej zainstalowanych inklinometrów.

Omówione zagadnienie jest przykładem rozpoznania małego, ale bardzo złożonego osuwiska. Wskazuje, że na rozpoznanie osuwiska duży wpływ miały procedury stosowane w Małopolskim Urzędzie Wojewódzkim oraz doświadczenie zespołu oceniającego. Proponuje się, żeby zakres rozpoznania (głębokość i rozmieszczenie otworów) był konsultowany z odpowiednim przedstawicielem nadzoru naukowego z ramienia Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego przed napisaniem szczegółowych warunków zamówienia przez zlecniodawcę. Pozwoli to na uniknięcie niewystarczającego rozpoznania geologicznego wynikającego z różnych wizji geologów dokumentatorów, a także zapewni uczciwą konkurencję w procesie przetargowym.

## LITERATURA

- GRZYWACZ W., 2012 — Raport z monitoringu stateczności osuwiska metodą inklinometryczną – październik 2012 – rozpoznanie drugiej części osuwiska. CHEMKOP-LABORGEO, Kraków.
- JURCZAK S., RUSSOCKI M., BANEK-GAŁKA I., 2010 — Ekspertyza geologiczna dla koncepcji zabezpieczenia oraz opracowania P.F.U. uszkodzonego odcinka drogi wojewódzkiej nr 975 odc. 290 od km 4+175 do 4+230 w miejscowości Kurów – listopad 2010 – rozpoznanie głównie pierwszej części osuwiska. CHEMKOP-LABORGEO, Kraków.
- JURCZAK S., RUSSOCKI M., BANEK-GAŁKA I., 2011 — Dokumentacja geologiczna dla określenia warunków geologiczno-inżynierskich zabezpieczenia osuwiska oraz odbudowy drogi wojewódzkiej nr 975 w miejscowości Kurów – listopad 2011 – rozpoznanie drugiej części osuwiska. CHEMKOP-LABORGEO, Kraków.
- KOS J., SZYMONIK L., JĘDRZEJOWSKA M., 2014 — Szczegółowy raport z monitoringu osuwiska w Kurowie. Przeds. Geol. S.A., Kraków.
- SMAJDOR W., KRAWCZYK P., MAC K., SIRY J., GRABOWSKI M., SALABURA S., 2012 — Projekt budowlany – zabezpieczenie osuwiska oraz odbudowa DW nr 975 w m. Kurów – wrzesień 2012. F.P.H.U. REMOST, Dębica.
- WOJCIECHOWSKI T., BORKOWSKI A., PERSKI Z., WÓJCIK A., NESCIERUK P., RĄCZKOWSKI W., 2012 — Zastosowanie lotniczego i naziemnego skaningu laserowego do badania osuwisk. W: Geologia jedna?! II Polski Kongres Geologiczny, Warszawa, 17–19 września 2012 r. Abstrakty: 91–92. WG UW, PTG, Warszawa.

---

## OSUWISKA W BRZEGACH KLIFOWYCH POŁUDNIOWEGO BAŁTYKU

Leszek JURYS, Grzegorz UŚCINOWICZ, Wojciech JEGLIŃSKI

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Geologii Morza, Gdańsk;  
e-mail: leszek.jurys@pgi.gov.pl, grzegorz.uscinowicz@pgi.gov.pl, wojciech.jeglinski@pgi.gov.pl.

Szczególnym rejonem występowania osuwisk na Niżu Polskim jest brzeg morski, a konkretnie jego klifowe odcinki, których łączna długość wynosi 94,5 km. Stanowią one 22% polskiego wybrzeża (bez uwzględnienia Półwyspu Helskiego). Najwyższy klif znajduje się na wyspie Wolin (wysokość jego korony sięga 93 m n.p.m.). Dotychczas największą liczbę osuwisk stwierdzono w okolicach Jastrzębiej Góry i Rozewia, gdzie wysokość klifów wynosi najczęściej tylko ok. 30 m.

Naturalna, przyrodnicza wyjątkowość brzegu morskiego jest uwzględniona w prawie. Od wieków brzeg morski był uznawany za granicę państwa i dzięki temu był na różne sposoby kontrolowany i chroniony. Obecnie wiele odcinków polskiego brzegu morskiego jest ustawowo chronionych przed erozją (głównie przed abrazją). Zabezpieczenie wybrzeża przed abrazją jest możliwe, chociaż drogie.

Niszczenie przez abrazję podstawy klifu zaburza jego statykę i prowadzi do zainicjowania różnego rodzaju procesów stokowych, zwykle zsuwów i obrywów utworów budujących klif. W rejonach klifo-

wych tempo niszczenia brzegu morza zależy głównie od abrazji, a ta od częstotliwości i intensywności sztormów. Znacznie rzadziej zwraca się uwagę na czynniki lądowe wpływające na stateczność zboczy, determinowane przede wszystkim budową geologiczną, hydrogeologią i działalnością człowieka.

Miejscami w klifach występują też osuwiska, niekiedy o dużych rozmiarach i aktywności. Wpływają one na sposób i tempo degradacji brzegu klifowego. Chronione przed abrazją osuwisko w Jastrzębiej Górze, szczegółowo monitorowane przez pracowników Oddziału Geologii Morza Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego (PIG-PIB), spowodowało cofnięcie się kory klifu o przeszło 20 m w ciągu 18 miesięcy.

Powstanie osuwisk na klifach zależy nie tylko od abrazji, lecz także od wielu innych czynników, z których najważniejszymi są: budowa geologiczna, warunki hydrogeologiczne i różnorodne oddziaływania antropogeniczne. Czynniki te wraz z abrazją, w tym abrazją podbrzeża (przybrzeżnej części morskiego dna), muszą być uwzględniane podczas planowania i wykonywania zabiegów ochrony brzegu morskiego. Znane są przypadki, gdy brak właściwego rozpoznania lokalnych warunków geologicznych i hydrogeologicznych prowadził do niszczenia przez osuwiska zabudowy klifu mającej uniemożliwić abrazję (fig. 1). Szczególnie groźne są osuwiska rotacyjne, których powierzchnia poślizgu jest położona poniżej poziomu morza, a czoło koluwium znajduje się pod wodą. W takich przypadkach, znanych m.in. z Jastrzębiej Góry, Rozewia i Jarosławca, zabudowa podstawy klifu mająca chronić przed abrazją jest przynajmniej częściowo posadowiona na koluwium, co znacznie ogranicza jej trwałość. Osuwiska takie uaktywniają się mimo wyeliminowania wpływu abrazji brzegowej. Kolejną ważną właściwością osuwisk nadmorskich jest to, że występują one na danym odcinku brzegu od wielu, być może nawet setek lat mimo dużego tempa erozji brzegowej. Głównymi przyczynami tych osuwisk są lokalna budowa geologiczna i warunki hydrogeologiczne. Należy uznać, że odcinki brzegu, gdzie występują osuwiska nadmorskie, są szczególnie zagrożonymi częściami wybrzeża; ich ochrona jest trudna i wymaga szczegółowych badań geologicznych obejmujących część lądową i morską (podbrzeże).

W dotychczasowych badaniach polskiego brzegu morza, zarówno naukowych, jak i utylitarnych, problematykę występowania osuwisk zwykle pomijano. Te, na które zwrócono uwagę, nazywano zsu-



**Fig. 1.** Rozewie – ochronna opaska betonowa zniszczona przez osuwisko w 2005 r.



wami powstałymi w wyniku zaburzenia statyki klifu poprzez abrazję jego podstawy. Zgodnie w wynikach tych badań zsuwy-osuwiska miały występować jedynie na stoku klifów. Wskazywano przez to, że osuwiska są zjawiskiem wtórnym wobec abrazji brzegu. Ponieważ opinia ta jest słuszna w odniesieniu do większości osuwisk (małych), nie inwentaryzowano ich i nie badano.

Dla większości odcinków brzegów klifowych brak map występowania osuwisk, mimo że największe z osuwisk i zespoły mniejszych osuwisk istnieją w tych miejscach od przeszło stu lat. Są one widoczne na najstarszych mapach topograficznych z przełomu XIX i XX w. Często brakuje także odpowiednio dokładnego rozpoznania budowy geologicznej wybrzeża klifowego. Dane pochodzące ze *Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1:50 000* i *Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000* są niewystarczające, podobnie jak dane o budowie geologicznej podbrzeża.

Badania prowadzone obecnie w PIG-PIB (pełniący funkcję państwowej służby geologicznej), finansowane przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, prowadzą do zidentyfikowania osuwisk na klifach oraz do wstępnego rozpoznania geologicznego i hydrogeologicznego warunków ich powstania. Rozpoznaniem geologicznym objęto również pas podbrzeża o szerokości 2 km. Uzyskane wyniki będą stanowiły jedną z podstaw prognozowania zmian brzegu oraz projektowania zabudowy ochronnej.

---

## NUMERYCZNA ANALIZA STATECZNOŚCI SKARPY Z UWZGLĘDNIENIEM PARAMETRÓW STREFY KONTAKTU Z ZASTOSOWANIEM METODY ZBIORÓW LOSOWYCH NA PRZYKŁADZIE KWB BEŁCHATÓW

Robert KACZMARCZYK<sup>1</sup>, Zenon PILECKI<sup>2</sup>, Jacek STANISZ<sup>1</sup>, Krzysztof KRAWIEC<sup>2</sup>

<sup>1</sup> AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie; e-mail: rkaczmar@agh.edu.pl, jstanisz@agh.edu.pl.

<sup>2</sup> Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, Kraków; e-mail: pilecki@min-pan.krakow.pl, kris@min-pan.krakow.pl.

Wyznaczanie wartości parametrów wytrzymałościowych gruntów do analizy stateczności skarp w kopalniach węgla brunatnego wiąże się z istotnymi trudnościami. Wynika to z dużej niepewności losowej wyznaczanych wartości parametrów związanych ze złożonością ośrodka naruszonego pracami górniczymi oraz z błędów systematycznych przyjętej metodyki badań.

W dotychczasowej praktyce w analizach stateczności przyjmowano parametry całkowite wytrzymałości na ścinanie. Parametry te uzyskiwano w wyniku badań, w których dostosowywano sposób obciążania próbek do naturalnych warunków pracy gruntu.

Metodyka badań i interpretacji wyników według norm europejskich, tzw. eurokodów, zakłada przyjęcie do obliczeń stateczności ośrodka efektywnych wartości kąta tarcia wewnętrznego i spójności. Podejście to wydaje się być słuszne przy projektowaniu posadowienia większości obiektów budowlanych. Nie jest to jednak tak jednoznaczne w przypadku skarpy kopalnianej. Zdaniem autorów wyniki uzyskane w ten sposób nie zawsze odpowiadają rzeczywistym parametrom gruntu na skarpach zagrożonych ruchami masowymi, szczególnie tych będących w stanie równowagi granicznej.

Wytrzymałość na ścinanie zależy od wielu zmiennych parametrów. Jest to szczególnie widoczne w przypadku próbek pobranych z powierzchni strukturalnych, które tworzą wyraźne strefy osłabienia w górotworze. Wyznaczenie wartości parametrów efektywnych na podstawie takich próbek jest trudne. Często na takiej powierzchni i w jej bezpośrednim otoczeniu (kilka-kilkanaście milimetrów) stan konsystencji gruntu jest nieco inny niż poza strefą kontaktu. W takim przypadku wartości ciśnienia porowego w próbce i na powierzchni kontaktu (ścięcia) mogą się różnić.

W zależności od przyjętej metody badania i interpretacji wyników otrzymuje się wyraźnie zróżnicowane wyniki, np. kąt tarcia wewnętrznego próbek ilów pobranych w rejonach zagrożenia osuwiskowego w KWB Bełchatów waha się od 4° do ponad 23°, a spójność – od 12 do 57 kPa.



Zdarza się, że wytrzymałość na naruszonych powierzchniach strukturalnych jest równa wytrzymałości rezydualnej i że zaleca się przyjmować ją do obliczeń inżynierskich. Wyniki ścinania próbek pobranych z powierzchni strukturalnych potwierdzają tę tezę (m.in. Skempton, 1985). Porównanie wyników obliczeń wytrzymałości resztkowej z wynikami z własnych badań laboratoryjnych wskazuje na stosunkowo niewielkie rozbieżności. Dużą zgodność odnotowano szczególnie w przypadku powierzchni strukturalnych występujących w spągu kompleksów węglowych oraz w odniesieniu do osuwisk jednokarpowych, o jednoznacznie określonej powierzchni poślizgu (np. osuwiska 10N, 15S, 16S).

W przypadku osuwisk wieloetapowych, wielokarpowych, o niejednoznacznie określonej powierzchni poślizgu (np. osuwisko 20S) interpretacja wyników może być bardziej problematyczna. Interesujące wyniki daje numeryczna analiza stateczności. Pomocna w tym względzie jest również metoda zbiorów losowych, która pozwala na uwzględnienie niepewności w doborze parametrów wejściowych. W tym przypadku wariantowy dobór wartości parametrów wejściowych do budowy modeli fizycznych znajduje odzwierciedlenie w wynikach symulacji.

Numeryczną analizę stateczności przeprowadzono na podstawie silnie zróżnicowanych wartości parametrów strefy kontaktu. Wyniki dostarczają interesujących informacji o położeniu i przebiegu powierzchni poślizgu dla różnych zestawów wartości parametrów, a jednocześnie pozwalają określić granicę prawdopodobieństwa wystąpienia danego współczynnika bezpieczeństwa.

## LITERATURA

SKEMPTON A.W., 1985 — Residual strength of clays in landslides, folded strata and the laboratory. *Geotechnique*, **35**: 3–18.

# ANALIZA SCENARIUSZY ROZWOJU RUCHÓW OSUWISKOWYCH NA SKARPIE WARSZAWSKIEJ W REJONIE POŁUDNIOWEJ OBWODNICY WARSZAWY

Łukasz KACZMAREK, Paweł DOBAK

Uniwersytet Warszawski; e-mail: lukasz.kaczmarek@uw.edu.pl, p.dobak@uw.edu.pl.

Skarpa wysoczyzny na obszarze lewobrzeżnej Warszawy wykazuje zmienną dynamikę aktywności osuwiskowej. Celem prac była ocena wpływu różnorodnych czynników na zmiany warunków stateczności skarpy. Analizie poddano wysoczyznę na granicy Ursynowa i Wilanowa w sąsiedztwie projektowanej południowej obwodnicy Warszawy. Rozpatrywana skarpa jest zbudowana z glin morenowych zlodowacenia środkowopolskiego; na obszarze badań ma wysokość 12 m i średnie nachylenie 24°. Wyniki wieloletnich obserwacji wskazują na powtarzające się uruchamianie przypowierzchniowych przemieszczeń mas gruntowych, a niekiedy powstawanie lokalnych osuwisk z głębiej położoną strefą poślizgu.

Rozpatrywanymi w analizie modelowej czynnikami wymuszeń rzutującymi na stateczność są obciążenia dynamiczne związane z generowaniem wstrząsów od transportu kołowego. Z grupy czynników geologicznych analizowano zmiany położenia zwierciadła wód gruntowych w masywie oraz indukowane tym zmiany wilgotności, stanu i parametrów wytrzymałościowych gruntu. Na właściwości gruntu w istotny sposób może wpływać pogoda, implikująca zarówno procesy uplastycznienia, jak i procesy wysychania. Powstające wskutek tego spękania gruntu tworzą potencjalne strefy osłabienia wytrzymałości na ścinanie.

Przeanalizowano zmiany stateczności wybranych zboczy. W zależności od położenia zwierciadła wody w podłożu i skarpi wyróżniono trzy sytuacje:

- I – woda w masywie gruntowym na głębokości ok. 3 m poniżej podnóża skarpy,
- II – woda sącząca się u podnóża skarpy z obszaru wysoczyzny,
- III – stan powodziowy – rzędna wody 2 m powyżej podnóża skarpy.

Z obliczeń stateczności przeprowadzonych metodą Bishopa wynika, że redukcja stateczności zbocza w sytuacji II w stosunku do sytuacji I wynosiła ok. 6%, a w warunkach powodzi (sytuacja III) – 11–15%. Wpływ przyjętych w modelowaniu obciążeń dynamicznych od ruchu kołowego ( $Q = 30$  kN,  $k = 0,15$ ) skutkował większymi zmianami współczynnika  $F$ , wynoszącymi 18–22%. W przypadku powodzi warunki stateczności zbocza zbliżały się do stanu granicznego.

Najważniejszym czynnikiem wpływającym na stateczność okazały się zmiany parametrów wytrzymałościowych wywołane zmianami stanu gruntu. Rozpatrywano następujące zestawy parametrów:

- dane z dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Grzelewski i in., 2009) dotyczące półzwartych/twardoplastycznych glin zlodowaceń środkowopolskich:  $\Phi = 32^\circ$ ,  $c = 7$  kPa (1);
- wartości z polskiej normy (PN-81/B-03020) dla glin twardoplastycznych/ plastycznych:  $\Phi = 10^\circ$ ,  $c = 20$  kPa (2);
- wyniki badań Kaczyńskiego (2011):  $\Phi = 16^\circ$ ,  $c = 12$  kPa (3).

Zbocze w gruntach półzwartych jest stateczne ( $F = 1,6$ ), jednak oddziaływania dynamiczne redukują wartość  $F$  o ok. 18%. Przyjęcie innych zestawów parametrów (2 i 3) daje natomiast warunki zbliżone do równowagi granicznej, co potwierdzają wyniki obserwacji okresowych przemieszczeń na skarpie. Zakładane obciążenia dynamiczne w tych stanach gruntu mogą powodować utratę stateczności zbocza ( $F \approx 0,8$ – $0,9$ ). Odmienne wartości parametrów  $\Phi$  i  $c$  dla granicznych stanów równowagi ( $F \approx 1$ ) można w przybliżeniu opisać zależnością  $\Phi = a_1 \cdot c + a_2 \cdot F + a_3$ . W analizowanych przykładach dla skarpy bez obciążeń zewnętrznych  $a_1 \approx -0,84$ ,  $a_2 \approx 20,9$  i  $a_3 \approx 4,8$ . Utrzymanie statecznego zbocza w warunkach obciążeń dynamicznych wymaga większego zapasu wytrzymałości na ścinanie, wyrażonego w postaci  $\Phi$  wyższego o ok. 25% niż w zestawie 3 przy zachowaniu  $c = 12$  kPa lub  $\Phi$  wyższego aż o 60% (wzrost z  $10$  do  $16^\circ$ ) przy zachowaniu  $c = 20$  kPa według zestawu 2. Jak wynika z analiz przeprowadzonych dla konkretnych warunków geologiczno-inżynierskich można stworzyć model zmian ekwiwalentnych parametrów wytrzymałościowych (zadanie odwrotne) charakteryzujących potencjalne zagrożenia stateczności w różnych scenariuszach krytycznych charakterystyk obciążenia.

Wyniki przeprowadzonych symulacji wskazują także na potrzebę doboru optymalnych metod obliczeniowych. W analizowanych przypadkach w rezultacie zastosowania metody elementów skończonych (MES) uzyskano wartości współczynnika  $F$  o ok. 20% niższe od wartości obliczonych metodą Bishopa. Poprawność tych ostrożniejszych oszacowań powinna być weryfikowana na podstawie wyników obserwacji na skarpach, w szczególności geodezyjnego monitoringu składowych przemieszczeń.

## LITERATURA

- GRZELEWSKI E., PABICH M., SOCHA T., 2009 — Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla ustalenia geotechnicznych warunków posadowienia tunelu pod dzielnicą Ursynów, na trasie projektowanej Południowej Obwodnicy Warszawy, na odcinku od węzła „Puławska” do węzła „Lubelska”. Arcadis, Warszawa.
- KACZYŃSKI R., 2011 — Geologiczno-inżynierskie charakterystyki typowych gruntów występujących w Polsce. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **446**: 329–340.
- PN81/B03020 – Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.

---

## MONITORING GEOFIZYCZNY OSUWISK METODĄ ELEKTROOPOROWĄ UPŁYWU CZASU ERT-TL – WYBRANE PRZYKŁADY Z POLSKI

Mirosław KAMIŃSKI, Piotr ZIENTARA, Mirosław KRAWCZYK

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa; e-mail: miroslaw.kaminski@pgi.gov.pl, piotr.zientara@pgi.gov.pl, miroslaw.krawczyk@pgi.gov.pl.

W rozpoznawaniu struktur osuwisk i ich monitorowaniu niezwykle przydatną metodą geofizyczną jest tomografia elektrooporowa (ERT – *Electrical Resistivity Tomography*). Dzięki niej można interpre-

tować litologię koluwiów osuwiskowych oraz ich podłoża, a także oszacować głębokość występowania strefy poślizgu (Loke, Baker, 1996; Lapenna i in., 2003; Kamiński i in., 2014). Metodę ERT wykorzystano do wykonania pilotażowych pomiarów na osuwisku w Jastrzębiej Górze i na Bachledzkim Wierchu w Zakopanem (Podhale). Inwersję pomiarów elektrooporowych w obu przypadkach wykonano przy pomocy oprogramowania RES2DINV firmy Geotomo Software, wykorzystując metodę inwersji upływu czasu (*Time-Lapse Resistivity Inversion Method*; Loke, 1999). Pomiary przeprowadzono, stosując układ Schlumbergera (Jastrzębia Góra) i Wennera (Bachledzki Wierch). Odległość między elektrodami wynosiła 5 m, natomiast głębokość penetracji pomiaru – ok. 30 m.

Pierwsze z osuwisk położone jest na klifie w Jastrzębiej Górze. Powstało w osadach czwartorzędowych zlodowacenia północnopolskiego (gliny, piaski i ropy zastoiskowe). Strefa poślizgu występuje w stropie ropy zastoiskowych. Osuwisko uaktywniło się wiosną 2010 r. W wyniku badań przeprowadzonych naziemnym skanerem laserowym od lipca 2010 r. do marca 2011 r. wykazano cofnięcie się krawędzi klifu o ponad 10 m. Maksymalne przemieszczenie czoła osuwiska wyniosło 15 m (Kramarska i in., 2011). Pomiary geofizyczne w Jastrzębiej Górze wykonano w kwietniu 2013 r., a następnie powtórzono w listopadzie 2013 r. i w kwietniu 2014 r. Łącznie wykonano trzy profile elektrooporowe wzdłuż tej samej linii o długości 300 m.

Dzięki zastosowaniu metody upływu czasu otrzymano dwa różnicowe modele opornościowe przedstawiające procentową zmianę oporności między profilami elektrooporowymi. Zwizualizowany w 2D procentowy rozkład oporności obrazuje wzrost zawodnienia środkowej części koluwium osuwiskowego w czasie oraz wysokie wartości oporów, które są związane z poszerzeniem starych szczelin i z powstaniem nowych.

Taki rozkład procentowego modelu oporności świadczy o uaktywnieniu się osuwiska między kwietniem 2013 r. a kwietniem 2014 r. Dalszy ruch osuwiska zależy od wartości wysokości poziomu wód gruntowych.

Drugie z analizowanych osuwisk znajduje się na Podhalu i powstało na północno-zachodnim stoku Bachledzkiego Wierchu. Zagroza torom oraz mostowi kolejowemu. Jest to zsuw skalny konsekwentny, który utworzył się we fliszu warstw zakopiańskich (Śliwa, 1955; Bober, 1990). Koluwia składają się z rumoszu gliniasto-gruzowego i bloków fliszowych odkłutych i przemieszczonych w dół stoku. Przyczyną powstania osuwiska były opady deszczu oraz erozyjna działalność potoku. Badania geofizyczne przeprowadzono w maju 2013 i 2014 r., a także w październiku 2014 r. Wykonano trzy profile elektrooporowe wzdłuż tej samej linii o długości 400 m. Otrzymano dwa procentowe różnicowe modele opornościowe, których analiza wskazuje na uaktywnienie się osuwiska w rejonie skarpy głównej. Uaktywnienie się skarpy głównej jest zobrazowane w modelach różnicowych wzrostem wartości oporów w rejonie głębokich szczelin (nastąpiło ich poszerzenie w wyniku ruchu koluwium) oraz obniżeniem wartości oporów w rejonie strefy poślizgu (wzrost zawodnienia).

## LITERATURA

- BOBER L., 1990 — Monografia osuwisk karpackich. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Kraków.
- KAMIŃSKI M., ZIENTARA P., KRAWCZYK M., 2014 — Wykorzystanie tomografii elektrooporowej do badania osuwisk – osuwisko „Dzianisz” (południowo-zachodnie Podhale). *Prz. Geol.*, **62**, 4: 198–203.
- KRAMARSKA R., FRYDEL J., JEGLIŃSKI W., 2011 — Zastosowanie metody naziemnego skaningu laserowego do oceny geodynamiki wybrzeża na przykładzie klifu Jastrzębiej Góry. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **446**: 101–108.
- LAPENNA V., LORENZO P., PERRONE A., PISCITELLI S., SDAO F., RIZZO E., 2003 — High-resolution geoelectrical tomography in the study of Giarossa landslide (southern Italy). *Bull. Eng. Geol. Environ.*, **62**: 259–268.
- LOKE M.H., 1999 — Time-lapse resistivity imaging inversion. W: *Proceedings of the 5<sup>th</sup> Meeting of the EEGS European Section*, Em1, 6–9 September 1999, Budapest, Hungary.
- LOKE M.H., BARKER R.D., 1996 — Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. *Geophys. Prosp.*, **44**: 131–152.
- ŚLIWA P., 1955 — Osuwisko Bachledzkiego Wierchu w Zakopanem. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **96**: 61–106.

## MODEL CZASOWO-PRZESTRZENNY OSUWISKA NA ZAWODZIU W LACHOWICACH

Krzysztof KARWACKI

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa; e-mail: krzysztof.karwacki@pgi.gov.pl.

Istnieje wiele metod dotyczących badania i rozpoznawania osuwisk – od terenowych prac kartograficznych, tradycyjnego monitoringu geodezyjnego podziemnego i powierzchniowego do zdalnych technik teledetekcyjnych, takich jak interferometria, skaning laserowy czy fotogrametria. Cyfrowe stacje fotogrametryczne, które pojawiły się w latach 90. XX w., dostarczyły narzędzi pozwalających na automatyzowanie wielu czynności takich jak określenie orientacji wewnętrznej zdjęcia lotniczego czy przeprowadzenie aerotriangulacji. Wykonanie tych czynności jest niezbędne do utworzenia stereogramu umożliwiającego obserwację stereoskopową. Ogromne możliwości badawcze stworzyła metoda automatycznego dopasowania zdjęć, w której wyniku w stosunkowo prosty sposób otrzymujemy gęstą chmurę punktów stanowiącą informację o pokryciu terenu. Zastosowanie odpowiednich algorytmów filtrujących pozwala uzyskać zadowalającej jakości numeryczny model terenu (NMT) wykorzystywany w badaniach geologicznych. Rozdzielczość NMT zależy od pokrycia terenu i parametrów samego lotu pomiarowego.

Przedmiotem rozważań jest dynamika osuwiska w miejscowości Lachowice w gminie Stryszawa, znanego jako osuwisko w Lachowicach (na Zawodziu). Jest to osuwisko, które na początku XXI w. przypomniało wszystkim badaczom ruchów masowych, z jak nieprzewidywalnym zjawiskiem mamy do czynienia. W lipcu 2001 r. po obfitych opadach atmosferycznych doszło do uruchomienia się starego osuwiska, które zniszczyło kilkanaście zabudowań. Osuwisko spowodowało również zablokowanie koryta rzeki Lachówki, co stworzyło zagrożenie podtopieniem wyżej położonego osiedla (Rączkowski, Nescieruk, 2005). Żeby lepiej zrozumieć mechanizmy powstawania nowych i uruchamiania się starych form osuwiskowych, należy badać dynamikę osuwisk w dłuższym czasie. Interesującym materiałem do analizy tych zmian są archiwalne i nowe zdjęcia lotnicze z okolic osuwiska w Lachowicach.

Osuwisko w Lachowicach pod względem geologicznym badali już m.in. Paul i Rączkowski (2001), Oszczypko i in. (2002) oraz Rączkowski i Nescieruk (2005). Występuje ono na południowo-wschodnim stoku góry Pierchałówki w obrębie szerokopromiennej synkliny i jest osuwiskiem konsekwentnym. W jego podłożu rozpoznano zapadające pod kątem zbliżonym do nachylenia stoku (ok. 20°) naprzemianległe warstwy piaskowców magurskich oraz łupki i margle warstw podmagurskich.

Do badania dynamiki osuwiska wykorzystano archiwalne panchromatyczne zdjęcia lotnicze z lat 1977 i 2003 skanowane z pikselem wielkości 14  $\mu\text{m}$  oraz cyfrowe obrazy z 2009 r. o wielkości piksela terenowego 20 cm. Do opracowania wykorzystano stację fotogrametryczną firmy INPHO. Stereogram zdjęć z 1977 r. utworzono za pomocą osnowy pomierzonej na stereogramie z 2003 r., następnie przy pomocy modułu MachT wygenerowano chmurę punktów, która odzwierciedla pokrycie powierzchni terenu. Uzyskane dane odfiltrowano algorytmem automatycznym dostępnym w module DTMaster. Przeprowadzono kontrolną klasyfikację manualną w oprogramowaniu LP360, stosując przekroje o szerokości 5 i 10 m. W podobny sposób otrzymano chmurę punktów ze zdjęć wykonanych w ramach projektu LPIS w 2003 r. oraz ze zdjęć cyfrowych z 2009 r. Projekt z blokiem zdjęć wraz ze skanami zdjęć pozyskano z Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej. Po dokonaniu automatycznej i manualnej filtracji obliczono numeryczny model terenu w oprogramowaniu Global Mapper v. 16 o rozdzielczości 1 m.

Wykorzystując numeryczne modele terenu, wygenerowano modele różnicowe w dwóch interwałach czasowych 1977–2003 (1) oraz 2003–2009 (2). Na ich podstawie zbadano pionowe ruchy ziemi w osuwisku. Z modelu różnicowego 1 o dokładności  $\pm 1$  m wynika, że w górnej części osuwiska w porównaniu ze stanem na 1977 r. teren obniżył się o ok. 10 m, w środkowo-wschodniej części nie uległ większym zmianom, a w dolnej części jezora powstał wał akumulacyjny o wysokości blisko 18 m. Ponadto na stereogramach z 1977 i 2003 r. dokonano pomiaru punktów charakterystycznych, w wyniku czego zaobserwowano przesunięcie poziome (np. droga polna w środkowej i zachodniej części została prze-



sunięta o 53 m, natomiast budynki mieszkalne i gospodarcze w środkowej części przemieściły się na odległość 30 m).

Model różnicowy 2, obrazujący zmiany powierzchni terenu w latach 2003–2009, mimo wyższej dokładności nie pokazuje większych przemieszczeń. Na uwagę zasługuje jednak dalszy rozwój osuwiska w górę stoku, gdzie można zaobserwować powstanie nowej skarpy. Niewielkie ruchy pionowe zaznaczyły się również w obrębie jezora osuwiskowego.

Metody fotogrametryczne w połączeniu z materiałami archiwalnymi umożliwiają dość szybkie badanie dynamiki procesów zachodzących na stokach na przestrzeni kilkudziesięciu lat, a dzięki kartometryczności obrazów pozwalają wyrażać te zmiany w liczbach.

## LITERATURA

- OSZCZYPKO N., GOLONKA J., ZUCHIEWICZ W., 2001 — Osuwisko w Lachowicach (Beskidy Zachodnie): skutki powodzi z 2001 r. *Prz. Geol.*, **50**, 10/1: 893–898.
- PAUL Z., RĄCZKOWSKI W., 2001 — Wyniki badań osuwiska w Lachowicach. *Narod. Arch. Geol. PIG-PIB*, Kraków.
- RĄCZKOWSKI W., NESCIERUK P., 2005 — Dokumentacja geologiczna osuwiska w Lachowicach Zawodziu – strona wschodnia – góra Pierchałówka. *Narod. Arch. Geol. PIG-PIB*, Kraków.

---

## ANALIZA SPRĘŻYSTO-PLASTYCZNA SKARPY Z PRZYROSTOWO ZWIĘKSZANYM OBCIĄŻENIEM

Elżbieta KOKOCIŃSKA-PAKIET

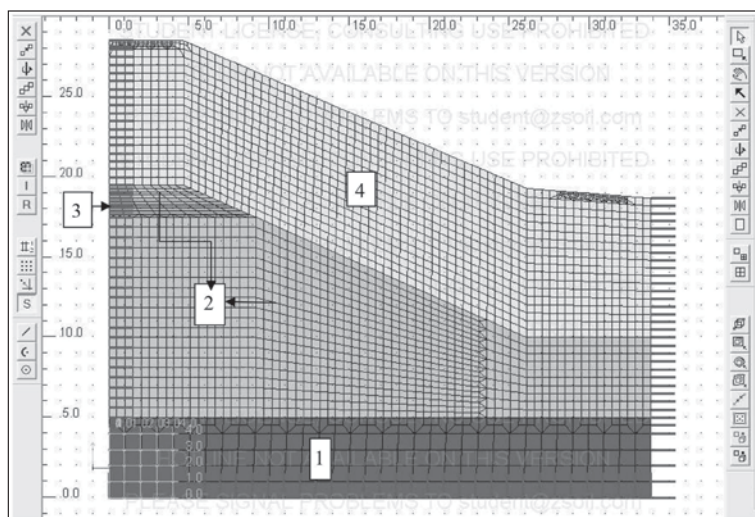
Politechnika Opolska, Wydział Budownictwa, Katedra Geotechniki i Geodezji; e-mail: e.kokocinska-pakiet@po.opole.pl.

Zjawiska osuwiskowe zachodziły i zachodzą z różną intensywnością, wywierając duży wpływ na współczesną rzeźbę powierzchni Ziemi. W warunkach naturalnych, bez ingerencji człowieka, zjawiska te mają charakter długotrwałych procesów uaktywniających się w zależności od zmian naturalnych czynników zewnętrznych, takich jak nasycenie ośrodka gruntowego wodą, wylesienie terenu, silna degradacja czy erozja stoków. Każdy, kto zetknął się ze zjawiskiem osuwiska, wie, że często nie jest ono zjawiskiem nagłym tylko procesem – łańcuchem zdarzeń następujących po sobie i rozwijających się w czasie. Zjawisko to sprawia, że ciągle jest konieczne dokładniejsze poznawanie mechanizmu i charakteru procesów oraz zjawisk zachodzących na stokach. Dlatego tak ważną rolę dla zrozumienia mechanizmu osuwisk odgrywa analiza stateczności stoku.

Omówionym obiektem jest skarpa położona na terenie zakładu przemysłowego w Brzegu na lewym brzegu Odry. Służy ona jako zapora ziemna dla zbiorników ziemi bielącej oraz jako wał przeciwpowodziowy. Zapora uległa katastrofie budowlanej w 1997 r. w wyniku jej podmycia przez wody Odry, jak również w wyniku zbytniego nawodnienia struktury skarpy. Osunęła się ona wraz z zawartością zbiorników do rzeki, zanieczyszczając ją. W tym samym roku zaporę odbudowano. Od tamtej pory podlega ona stałemu monitoringowi. Kontrola polega na okresowym sprawdzeniu geometrii zewnętrznej skarpy, wraz z pomiarem geodezyjnym punktów stałych umieszczonych na naziomie, na stoku skarpy i u jej podnóża. W ramach badań trwałości budowli wykonywane są także badania spójności i nawodnienia gruntu budującego zaporę.

Obecnie najskuteczniejszą metodą analizy procesów grawitacyjnych wydaje się metoda elementów skończonych (MES). Metoda ta okazała się optymalna w odniesieniu do rozpatrywanej skarpy. W referacie przedstawiono wyniki analizy stateczności tej skarpy, której grunt opisano modelem Coulomba–Mohra z niestowarzyszonym prawem płynięcia. W analizie zastosowano stały stosunek kąta dyatacji do kąta tarcia wewnętrznego, co zapewnia optymalne dopasowanie teoretycznie oszacowanego osiadania drogi położonej na naziomie zbocza do wyników geodezyjnego monitoringu. Stateczność skarpy





**Fig. 1. Model analizowanej skarpy z oznaczeniem warstw geologicznych**

Objaśnienia: 1 – il (Cl), 2 – glina piaszczysta (saCl), 3 – piasek średni (MSa), 4 – nasyp mineralny z piasku gliniastego (Mg[siClsa])

sprawdzono za pomocą zaproponowanej przez E. Stilger-Szydło procedury przyrostowego zwiększania obciążenia. Procedura ta polega na zwiększaniu obciążenia modelu przyrostowo ponad wartość nominalną przy jednoczesnym obserwowaniu punktów charakterystycznych budowli oraz na poszukiwaniu wartości obciążenia granicznego  $q_{gr}$ , przy której nastąpi znaczny przyrost przemieszczeń. Pozwala to na obserwację rozwoju stref plastycznych tylko na obszarach występowania rzeczywistych stref poślizgu.

Zazwyczaj wszelkie rozważania teoretyczne wymagają potwierdzenia i uzupełnienia na podstawie badań modelowych lub badań prowadzonych na obiekcie rzeczywistym. Do weryfikacji obliczeń zastosowano pomiary skarpy ziemnej metodą niwelacji geometrycznej (precyzyjnej), którą uznano za najodpowiedniejszą dla tego typu budowli.

W programie Z.Soil wymodelowano kształt rozpatrywanej skarpy wraz z jej podłożem geologicznym. Poszczególne warstwy są zaznaczone jako makroelementy i podzielone na elementy skończone wewnątrz nich tak, aby została zachowana ciągłość siatki. System automatycznie modeluje warunki brzegowe. Boczne podpory są przegubowo-przesuwne, a dolne przegubowo-nieprzesuwne. Podstawowy model obliczeniowy wraz z warunkami brzegowymi przedstawiono na figurze 1.

## WARUNKI GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE I PRZYCZYNY POWSTANIA OSUWISKA NA PÓŁNOCNYM STOKU WZGÓRZA ŚWIĘTEJ BRONISŁAWY W KRAKOWIE

Jarosław KOS<sup>1</sup>, Marcin WÓDKA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Przedsiębiorstwo Geologiczne S.A., Kraków; e-mail: j.kos@pgsa.krakow.pl.

<sup>2</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, Kraków; e-mail: mwod@pgi.gov.pl.

W rejonie Wzgórza Świętej Bronisławy w Krakowie udokumentowano liczne osuwiska (Wójcik, 2012). Na obszarze jednego z nich, znajdującego się między ulicami Królowej Jadwigi (na północy) i Księcia Józefa (na południu), wykonano badania w ramach dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Jaskólski i in., 2013).

Na obszarze osuwiska wykonano osiem otworów wiertniczych (dwa otwory geologiczno-inżynierskie, trzy otwory inklinometryczne i trzy otwory piezometryczne), pięć sondowań sondą dynamiczną DPH i zainstalowano 10 reperów geodezyjnych. Ponadto przeprowadzono terenowe badania wodochłonności skał, badania geofizyczne oraz laboratoryjne. Maksymalna głębokość rozpoznania wyniosła 39,5 m p.p.t.

Skarpę osuwiska tworzą wychodnie wapieni jurajskich o wysokości dochodzącej do 10 m. Na wysokość i kształt skarpy w tym miejscu wpłynęły czynniki tektoniczne (obszar został silnie stektonizowany w czasie neogeńskich ruchów związanych z wyniesieniem zrębu Lasu Wolskiego) oraz czynniki antropogeniczne (stary kamieniołom). Na terenie osuwiska występują wyraźne formy wewnątrzosuwiskowe w postaci pofałdowań terenu oraz zagłębień bezodpływowych. W części osuwiska porośniętej lasem zaobserwowano uszkodzenia drzew spowodowane procesami grawitacyjnymi. W wyniku aktywności osuwiska zostały uszkodzone zabudowania przy ul. Sawickiego (spękania elewacji, przemieszczenia na murze ogrodzenia oraz niewielkie, ok. 2-centymetrowe przemieszczenia budynku).

Na podstawie badań materiału rdzeniowego potwierdzono osuwiskową genezę badanego obszaru. Na uwagę zasługują powtórzenia warstw w rdzeniach z górnych części otworów wiertniczych I-2 i P-2, powstałe w wyniku nasunięcia iłów miocenów na lessy czwartorzędowe. W górnych częściach rdzeni materiał jest mocno wymieszany – wśród jasnobezowych lessów występują nieregularne smugi piasków oraz wkładki szarych iłów. W iłach natomiast występują bloki wapieni, których miąższość w rdzeniu przekracza 0,5 m. Osuwisko powstało w iłach i na granicy iłów z wapieniami, czego dowodem są wyraźne powierzchnie poślizgu widoczne na przełamie rdzeni. Powierzchnie ściecia obserwowano na różnej głębokości, najgłębszą z nich udokumentowano w otworze wiertniczym I-3 na głębokości 37,8 m p.p.t.

W okresie od lutego 2013 r. do 15 września 2014 r. prowadzono monitoring powierzchniowy i wgłębny w zainstalowanych punktach pomiarowych (Kos i in., 2014), w którego wyniku stwierdzono przemieszczenia w górnej i środkowej części osuwiska. Ruchy w monitorowanych elementach były zauważalne, przy czym ich dynamika nie była znaczna. Przemieszczenia stwierdzono na głębokości rzędu 8, 11, 26 i 28 m, a ich maksymalna wielkość dochodziła do 5 mm.

## LITERATURA

- JASKÓLSKI Z., KOS J., FORYŚ M., BARTOSZ L., BAKAJ M., 2013 — Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla realizacji przedsięwzięcia pn. „Wykonanie badań i prac geologicznych w okolicach Wzgórza św. Bronisławy w rejonie ulicy Sawickiego w Krakowie”. Przeds. Geol., Kraków.
- KOS J., SZYMONIK L., JĘDRZEJOWSKA M., 2014 — Sprawozdanie z przeprowadzonych prac monitoringowych na Wzgórzu św. Bronisławy w rejonie ulicy Sawickiego w Krakowie. Przeds. Geol., Kraków.
- WÓJCIK A., 2012 — Mapa Osuwisk i Terenów Zagrożonych Ruchami Masowymi w skali 1:10 000, ark. Kraków – Miasto. Państw. Inst. Geol. – PIB, Kraków.

---

## PORÓWNANIE WYNIKÓW KARTOWANIA OSUWISK METODAMI TERENOWYMI ORAZ OPARTYMI NA LOTNICZYM SKANINGU LASEROWYM

Paweł KROH<sup>1</sup>, Paweł STRUŚ<sup>1</sup>, Dominika WRÓŃSKA-WAŁACH<sup>2</sup>, Elżbieta GORCZYCA<sup>2</sup>,  
Michał DŁUGOSZ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Uniwersytet Pedagogiczny im. Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie, Instytut Geografii; e-mail: pkroh@up.krakow.pl, pstrus@up.krakow.pl.

<sup>2</sup> Uniwersytet Jagielloński, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Kraków; e-mail: elzbieta.gorczyca@uj.edu.pl, dominika.wronska-walach@uj.edu.pl.

<sup>3</sup> Instytut Geografii i Zagospodarowania Przestrzennego Polskiej Akademii Nauk, Kraków; e-mail: dlugosz@zg.pan.krakow.pl.

Uruchomienie Informatycznego Systemu Osłony Kraju Przed Nadzwyczajnymi Zagrożeniami (ISOK) stworzyło nowe możliwości badawcze. Produkty tego systemu, takie jak chmury punktów, precyzyjne numeryczne modele terenu itp., są bardzo dobrymi materiałami źródłowymi do wielu badań geograficznych i geomorfologicznych. Umożliwiają zarówno prowadzenie nowych badań wielkopowierzchniowych, jak i weryfikację wyników badań wykonywanych metodami klasycznymi.

Celem pracy było porównanie skuteczności kartowania osuwisk dwiema metodami. Jedną metodą były prace terenowe wykonywane przez zespół ekspertów geomorfologów w latach 2010–2011, drugą – wygenerowanie numerycznego modelu terenu (NMT) z chmury punktów i jego analiza. Prace z wykorzystaniem NMT prowadzili badacze, dla których jedynym źródłem danych był model terenu (nie prowadzili oni badań terenowych na tym obszarze).

Wykazano dużą zbieżność wyników, oszacowaną na 86% powierzchni osuwiskowej. Bardzo dużą zbieżność wyników uzyskano także w liczbie budynków położonych na osuwiskach. Wskazuje to na bardzo duży potencjał aplikacyjny zastosowanych metod.

W wyniku prac badawczych ujawniono także mankamenty badań prowadzonych wyłącznie na NMT. Na obszarze badań spotkano się ze wszystkimi możliwymi wariantami niezgodności danych (np. budynki, które przez badaczy terenowych zostały uznane za zagrożone osuwaniem, a nie zostały uznane za takowe przez badaczy pracujących na NMT, lub też budynki uznane za zagrożone przez jednego lub obu „rysowników”, a pominięte przez badaczy terenowych). Rozbieżności te wskazują jednoznacznie, że posłużenie się danymi numerycznymi może znacznie ułatwić i przyspieszyć kartowanie osuwisk oraz zwiększyć jego dokładność, jednak nie może to być jedyna zastosowana metoda badawcza. Nawet najbardziej precyzyjne dane numeryczne wymagają wnikliwej weryfikacji terenowej.

Autorzy porównali także skuteczność kartowania osuwisk na terenach leśnych i nieleśnych. W wyniku zastosowania technologii lotniczego skanowania laserowego dla terenów z roślinnością leśną uzyskuje się mniejszą liczbę punktów odbicia od gruntu niż dla terenów nieleśnych. Poddano analizie skuteczność zastosowania lotniczego skanowania laserowego do celów kartowania osuwisk w zależności od pokrycia terenu.

---

## OSUWISKA NA BRZEGACH RZEK ZACHODNIEGO PODHALA

Józef KUKULAK, Karol AUGUSTOWSKI

Uniwersytet Pedagogiczny im. Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie; e-mail: jkukulak@up.krakow.pl, karolaug@up.krakow.pl.

Ze względu na rozmiary szkód gospodarczych oraz rozległość zmian powierzchni terenu badacze więcej uwagi poświęcają osuwiskom na obszarach użytkowanych rolniczo i komunikacyjnie oraz na obszarach zabudowanych. Mniej uwagi poświęca się natomiast osuwiskom nadrzecznym, szczególnie tym, które nie zagrażają bezpośrednio człowiekowi. Tymczasem takie osuwiska mają istotny wpływ na rozwój koryt rzecznych i trwałość ich brzegów oraz na dostawę do koryt rumowiska skalnego i drzewnego. Autorzy przedstawili przykłady powstałych na brzegach rzek osuwisk, w których koluwiami są wcześniejsze aluwia.

Do analizy wybrano osuwiska powstałe na brzegach rzek podhalańskich: Czarnego Dunajca w Chochołowie, potoku Bystrego w Starym Bystrem i Wielkiego Rogoźnika w Ludźmierzu. Ich wspólną cechą jest nie tylko podobieństwo typu utworów podłoża, w którym te osuwiska się rozwinęły, ale także pozycja morfologiczna. Ruchy grawitacyjne objęły bowiem czołowe powierzchnie wysokich teras rzecznych i stożków napływowych, w których na łożach neogeńskich zalega aluwialna pokrywa słabo skonsolidowanych żwirów i glin. Bezpośrednią przyczyną uruchomienia tych osuwisk było podcinanie brzegów przez rzeki w czasie wezbrań.

W Chochołowie osuwisko objęło fragment lewobrzeżnej terasy o wysokości 12 m. Znajduje się ono w odległości 2,2 km poniżej mostu na Czarnym Dunajcu (prowadzącego do przejścia granicznego na Słowację w Suchej Horze) i ma powierzchnię ok. 5 a. W tym miejscu rzeka podczas wezbrań podcina stromy stok (czoło) terasy. Sama terasa jest typu skalno-osadowego, jej pokrywą akumulacyjną tworzą gliny (1,5 m) zalegające na grubych żwirach z piaskiem (4,0–4,5 m), których podstawą (cokołem) są ilasto-mułowe łupki plioceńskie (Watycha, 1977).

Mechanizm rozwoju tego osuwiska i sama jego rzeźba są nieco inne niż w osuwiskach zboczowych. Gruba warstwa stropowych glin utrudnia i spowalnia wsiąkanie wody, większość wody spływa bruzdami polnymi ku krawędzi terasy. W przykrawędziowej części terasy gliny są gęsto splekane kontrakcyjnie, a dzięki pionowemu układowi splekań woda może głęboko infiltrować w warstwę żwirów, tym bardziej że są one słabo skonsolidowane. Żwiry te odznaczają się dużą przepuszczalnością i małą nasiąkliwością, a migracja wody w głąb i jej wypływ ku powierzchni stoku na kontakcie z ilami powodują, że gliniasto-żwirowa część stoku teras traci stabilność. Następują grawitacyjne przemieszczenia różnej wielkości brył (pakietów) gliniastych i żwirowych w dół stoku. Odległość ich przemieszczeń jest jednak nieduża, ponieważ cokolwiek terasy jest bardziej odporny na wsiąkanie wody i wykazuje większą stabilność. Neogeńskie łupki ilaste wolno nasiąkają wodą i ulegają głównie pęcznieniu (lasowaniu); nie powstają w nich wyraźne powierzchnie odkłucia i poza częścią kontaktującą ze żwirami (1,0–1,5 m) nie występują w nich deformacje. Dolna część terasy ulega zatem przemieszczeniom osuwiskowym słabiej i wolniej niż część wyższa. To sprawia, że podłużny profil osuwiska jest wklęsło-wypukły, a wały koluwiów żwirowo-gliniastych piętrzą się bezładnie na szerokiej podstawie zbudowanej z ilów. Istotne jest to, że grawitacyjne przemieszczenia utworów gliniastych i żwirów postępują intensywnie nie tylko latem, lecz także w półroczu zimowym, w okresach wielokrotnej multigelacji (Augustowski, Kukulak, 2013).

W podobny sposób rozwijało się osuwisko na prawym brzegu rzeki Wielki Rogoźnik w Ludźmierzu. Powstało ono w sąsiedztwie rozległego torfowiska niskiego, z którego silnie zakwaszone wody odpływają bruzdami i śródpokrywowo w kierunku krawędzi osuwiska. Przepływ takich wód przez stropowe gliny i warstwę niżej leżących żwirów sprzyja chemicznemu wietrzeniu tych osadów, zwłaszcza dolnej części serii żwirowej, blisko kontaktu z nieprzepuszczalnymi ilami neogeńskimi. Sama aktywność osuwiska była i nadal jest determinowana głównie wahaniami poziomu rzeki. Przy wysokich wodostanach następuje boczna migracja wód rzecznych w dolną, zwietrzałą część żwirów, która staje się warstwą czynną, podatną na grawitacyjne przemieszczenia.

Prawym brzegiem potoku Bystry w Starym Bystrem jest wysoka (16–22 m) skarpa, będąca erozyjnym podcięciem garbu Czerwonej Góry. Na stoku skarpy znajduje się pięć głębokich i dużych (do 0,5 ha) osuwisk typu rotacyjnego, występujących pojedynczo i zespołowo. Garb Czerwonej Góry jest zbudowany ze żwirów fliszowych przewarstwionych ilami i tufitami (Birkenmajer, 1979). Stożkowa struktura wnętrza garbu sprawia, że w wielu miejscach na powierzchni skarpy występują wypływy wód infiltracyjnych. To one przyczyniają się do uruchomienia zsuwów grawitacyjnych i ułatwiają rotację naruszonych części stożka. Rzeźba osuwisk składa się z łukowych, głębokich nisz i wałów koluwiów nasuniętych na siebie. Między wałami w dwóch osuwiskach występują płytkie jeziora. Osunięciu ulegają żwiry i gliny, wzdłuż kontaktu z przewarstwieniami ilastymi.

Opisane przykłady osuwisk na brzegach koryt wskazują na bezpośredni związek systemu stokowego z korytowym. Równocześnie dowodzą, że ruchom osuwiskowym mogą podlegać nie tylko pokrywy zwietrzelinowe i lite podłoże na stokach, ale również pokrywy aluwialne w dnach dolin. Ponadto wynika z nich, że obecność utworów ilastych w terasach (cokoły, przewarstwienia) sprzyja jedynie szybkiemu przemieszczaniu się osadów nadległych, natomiast same utwory ilaste wolniej podlegają osuwaniu. W przypadku teras, w których nie występują skały ilaste, osuwanie postępuje równomiernie na całej długości stoku.

## LITERATURA

- AUGUSTOWSKI K., KUKULAK J., 2013 — Przekształcenia powierzchni brzegów rzecznych przez procesy mrozowe. *Landf. Anal.*, **24**: 3–10.
- BIRKENMAJER K., 1979 — Przewodnik geologiczny po pienińskim pasie skałkowym. Wydaw. Geol., Warszawa.
- WATYCHA L., 1977 — Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1:50 000, ark. Czarny Dunajec (1048). Wydaw. Geol., Warszawa.



## **RYZIKO OSUWISKOWE – IMPLIKACJE DLA ZAGOSPODAROWANIA PRZESTRZENNEGO I STABILIZOWANIA INDYWIDUALNYCH OBIEKTÓW (NA PRZYKŁADZIE KORONOWA K. BYDGOSZCZY)**

Izabela LASKOWICZ<sup>1</sup>, Teresa MROZEK<sup>1</sup>, Lesław ZABUSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, Kraków; e-mail: izabela.laskowicz@pgi.gov.pl, teresa.mrozek@pgi.gov.pl.

<sup>2</sup> Instytut Budownictwa Wodnego Polskiej Akademii Nauk, Gdańsk; e-mail: lechu@ibwpan.gda.pl.

Występowanie i intensywność ruchów masowych zależą od wzajemnego oddziaływania warunków geosrodowiskowych oraz czynników inicjujących i wspomagających propagację tych ruchów. Obszary górskie są powszechnie postrzegane jako tereny szczególnie narażone na osuwanie, jednak zjawiska te stanowią także duże niebezpieczeństwo w innych rejonach. Osuwiska powodują zniszczenia oraz straty ekonomiczne i społeczne, w głównej mierze tam, gdzie występuje silna antropopresja, zwłaszcza związana z ekspansją budownictwa. Implikacje ruchów masowych w terenie nizinnym omówiono na przykładzie doliny Brdy w gminie Koronowo.

W rejonie Koronowa – ze względu na występujące tam formy morfologiczne (wyniesienia wzgórz morenowych, dolina rzeczna Brdy, dolinki wciosowe itp.) i budujące je osady (gliny morenowe, mułki, iły, piaski wodno-lodowcowe itd.) – zachodzą procesy grawitacyjne. Blisko 25% powierzchni skarpy Brdy na badanym obszarze pokrywają osady koluwalne. Wzmoczoną aktywność osuwisk odnotowano tam m.in. w latach 70. i 90. XX w., a także na początku XXI w., szczególnie w latach 2010–2011. Doprowadziła ona do uszkodzeń budynków i zniszczeń w infrastrukturze miejskiej Koronowa i przyległych miejscowości. W związku z tym zaszła potrzeba dokonania oceny zagrożenia i ryzyka osuwiskowego w tym rejonie. Ocena ta wiąże się z przewidywaniem zjawisk osuwania, ze znalezieniem zależności między ich przyczynami i skutkami, a także ze zbilansowaniem korzyści i kosztów (nakładów) związanych z zabezpieczeniami.

Podatność utworów na osuwanie i zagrożenie osuwiskowe oceniono, wykorzystując metodę statystyczną opartą na ilorazie wiarygodności (ELR), jak również procedurę modelowania przestrzennego SPM (*Spatial Prediction Modelling*). Na podstawie mapy użytkowania terenu i danych o rynkowej wartości nieruchomości sporządzono mapę wartości terenu. Kompilacja map zagrożenia osuwiskowego, użytkowania terenu oraz wartości terenu pozwoliła na wyznaczenie obszarów o dużym ryzyku występowania osuwisk i powstawania strat.

Najbardziej zagrożone są tereny położone wzdłuż krawędzi doliny Brdy, zwłaszcza po stronie zachodniej, chociaż duże zagrożenie występuje również po stronie wschodniej. Największych strat można się spodziewać w rejonach już zagospodarowanych, natomiast w rejonach jeszcze niezagospodarowanych, ale znajdujących się w strefach zagrożonych (np. w południowo-wschodniej części obszaru) należy unikać kosztownych inwestycji, a w przypadku podejmowania takich działań powinno się dobierać technologie zgodnie z zasadami „dobrej praktyki”, ponieważ ryzyko strat jest tam szczególnie duże.

Mimo niewątpliwych szkód spowodowanych przez osuwiska i strat mogących powstać w wyniku ich propagacji nie w każdym przypadku stabilizowanie osuwiska jest opłacalne z ekonomicznego i uzasadnione ze społecznego punktu widzenia. Z tego względu wykonano analizę kosztów stabilizowania osuwiska i możliwych strat, porównując nakłady potrzebne na ustabilizowanie osuwiska (C) ze stratami spowodowanymi przez potencjalny zsuw (B). Do analizy wybrano sześć osuwisk (Tucholska, Grabina, Podgórna, Okole, most, cmentarz) znajdujących się w strefach szczególnie zagrożonych. Ich aktywność nasiliła się na początku XXI w. i doprowadziła do zniszczenia zasobów materialnych. Oszacowanie potencjalnych strat przeprowadzono z uwzględnieniem kosztów bezpośrednich i pośrednich. W celu obliczenia nakładów potrzebnych na stabilizację każdego z wybranych osuwisk opracowano koncepcje ich zabezpieczenia.

Podjęcie działań uznaje się za opłacalne wtedy, gdy stosunek C/B jest mniejszy od 1, czyli gdy koszt wyprzedzającego stabilizowania będzie niższy od potencjalnych strat. Jeśli zaś koszt zabezpieczenia osuwiska jest większy od kosztów potencjalnych strat ( $C/B > 1$ ), nie ma on ekonomicznego uzasadnienia.



**Tab. 1. Wskaźniki C/B dla analizowanych przypadków stabilizowania osuwisk**

| Osuwisko                     | Potencjalna strata (B)<br>[zł] | Koszt zabezpieczenia (C)<br>[zł] | Wskaźnik C/B |
|------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------|
| Tucholska                    | 5 108 218                      | 520 000                          | 0,10         |
| Grabina (1+2)                | 2 153 310                      | 506 900                          | 0,24         |
| Podgórna                     | 1 439 055                      | 35 700                           | 0,02         |
| Okole                        | 206 508                        | 289 500                          | 1,40         |
| Most kolejki wąskotorowej    | 302 636                        | 162 800                          | 0,54         |
| Cmentarz (strona południowa) | 130 070                        | 57 500                           | 0,44         |

Z analizy (tab. 1) wynika, że w każdym rozpatrywanym przypadku – z wyjątkiem osuwiska Okole – stabilizowanie jest opłacalne.

Poza przesłankami ekonomicznymi za stabilizowaniem osuwiska może przemawiać także wzgląd na wartości niedające się ocenić w ujęciu finansowym. Ocena przedsięwzięć stabilizacyjnych wymaga wówczas indywidualnej analizy, uwzględniającej zachowanie dóbr kultury oraz obiektów o wartości społecznej. Przykładem takiej inwestycji jest zabezpieczenie osuwiska przy moście kolejki wąskotorowej w Koronowie. Jest to zabytek architektury technicznej, a w takim przypadku kryteria kulturowe są ważniejsze od kryteriów ekonomicznych.

## PROCES LIKWIDACJI OSUWISKA W MIEJSCOWOŚCI WIENIEC W GMINIE GDÓW

Krzysztof LIGEZA<sup>1</sup>, Paweł KARCZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Eco.Geo.Invest, Ochotnica Dolna; e-mail: eco.geo.invest@gmail.com.

<sup>2</sup> Zakład Usług Geotechnicznych GEO-RES, Rzeszów; e-mail: biuro@geo-res.pl.

Występowanie ruchów masowych na obszarach zurbanizowanych stanowi duże wyzwanie dla samorządów lokalnych, zarówno pod względem prawidłowej oceny stateczności gruntów na etapie opracowywania miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego, jak i pod względem usuwania skutków zjawisk osuwiskowych na terenach już zabudowanych. Rewitalizacja terenów zdegradowanych w wyniku tego typu katastrof wiąże się ze znacznymi nakładami finansowymi, a także wymaga wybrania odpowiednich metod stabilizacji i zabezpieczenia infrastruktury technicznej i komunikacyjnej. W wielu przypadkach samorządy nie są przygotowane na samodzielnie sfinansowanie kosztów badań geologicznych oraz zaprojektowania i wykonania właściwej stabilizacji. Autorzy przedstawili poszczególne etapy kompleksowego zabezpieczenia terenu osuwiska, od momentu jego uaktywnienia, poprzez etap badań geologiczno-inżynierskich, ubiegania się o dotację, aż do wykonania stabilizacji. Jako przykład opracowania i jednocześnie prawidłowego przeprowadzenia wszystkich etapów przedsięwzięcia wybrano osuwisko w miejscowości Wieniec (gmina Gdów, powiat wielicki), którego rozpoznanie geologiczne i stabilizacja były nadzorowane przez autorów niniejszego referatu. Teren osuwiska pod względem geologicznym znajduje się na Pogórzu Wiśnickim, na obszarze jednostki śląskiej w Zewnętrznych Karpatach Zachodnich. Osuwisko powstało w 2010 r. w wyniku intensywnych opadów atmosferycznych. Według opracowanej przez Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy karty rejestracyjnej ma ono charakter osuwiska gruntowego, rozwiniętego w zboczu doliny rzeki Raby. Osunięcie mas ziemnych powstało w czwartorzędowych, nieskonsolidowanych osadach lessopodobnych, które po intensywnym nawodnieniu w wyniku obfitych opadów deszczu utraciły spójność i grawitacyjnie zsunęły się po zboczu, powodując zagrożenie dla znajdującego się w niedużej odległości budynku

mieszkalnego zlokalizowanego na stoku oraz dla infrastruktury drogowej przebiegającej u jego podnóża. Poszczególne etapy likwidacji skutków osuwiska zagrażającego infrastrukturze komunalnej polegały na stwierdzeniu szkody i oszacowaniu strat przez gminną komisję, a następnie na weryfikacji zdarzenia przez wojewódzką komisję zajmującą się weryfikowaniem szacunku strat spowodowanych przez klęski żywiołowe w infrastrukturze komunalnej. Sporządzono dwa protokoły, które w późniejszych etapach stanowiły załączniki do wniosku o dofinansowanie. Następnie opracowano kartę rejestracyjną osuwiska, którą wraz z protokołem i ze wstępnym planem finansowym przedłożono wojewódzkiemu zespołowi nadzorującemu realizację zadań w zakresie przeciwdziałania ruchom osuwiskowym oraz usuwania ich skutków (WZNRZ) w celu uzyskania wstępnej opinii. W planie finansowym określono poszczególne etapy opracowania dokumentacji i likwidacji skutków osuwiska. W przypadku analizowanego osuwiska ustalono trzy główne zadania, obejmujące opracowanie dokumentacji geologiczno-inżynierskiej i dokumentacji projektowo-budowlanej oraz wykonanie robót budowlanych (stabilizacyjnych). Po uzyskaniu promes wyłoniono wykonawców robót i złożono wnioski do wojewody. Po podpisaniu umowy, w trakcie realizacji poszczególnych etapów prac, kolejno weryfikowano (PIG-PIB) dokumentację geologiczno-inżynierską oraz dokumentację projektowo-wykonawczą i rozliczano wykonanie zadania. Po każdym etapie WZNRZ analizował dokumentację i wydawał opinię dotyczącą finansowania kolejnego etapu robót. Efektem stabilizacji osuwiska było zabezpieczenie skarpy poprzez wykonanie żelbetowej ściany oporowej posadowionej na mikropalach i kotwionej za pomocą iniekcyjnych kotew gruntowych. Wykonano również narzut kamienny w celu poprawy stateczności i ograniczenia erozji skarpy. W celu odwodnienia skarpy wykonano system kanałów drenarskich oraz umocnienie pobocza drogi poprzez ułożenie betonowych płyt ściekowych. Podczas poszczególnych etapów przedsięwzięcia pojawiały się różnego rodzaju problemy, wymagające podejmowania dodatkowych działań i stosowania rozwiązań umożliwiających prawidłową likwidację skutków osuwiska. Autorzy przedstawili przykłady problemów w sposób chronologiczny, w kolejności ich pojawiania się podczas kolejnych etapów realizacji prac.

---

## **DOKUMENTOWANIE WARUNKÓW GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH W REJONIE OSUWISK W ŚWIECIE WYMAGAŃ EUROKODU 7**

Edyta MAJER, Grzegorz RYŻYŃSKI

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa; e-mail: edyta.majer@pgi.gov.pl, grzegorz.ryzynski@pgi.gov.pl.

Procesy osuwiskowe stanowią zagrożenie dla projektowanych i modernizowanych obiektów infrastruktury liniowej i kubaturowej. Od ich poprawnego i wczesnego zidentyfikowania oraz szczegółowego zbadania (udokumentowania) zależy bezpieczeństwo realizacji inwestycji.

Zakres zniszczeń spowodowanych przez osuwiska jest znaczny i obejmuje straty materialne, funkcjonalne i społeczne. Obiekty infrastruktury liniowej są szczególnie wrażliwe na miejscowe uszkodzenia (przerwanie ciągłości komunikacyjnej). Usunięcie skutków procesów osuwiskowych jest trudne technicznie, czasochłonne i kosztowne.

W świetle obowiązujących przepisów obszary występowania procesów osuwiskowych są klasyfikowane jako obszary o skomplikowanych warunkach gruntowych. W związku z tym obiekty infrastruktury liniowej i kubaturowej projektowane na terenach osuwiskowych zalicza się do trzeciej kategorii geotechnicznej. Wiąże się to z koniecznością wykonywania opracowań geologiczno-inżynierskich dla tych obszarów, tj. projektu robót geologicznych oraz dokumentacji geologiczno-inżynierskiej, podczas sporządzania projektu budowlanego oraz z koniecznością prowadzenia monitoringu w trakcie budowy obiektu i jego eksploatacji. Wprowadzenie do projektowania zasad Eurokodu 7 (zbioru norm europejskich związanych z projektowaniem geotechnicznym) zwiększyło znaczenie odpowiedzialnego podej-

ścia do oceny i prognozy zmian warunków geologiczno-inżynierskich w podłożu gruntowym, w szczególności na potrzeby zapewnienia bezpieczeństwa obiektów budowlanych w trakcie ich budowy oraz eksploatacji.

Wytczne dotyczące projektowania badań i dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich w rejonie osuwisk oparto na zasadach wymienionych w poradniku „Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich dla potrzeb rekultywacji terenów zdegradowanych” (Frankowski i in., 2012), opracowanym na zlecenie Ministerstwa Środowiska. Podane w poradniku zasady projektowania i dokumentowania uzupełniono i odniesiono do typów osuwisk oraz do zaleceń Eurokodu 7 związanych z analizą stateczności skarp i zboczy o charakterze osuwiskowym, a także do wymagań prawa krajowego w tym zakresie. Dodatkowo podano zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich na terenach o zwiększonym prawdopodobieństwie wystąpienia osuwisk istotne na początku realizacji inwestycji. Informacje te są skierowane do samorządów oraz wydziałów bezpieczeństwa i zarządzania kryzysowego na potrzeby realizacji programu priorytetowego „Ochrona powierzchni ziemi” w zakresie przeciwdziałania osuwiskom ziemi i likwidowania ich skutków dla środowiska.

Scharakteryzowano wymagania Eurokodu 7 odnośnie do sposobu wykonywania badań geologiczno-inżynierskich (geotechnicznych) na potrzeby budownictwa. Przedstawiono możliwości pozyskania informacji geologicznej potrzebnej do prognozowania zmian warunków geologiczno-inżynierskich na skutek działalności człowieka oraz przykłady ich dokumentowania, zwłaszcza przy wykorzystaniu badań geofizycznych.

Zaprezentowano schemat postępowania przy dokumentowaniu warunków geologiczno-inżynierskich w celu określenia strefy zagrożenia osuwiskowego oraz strefy wpływu utraty stateczności zbocza na obiekty budowlane. Scharakteryzowano również pięć etapów dokumentowania geologiczno-inżynierskiego, tj. etap identyfikacji procesów osuwiskowych, etap kartowania geologiczno-inżynierskiego, etap projektowania prac i robót geologicznych, etap wykonania badań polowych i laboratoryjnych oraz etap opracowania dokumentacji geologiczno-inżynierskiej.

Omówiono tematykę doboru parametrów wytrzymałościowych do obliczeń stateczności zboczy i konsekwencji wynikających z niewystarczającego udokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich i związanej z tym optymalizacji rozwiązań projektowych w celu przeciwdziałania osuwiskowi lub zabezpieczenia osuwiska.

## LITERATURA

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. Państw. Inst. Geol. – PIB, Warszawa.

---

## **GEOINFORMACYJNE MODELOWANIE PODATNOŚCI OSUWISKOWEJ NADMORSKICH OBSZARÓW MŁODOGLACJALNYCH NA PRZYKŁADZIE TRÓJMIASTA**

Anna MAŁKA

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Geologii Morza, Gdańsk;  
e-mail: anna.malka@pgi.gov.pl.

Najistotniejszymi dla gospodarki formami powstałymi w wyniku ruchów masowych są osuwiska. Ich powstanie często ma charakter katastrofalny i powoduje znaczne straty ekonomiczne. Niszczące działanie osuwisk nabiera szczególnej wagi w przypadku zwartych aglomeracji miejskich. Przykładem

takiego obszaru jest Trójmiasto, zlokalizowane na terenie o bardzo urozmaiconej morfologii. Tylko w 2001 r. po nawalnych opadach deszczu straty wywołane uaktywnieniem osuwisk w Gdańsku oszacowano na 3,7 mln zł.

Jedną z wielu metod zarządzania ryzykiem osuwiskowym, powszechnie stosowaną na świecie, jest określanie miejsc o zwiększonym prawdopodobieństwie wystąpienia ruchów masowych z wykorzystaniem narzędzi GIS i metod statystycznych. Otrzymane w wyniku numerycznych analiz statystycznych mapy podatności osuwiskowej znajdują zastosowanie przy podejmowaniu decyzji i przy sporządzaniu miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego. W prezentacji przedstawiono wyniki modelowania prognostycznego osuwisk w obszarze zurbanizowanym Trójmiasta. Źródłem informacji wykorzystanych w analizie jest *Mapa Osuwisk i Terenów Zagrożonych Ruchami Masowymi w skali 1:10 000* (MOTZ) obejmująca obszar Gdańska. Zbiór zinventaryzowanych osuwisk podzielono na dwa zróżnicowane przestrzennie podzbiory o liczebności 66 i 30. Większy podzbiór i mapy tematyczne wykorzystano do opracowania modelu podatności, natomiast drugi podzbiór posłużył do jego weryfikacji. Taki podział umożliwił osiągnięcie dużej dokładności i wysokiej reprezentatywności modelu, a także statystycznie wiarygodną jego weryfikację.

W analizie przestrzennej wykorzystano dane wysokościowe pochodzące z lotniczego skaningu laserowego (ALS – *Airborne Laser Scanning*), określane również jako dane LIDAR (*Light Detection and Ranging*), wykonanego w ramach ogólnopństwowego projektu ISOK. Na podstawie cyfrowego modelu wysokościowego obliczono pierwotne i wtórne atrybuty topograficzne: nachylenie, ekspozycję, krzywiznę wertykalną, energię rzeźby, topograficzny indeks wilgotności (TWI), indeks siły spływu (SPI), i współczynnik zdolności transportowania osadu (LS). Pozostałe warstwy tematyczne użyte w analizie GIS dotyczyły użytkowania terenu, odległości analizowanego miejsca od wód powierzchniowych, rodzaju i rozkładu gruntów na głębokości 1, 2 i 4 m p.p.t. oraz głębokości zwierciadła wód podziemnych obliczonej metodą alokacji euklidesowej na podstawie danych z dokumentacji geologiczno-inżynierskich. Połączenie informacji z MOTZ z cyfrowymi mapami tematycznymi umożliwiło wykonanie precyzyjnej analizy wielokryterialnej GIS z zastosowaniem metody indeksowej (*Landslide Index Method*) i opracowanie mapy podatności osuwiskowej rozpatrywanego obszaru.

Największe znaczenie dla powstawania osuwisk na młodoglacjalnym terenie Gdańska mają czynniki geomorfologiczne oraz erozja powierzchniowa i spłukiwanie powodujące rozluźnienie i zmianę struktury gruntu. Na podstawie wykonanych map można stwierdzić, że istnieje wyraźna korelacja między podatnością osuwiskową a współczynnikiem LS, spadkami i energią rzeźby. Te czynniki pasywne charakteryzują się najwyższymi wartościami współczynnika podatności osuwiskowej ( $\ln W_i > 1$ ). W wyniku badań wykazano zwiększoną podatność na osuwanie stoków wklęsłych o nachyleniu 10–29° i ekspozycji N, NW i NE, wykształconych w osadach zróżnicowanych litologicznie w profilu pionowym oraz odznaczających się obecnością przewarstwień w postaci piasków pyłowatych, pyłów i iłów. Czynniki silnie determinującymi procesy osuwiskowe są uwarunkowania hydrologiczne: płytkie zaleganie wód gruntowych (1–2 m), bliskie położenie (0–50 m) wód powierzchniowych oraz zwiększone wartości indeksu TWI. Obliczone metodą indeksową wagi poszczególnych czynników wykorzystano do opracowania mapy podatności osuwiskowej sąsiednich powiatów – Gdyni i Sopotu, które charakteryzują się podobną budową geologiczną oraz analogicznymi uwarunkowaniami geomorfologicznymi. W wyniku analizy statystycznej uzyskano przestrzenny rozkład obszarów o zwiększonym prawdopodobieństwie wystąpienia osuwisk na obszarze Trójmiasta. Mapy podatności osuwiskowej zweryfikowano: w przypadku Gdańska na podstawie drugiego podzbioru osuwisk, a w przypadku Gdyni na podstawie osuwisk, które udokumentowano w trakcie niekompletnych terenowych prac kartograficznych przeprowadzonych w 2012 r. na wybranych obszarach.

W celu oceny możliwości predykcyjnych modelu wykonanego z wykorzystaniem metody indeksowej zostanie wykonana analiza geoinformacyjna z zastosowaniem innej metody statystycznej, np. logiki rozmytej lub techniki opartej na prawdopodobieństwie Bayesa.

## **MAPA OSUWISK I TERENÓW ZAGROŻONYCH RUCHAMI MASOWYMI (MOTZ) I KARTY REJESTRACYJNE OSUWISK (KRO) JAKO ŹRÓDŁO INFORMACJI OSUWISKOWEJ**

Paweł MARCINIEC, Ziemowit ZIMNAL

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, Kraków;  
e-mail: pawel.marciniec@pgi.gov.pl, ziemowit.zimnal@pgi.gov.pl.

Inwentaryzacja obszarów osuwiskowych w ramach projektu System Osłony Przeciwośuwiskowej (SOPO) polega na wykonaniu *Mapy Osuwisk i Terenów Zagrożonych Ruchami Masowymi w skali 1:10 000* (MOTZ) oraz na opracowaniu kart rejestracyjnych osuwisk (KRO). Istotą inwentaryzacji jest określenie zasięgu oraz sporządzenie charakterystyki każdego dokumentowanego osuwiska. Niezbędne do tego dane są pozyskiwane przede wszystkim w wyniku badań terenowych, analizy map i opracowań archiwalnych oraz danych fotogrametrycznych. Na mapie są zaznaczane granice osuwisk, strefy aktywności oraz główne elementy rzeźby wewnątrzosuwiskowej z dokładnością odpowiednią do skali mapy i jakości podkładu topograficznego.

Dla każdego stwierdzonego w terenie osuwiska sporządzana jest karta rejestracyjna osuwiska. Na podstawie rozporządzenia ministra środowiska z dnia 20 czerwca 2007 r. w sprawie informacji dotyczących ruchów masowych ziemi oraz zgodnie z instrukcją opracowywania MOTZ (Grabowski i in., 2008) są w niej zamieszczane dane dotyczące lokalizacji, charakterystyki morfometrycznej, geomorfologicznej, geologicznej, hydrograficznej i hydrogeologicznej, historii rozwoju osuwiska, elementów zagospodarowania terenu oraz zagrożeń i szkód osuwiskowych.

Pozyskane w ramach rejestracji osuwisk dane przestrzenne i atrybutowe opracowane w formie dokumentacji dla poszczególnych gmin są gromadzone w specjalnie w tym celu prowadzonej przez państwową służbę geologiczną bazie danych SOPO. Wszystkie zebrane dane przed ich ostatecznym umieszczeniem w bazie są weryfikowane przez zespół koordynatorów z Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego.

Na podstawie gromadzonych danych jest opracowywana informacja osuwiskowa będąca w rozumieniu ustawy Prawo geologiczne i górnicze (PGG) informacją geologiczną. Prawo do informacji geologicznej, na które składa się uprawnienie zarówno do korzystania z informacji geologicznej, jak i do rozporządzania nią, przysługuje niezbywalnie Skarbowi Państwa na zasadzie wyłączności. Korzystanie z tej informacji odbywa się na zasadach regulowanych ustawą PGG, a przypadku KRO także ustawą o ochronie danych osobowych.

Korzystając z informacji osuwiskowej, należy zdawać sobie sprawę z ograniczeń wynikających z założeń przyjętych w projekcie SOPO. Najważniejsze z nich to:

- moment rejestracji (aktualność danych),
- skala opracowania (dokładność),
- aktualność i jakość podkładów topograficznych.

Głównymi użytkownikami informacji osuwiskowej są jednostki administracji samorządowej i rządowej. Dane są wykorzystywane przede wszystkim do sporządzania i aktualizacji planów zagospodarowania przestrzennego, prowadzenia rejestru terenów zagrożonych ruchami masowymi oraz zabezpieczania obszarów osuwiskowych.

Po katastrofie osuwiskowej w 2010 r. w szczególnych przypadkach (duże zagrożenie lub szkoda związana z infrastrukturą) zaistniała konieczność rozszerzenia przyjętej w projekcie SOPO formuły KRO. W takich przypadkach sporządzana jest karta dokumentacyjna osuwiska (KDO), rozszerzona o szczegółową opinię geologiczną dotyczącą możliwości wystąpienia dalszych ruchów osuwiskowych oraz możliwości zabezpieczenia osuwiska. Taka karta stanowi podstawowy dokument w procesie pozyskiwania środków na udokumentowanie i zabezpieczenie osuwiska przez użytkowników publicznych (samorządy, zarządy dróg itp.). Ma na celu ułatwienie decydom wyboru odpowiedniej strategii postępowania. Karta dokumentacyjna osuwiska była również niezbędnym elementem w procesie ubiegania się o pomoc finansową dla osób poszkodowanych w wyniku katastrofalnych ruchów masowych. W latach



2010–2015 wykonano lub zaopiniowano w trybie interwencyjnym kilkaset KDO (większość w 2010 i 2011 r.).

Zasób zweryfikowanych danych atrybutowych osuwisk w lutym 2015 r. obejmował ponad 25 000 kart. Szacuje się, że do września 2015 r. baza danych obejmie ponad 60 000 osuwisk. Tak liczny zbiór pozwala na opracowanie zróżnicowanych produktów skierowanych do konkretnych odbiorców. Możliwe jest prowadzenie różnych analiz, np. uwzględniających zmienne uwarunkowania geośrodowiskowe osuwisk. Informacją osuwiskową może być m.in. informacja o podatności osuwiskowej czy też określenie zagrożeń związanych z ruchami osuwiskowymi.

Najprostszą z miar podatności osuwiskowej jest wskaźnik osuwiskowości powierzchniowej  $O$  (Bober, 1984). Na obszarze Karpat objętym rejestracją (dane z 75 gmin) średni wskaźnik  $O$  wynosi 8,2%. W niektórych gminach karpackich wskaźnik ten przekracza nawet 25%. Zaznacza się zróżnicowanie wskaźnika  $O$  wynikające ze zmienności budowy geologicznej i tektoniki – obserwuje się np. wyższą wartość wskaźnika w strefach nasunięć i na obszarze jednostki skolskiej.

Na podstawie danych z bazy SOPO wyselekcjonowano osuwiska „istotne”, tzn. takie, na których obszarze znajdują się elementy infrastruktury (zabudowa, drogi, linie przesyłowe). Tego rodzaju osuwiska stanowią 13% całego zbioru danych. Wartość ta może wydawać się niewielka, jeśli jednak zwrócić uwagę na liczbę obiektów (ponad 11 000 budynków mieszkalnych, ok. 10 000 budynków gospodarczych, ok. 400 budynków usługowych i przemysłowych, 90 budynków użyteczności publicznej, 90 budynków zabytkowych, 65 odcinków dróg krajowych, 100 odcinków dróg wojewódzkich, ponad 300 odcinków dróg powiatowych i ok. 2500 odcinków dróg gminnych), okaże się, jak wielki problem stanowią osuwiska, zarówno pod kątem ekonomicznym, jak i społecznym.

Zapotrzebowanie społeczne na informację osuwiskową jest coraz większe. Do skutecznego zarządzania taką informacją konieczne jest posiadanie aktualnych danych z obszaru całej Polski, dlatego tak istotne jest nie tylko opracowanie MOTZ, lecz również ciągle aktualizowanie już zgromadzonych danych.

## LITERATURA

- BOBER L., 1984 — Rejony osuwiskowe w polskich Karpatach fliszowych i ich związek z budową geologiczną regionu. *Biul. Inst. Geol.*, **340**: 115–162.
- GRABOWSKI D., MARCINIEC P., MROZEK T., NESCIERUK P., RĄCZKOWSKI W., WÓJCIK A., ZIMNAL Z., 2008 — Instrukcja opracowania Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 20 czerwca 2007 r. w sprawie informacji dotyczących ruchów masowych ziemi (DzU 2007 Nr 121, poz. 840).
- SYSTEM Osłony Przeciwsuwiskowej – SOPO [<http://osuwiska.pgi.gov.pl>].
- USTAWA z dnia 4 lutego 1994 r. – Prawo geologiczne i górnicze (DzU 1994 Nr 27, poz. 96).
- USTAWA z dnia 9 czerwca 2011 r. – Prawo geologiczne i górnicze (DzU 2011 Nr 163, poz. 981).
- USTAWA z dnia 11 lipca 2014 r. o zmianie ustawy Prawo geologiczne i górnicze oraz niektórych innych ustaw (DzU 2014, poz. 1133).

---

## JASKINIE NIEKRASOWE POLSKICH KARPAT FLISZOWYCH I ICH ZWIĄZEK Z ETAPAMI FORMOWANIA RUCHÓW MASOWYCH (CHARAKTER ROZWOJU, TYPOLOGIA, DATOWANIA)

Włodzimierz MARGIELEWSKI, Jan URBAN

Instytut Ochrony Przyrody Polskiej Akademii Nauk, Kraków; e-mail: margielewski@iop.krakow.pl, urban@iop.krakow.pl.

Jaskinie niekrasowe, licznie występujące we fliszu Karpat, są związane z różnymi etapami rozwoju ruchów masowych (Margielewski, Urban, 2003; Margielewski, 2006; Lenart i in., 2014). Powstają one

zarówno w trakcie etapu inicjalnego ruchów masowych jako tzw. szczeliny z rozciągania (ekstensyjne), jak i w trakcie formowania się osuwisk: w płacie osuwiskowym (*landslide body*) oraz w blokowiskowym koluwium (*sensu* Dikau i in., 1996). Dotychczasowe klasyfikacje tych jaskiń nawiązywały do ich kształtu i genezy (podział Vitka, 1983 na *crevice* – rozszerzone szczeliny rozwinięte wzdłuż spękań lub uskoków i *talus* – pustki między wielkimi blokami skalnymi na obszarach blokowisk) lub wręcz do typologii ruchów masowych (*sensu* Varnes, 1978; jaskinie typu: V, H, A z przemieszczeniami typu: przechył, translacja, rotacja – Lenart i in., 2014).

Jaskinie szczelinowe powstają w efekcie rozładowywania naprężenia ścinającego w masywach skalnych generowanego przez czynniki zewnętrzne. Relaksacja naprężenia wzdłuż nieciągłości powoduje powstawanie szczelin, które ulegają poszerzaniu w kolejnych etapach relaksacji naprężenia (Margielewski, Urban, 2003). Rozwój szczelin ekstensyjnych (które mogą być dostępne jako jaskinie) następuje do momentu, gdy część masywu odseparowanego zespołem szczelin zostanie przemieszczona grawitacyjnie. Zjawisko poszerzania szczelin wzdłuż spękań występuje też w płacie osuwiskowym, przetransportowanym *en masse* w formie w miarę zwartego pakietu skalnego (Margielewski, Urban, 2005).

Z geomechanicznego punktu widzenia otwieranie szczelin ekstensyjnych jest związane ze zjawiskiem dylatacji (*dilation, dilatation*), definiowanym jako zmiana objętości ośrodka bez zmiany jego kształtu (Dadlez, Jaroszewski, 1994) i zachodzącym w tym przypadku jako proces dzielenia ośrodka skalnego wzdłuż szczelin na segmenty odrębnie utrzymujące równowagę dynamiczną. Innym zjawiskiem, w efekcie którego może dojść do powstania jaskiń, jest dylatacja (*dilatancy*), polegająca na zmianie struktury i wzroście objętości ośrodka w strefie zniszczenia (Kranz, Scholz, 1977) wskutek wzrostu objętości ośrodka ziarnistego (dylatacja granularna) lub wzrostu objętości ośrodka szczelinowego, czyli propagacji szczelin wzdłuż strefy zniszczenia (Kranz, Scholz, 1977; Kwaśniewski, 1986). Drugi typ dylatacji jest zwany makrodylatacją szczelinową (*fissure macrodilatancy*; Kwaśniewski, 1986), a jej efektem jest rozwój systemu szczelin (jaskiń) powstałych wzdłuż nieciągłości w strefie poślizgu osuwisk (Margielewski i in., 2007; Pánek i in., 2010).

Zaproponowana przez nas nowa klasyfikacja jaskiń jest oparta na dwu kryteriach: morfogenetycznym, uwzględniającym relację między formowaniem jaskini a etapem rozwoju stoku, i geomechanicznym, uwzględniającym proces, który doprowadził do powstania jaskini (Urban, Margielewski, 2013). W podziale morfogenetycznym wyróżniono:

1. Jaskinie inicjalne (*initial caves*), których rozwój poprzedza powstanie znacznych przemieszczeń grawitacyjnych (Margielewski, Urban, 2003). Do tej grupy należy większość jaskiń typu *crevice* według klasyfikacji Vitka (1983).

2. Jaskinie wtórne (epigenetyczne; *subsequent caves*), powstające w osuwiskach, w płacie osuwiskowym i w blokowiskach w koluwiach. Zgodnie z klasyfikacją Vitka (1983) reprezentują one zarówno typ *crevice*, jak i *talus*.

3. Jaskinie pośrednie (*intermediate caves*), które występują w strefie oderwania na granicy masywu skalnego i osuwiska. Ich dostokowa ściana zazwyczaj stanowi kontynuację skarpy głównej osuwiska w głąb masywu skalnego.

W klasyfikacji geomechanicznej wyróżniono następujące typy jaskiń:

1. Jaskinie dylatacyjne (*dilatational caves*), powstające w wyniku procesu dylatacji. Tę grupę reprezentują jaskinie związane z ekstensyjnym poszerzeniem szczelin, zarówno w okresie poprzedzającym powstanie osuwiska (jaskinie inicjalne w podziale morfogenetycznym), jak i w efekcie ruchów osuwiskowych. Według klasyfikacji Vitka (1983) są to jaskinie typu *crevice*.

2. Jaskinie z dylatacji (*dilatancy caves*), powstające w wyniku makrodylatacji szczelinowej (*sensu* Kwaśniewski, 1986). Występują one w strefie poślizgu osuwiska, na granicy podłoża i zdeintegrowanego, przemieszczanego grawitacyjnie fragmentu masywu.

3. Jaskinie blokowiskowe (*chaotic boulder caves*), powstające w wyniku chaotycznych przemieszczeń bloków skalnych, najczęściej w obrębie koluwium. W świetle klasyfikacji Vitka (1983) reprezentują one jaskinie typu *talus*.

Powyższa klasyfikacja umożliwia w sposób prosty i jednoznaczny określenie genezy oraz podstawowych cech morfologicznych jaskiń związanych z ruchami masowymi.

Datowanie metodą radiowęglową (także metodą U/Th oraz na podstawie analizy pyłkowej) nacieków (węglanowych, rzadziej organicznych) z kilkunastu jaskiń szczelinowych w polskich Karpatach

wykazało, że najstarsze z dotychczas zbadanych jaskiń były „otwarte” już w późnym glacie (Jaskinia Słowińska-Drwali w Lipowicy, Jaskinia Miecharska w Beskidzie Śląskim; Urban i in., 2015). Początek wzrostu nacieków (formowanie jaskiń) lub przejście z etapu wzrostu koncentrycznego w dekoncentryczny (grawitacyjna rotacja bloków w jaskiniach) były związane z fazami zwilgoceń klimatu w późnym glacie i holocenie, gdy następowała intensyfikacja ruchów masowych.

*Badania wykonano w ramach projektu badawczego NCN NN306 522 738 finansowanego z funduszy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2010–2015.*

## LITERATURA

- DADLEZ R., JAROSZEWSKI W., 1994 — Tektonika. PWN, Warszawa.
- DIKAU R., BRUNSDEN D., SCHROTT L., IBSEN M.-L. (red.), 1996 — Landslide recognition. Identification, movement and causes. Wiley, Chichester.
- KRANZ R.L., SCHOLZ C.H., 1977 — Critical dilatant volume of rocks at the onset of Tertiary creep. *J. Geophys. Res.*, **82**: 4893–4898.
- KWAŚNIEWSKI S., 1986 — Dylatacja jako zwiastun zniszczenia skały. Część 2. Mechanizm zjawisk poprzedzających zniszczenie. *Prz. Gór.*, **42**: 184–190.
- LENART J., PÁNEK T., DUŠEK R., 2014 — Genesis, types and evolution of crevice-type caves in the flysch belt of the Western Carpathians (Czech Republic). *Geomorphology*, **204**: 459–476.
- MARGIELEWSKI W., 2006 — Structural control and types of movements of rock mass in anisotropic rocks: case studies in the Polish Flysch Carpathians. *Geomorphology*, **77**: 47–68.
- MARGIELEWSKI W., URBAN J., 2003 — Crevice-type caves as initial forms of rock landslide development in the Flysch Carpathians. *Geomorphology*, **54**: 325–338.
- MARGIELEWSKI W., URBAN J., 2005 — Pre-existing tectonic discontinuities in the rocky massifs as initial forms of deep-seated mass movement development: case studies of selected deep crevice-type caves in the Polish Flysch Carpathians. W: *Landslides and avalanches: ICFL 2005 Norway* (red. K. Senneset i in.): 249–256. Taylor & Francis, London.
- MARGIELEWSKI W., URBAN J., SZURA C., 2007 — Jaskinia Miecharska Cave (Beskid Śląski Mts., Polish Outer Carpathians): case study of the crevice type cave developed on sliding surface. *Nature Conserv.*, **63**, 6: 57–68.
- PÁNEK T., MARGIELEWSKI W., TÁBOŘÍK P., URBAN J., HRADECKÝ J., SZURA C., 2010 — Gravitationally induced caves and other discontinuities detected by 2D electrical resistivity tomography: case studies from the Polish Flysch Carpathians. *Geomorphology*, **123**: 165–180.
- URBAN J., MARGIELEWSKI W., 2013 — Types of non-karst caves in Polish Outer Carpathians – historical review and perspectives. W: *16<sup>th</sup> International Congress of Speleology. Proceedings. Vol. 13* (red. M. Filippi, P. Bosak): 314–319. Czech Speleol. Soc., Praha.
- URBAN J., MARGIELEWSKI W., HERCMAN H., ŽÁK K., ZERNITSKA V., PAWLAK J., SCHEJBAL-CHWASTEK M., 2015 — Dating of speleothems in non-karst caves – methodological aspects and practical interpretation, Polish Outer Carpathians case study. *Z. Geomorph.*, **59**: 183–208.
- VARNES D.J., 1978 — Slope movements: type and processes. W: *Landslides: analysis and control* (red. R.L. Schuster, R.J. Krizek). *Transp. Res. Board Spec. Rep.*, **176**: 11–35.
- VITEK J., 1983 — Classification of pseudokarst forms in Czechoslovakia. *Int. J. Speleol.*, **13**: 1–18.

## INTEGRACJA METOD POMIARÓW MONITORINGOWYCH PRZEZ WYKORZYSTANIE METODY RÓWNOWAGI GRANICZNEJ NA OSUWISKU ŁASKI W MIĘDZYBRODZIU BIAŁSKIM

Andrzej MICHALSKI

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, Kraków; e-mail: amich@pgi.gov.pl.

W przypadku osuwisk, które zagrażają tzw. infrastrukturze krytycznej, często jest konieczne prowadzenie badań monitoringowych. Do tego celu wykorzystuje się metody powierzchniowe (pomiaru GPS

oraz skaning laserowy) i wgłębne (pomiaru inklinometryczne). Oprócz tego na obszarze osuwisk wykonuje się pomiary wysokości poziomu zwierciadła wód podziemnych oraz opadów. Uzyskane na ich podstawie dane pozwalają w wiarygodny sposób określić dynamikę ruchu osuwiskowego oraz powiązać go z wahaniami zwierciadła wody. Dzięki takiemu zbiorowi danych możliwe jest wykonanie analizy stateczności osuwiska, która pozwala wykorzystać dane pomiarowe ze wszystkich metod.

Do obliczeń stateczności wykorzystano metodę równowagi granicznej (LEM – *Limit Equilibrium Method*). Była ona tematem licznych prac dotyczących obliczeń stateczności (m.in. Cała, Flisiak, 2001, 2003; Apuani i in., 2005; Li i in., 2009; Singh i in., 2014; Xu i in., 2014). Metodę wykorzystano do obliczenia stateczności na podstawie danych uzyskanych z badań monitoringowych m.in. przez Thiebese i in. (2014). Dotychczas w Polsce nie podjęto próby wykorzystania jej do obliczeń na tak liczny zbiór danych monitoringowych pochodzących z różnych typów badań.

Próbie integracji różnych metod monitoringowych z wykorzystaniem LEM przeprowadzono na osuwisku Łaski w Międzybrodzu Bialskim. Badania tego osuwiska prowadzili Nescieruk i in. (2012, 2013), Wojciechowski i in. (2013), Michalski (2013) oraz Michalski i in. (2014). Na początku wyznaczono pierwotną powierzchnię poślizgu na podstawie analizy rdzeni i sporządzono przekrój geologiczny. Następnie przystąpiono do analizy danych z monitoringu powierzchniowego i wgłębego. Na podstawie danych pomiarowych ze skaningu laserowego i z pomiarów GPS wyznaczono aktywne strefy osuwiska, a na podstawie pomiarów inklinometrycznych – aktywne powierzchnie poślizgu. Analiza danych monitoringowych wykazała, że strefy aktywne nie występują w obrębie całego osuwiska. W związku z tym stwierdzono, że ruchy osuwiskowe nie zachodzą wzdłuż całej długości pierwotnej powierzchni poślizgu. Nowe, aktywne powierzchnie poślizgu powstają głównie w koluwiach (Stopkowicz, Cała, 2004), mogą też częściowo tworzyć się na wcześniejszych płaszczyznach poślizgu. W odniesieniu do aktywnych powierzchni poślizgu dokonano oceny stateczności osuwiska Łaski w Międzybrodzu Bialskim, wykorzystując program GEO 5 – Stateczność zbocza. Oszacowano współczynnik stateczności (FS) w zależności od zmieniających się warunków wodnych, co pozwoliło na określenie relacji między wahaniami zwierciadła wody a wystąpieniem ruchów masowych.

## LITERATURA

- APUANI T., CORAZZATO C., CANCELLI A., TIBALDI A., 2005 — Stability of a collapsing volcano (Stromboli, Italy): limit equilibrium analysis and numerical modelling. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **144**: 191–210.
- CAŁA M., FLISIAK J., 2001 — Slope stability analysis with FLAC and limit equilibrium methods. W: *Proceedings of the Second International FLAC Symposium. FLAC and Numerical Modeling in Geomechanics* (red. D. Billaux i in.): 111–114. Balkema, Rotterdam.
- CAŁA M., FLISIAK J., 2003 — Slope stability analysis with numerical and limit equilibrium methods. W: *Computer Methods in Mechanics, CMM-2003* (red. T. Burczyński i in.): 1–4. Gliwice.
- LI A.J., MERIFIELD R.S., LYAMIN A.V., 2009 — Limit analysis solutions for three dimensional undrained slopes. *Comput. Geotech.*, **36**: 1330–1351.
- MICHALSKI A., 2013 — Slope stability analysis with GEO 5 software for “Łaski” Landslide in Międzybrodzie Bialskie. *Contemp. Trends Geosci.*, **2**: 34–40.
- MICHALSKI A., WOJCIECHOWSKI T., NESCIERUK P., PERSKI Z., 2014 — Aktualna ocena zagrożenia osuwiska „Łaski” w Międzybrodzu Bialskim. W: *Hydrotechnika XVI’2014. Sympozjum Ogólnokrajowe*, Krynica Zdrój, 13–15 maja 2014 r. Materiały. Śląska Rada Nacz. Org. Tech. FSNT, Katowice.
- 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. W: *Hydrotechnika XIV’2012. Sympozjum Ogólnokrajowe*, Ustroń, 22–24 maja 2012 r. Materiały: 25–37. Śląska Rada Nacz. Org. Tech. FSNT, Katowice.
- NESCIERUK P., PERSKI Z., WOJCIECHOWSKI T., WÓJCIK A., 2013 — Osuwisko w Łaskach nad zbiornikiem w Porąbce jak przykład zagrożenia dla sztucznych zbiorników wodnych w Karpatach. W: *Nowoczesne rozwiązania konstrukcyjno-materiałowo-technologiczne. Geotechnika. XXVIII Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji*, Wisła, 5–8 marca 2013 r. T. 2. Wykłady. Referaty firmowe i informacje techniczno-promocyjne: 1–10. PZITB, Kraków.
- SINGH R., UMRAO R.K., SINGH T.N., 2014 — Stability evaluation of road-cut slopes in the Lesser Himalaya of Uttarakhand, India: conventional and numerical approaches. *Bull. Eng. Geol. Environ.*, **73**: 845–857.
- STOPKOWICZ A., CAŁA M., 2004 — Analiza stateczności zboczy zlokalizowanych we fliszu karpackim z zastosowaniem metod numerycznych. W: *Geotechnika i budownictwo specjalne 2004. XXVII Zimowa Szkoła Mechaniki Górniczej*, Zakopane, 14–19 marca 2004 r. T. 1: 519–530. KGBiG AGH, Kraków.



- THIEBES B., BELL R., GLADE T., JÄGER S., MAYER J., ANDERSON M., HOLCOMBE L., 2014 — Integration of a limit-equilibrium model into a landslide early warning system. *Landslides*, **11**: 859–875.
- WOJCIECHOWSKI T., NESCIERUK P., PERSKI Z., WÓJCIK A., WARMUZ B., 2013 — Aktywność osuwiska „Łaski” w Międzybrodziu Bialskim – wycieczka terenowa. W: Wyzwania geologii regionu górnośląskiego w XXI wieku. Przewodnik wycieczek terenowych (red. M. Krobicki, R. Sikora). Państw. Inst. Geol. – PIB, Warszawa.
- XU B., YAN CH., LU Q., HE D., 2014 — Stability assessment of Jinlong village landslide, Sichuan. *Environ. Earth Sci.*, **71**: 3049–3061.

---

## OSUWISKA W GÓRACH KAMIENNYCH (SUDETY ŚRODKOWE) – IDENTYFIKACJA, ROZMIESZCZENIE, MORFOMETRIA I GENEZA

Piotr MIGOŃ, Kacper JANCEWICZ, Marek KASPRZAK, Milena RÓŻYCKA,  
Filip DUSZYŃSKI

Uniwersytet Wrocławski, Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego; e-mail: piotr.migon@uni.wroc.pl,  
kacper.jancewicz@uni.wroc.pl, marek.kasprzak@uni.wroc.pl, milena.rozycka@uni.wroc.pl,  
filip.duszynski@uni.wroc.pl.

Znaczne przekształcenie rzeźby stoków Gór Kamiennych będące efektem osuwisk stwierdzili już geolodzy niemieccy w początkach XX w. (Dathe i in., 1910; Dathe, Berg, 1926). W identyfikacji osuwisk wykorzystywali oni kryteria geologiczne (obecność allochtonicznych pakietów skał wulkanicznych w strefie występowania skał osadowych) oraz geomorfologiczne (charakterystyczny układ form rzeźby na stoku, odpowiadający osuwiskom rotacyjnym). Istnienie osuwisk różnego typu potwierdzono w trakcie prac nad arkuszami *Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów w skali 1:25 000* (np. Grocholski, 1973; Bossowski i in., 1995), jednak nie stały się one wówczas (lata 70. i 80. XX w.) przedmiotem dokładniejszej charakterystyki. W trakcie prac prowadzonych w ostatnich 15 latach wykonano bardziej szczegółowe badania kilku zespołów form osuwiskowych (m.in. w paśmie wzgórz Suchawa–Kostrzyna–Włostowa, pod Garbatką, w Masywie Lesistej i w rejonie kulminacji Rogowca), a udostępnienie wysokorozdzielczych danych wysokościowych (o rozdzielczości rzędu  $1 \times 1$  m) pochodzących z lotniczego skaningu laserowego (LIDAR) pozwoliło na weryfikację wcześniejszych informacji o rozmieszczeniu osuwisk, precyzyjniejsze wyznaczenie ich granic (Migoń i in., 2014) oraz poznanie ich geomorfometrii.

We wschodniej części Gór Kamiennych – w Górach Suchych oraz Masywie Dzikowca i Lesistej Wielkiej – stwierdzono występowanie przynajmniej 27 osuwisk różnej wielkości i 3 dużych kompleksów osuwiskowych, złożonych z kilku nakładających się na siebie form różnego typu. Łącznie zajmują one powierzchnię ponad 300 ha, a największe z nich – zespół osuwisk Suchawa–Włostowa – ponad 50 ha.

Szczególnie częste powstawanie osuwisk w Górach Kamiennych wynika z ich budowy geologicznej. Zaleganie twardych skał wulkanicznych i subwulkanicznych permu (głównie riolitów i trachandezytów) na mało wytrzymałych skałach osadowych permu i karbonu skutkuje znacznym kontrastem właściwości geomechanicznych i indukuje różnorodne deformacje kompleksu osadowego (uplastycznienie, powstanie powierzchni ścięcia). Zdecydowaną większość osuwisk zidentyfikowano na stokach o ekspozycji północnej, bardziej stromych, z wychodniami skał osadowych w dolnej części. Niestateczności stoków sprzyjają także duże różnice wysokości i spadki terenu, w wielu miejscach przekraczające  $40^\circ$ . Analiza form rzeźby, oparta na kartowaniu terenowym i interpretacji modeli numerycznych, wskazuje na duże zróżnicowanie typologiczno-genetyczne osuwisk i poligenezę wielu obszarów osuwiskowych. W Górach Kamiennych występują głęboko zakorzenione osuwiska rotacyjne, płytkie osuwiska translacyjne, osuwiska spływowe (*flowslides*) w dnach dolin, a także głęboko zakorzenione powolne deformacje (*deep-seated gravitational slope deformations*) i lokalnie obrywy, w tym na znaczną skalę (Rogowiec). W wyniku odsłonięcia skalistych skarp głównych w wielu miejscach powstały



warunki do odpadania fragmentów skał i tworzenia rozległych stożków i hałd usypiskowych, nałożonych na przemieszczone bloki osuwiskowe (Remisz i in., 2009; Migoń i in., 2010).

Brakuje doniesień o aktywności osuwisk w Górach Kamiennych w okresie historycznym, ale wyniki badań właściwości gleb wskazują, że część z nich powstała w holocenie (Kacprzak i in., 2013). Również różnice w wyrazistości rzeźby osuwiskowej są interpretowane jako przesłanki za różnym wiekiem poszczególnych osuwisk, z których część to ewidentnie formy reliktowe, plejstoceny, podczas gdy inne mogły wykazywać aktywność względnie niedawno, być może w ostatnich kilkuset latach. O niestabilności części stoków świadczą także wyniki badań dendrochronologicznych.

## LITERATURA

- BOSSOWSKI A., CYMERMAN Z., GROCHOLSKI A., IHNATOWICZ A., 1995 — Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów 1:25 000, ark. Jedlina Zdrój. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- DATHE E., BERG G., 1926 — Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern. Lieferung 145. Blatt Waldenburg Schl. Berlin (2. Aufl.).
- DATHE E., ZIMMERMANN E., BERG G., 1910 — Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten. Lieferung 145. Blatt Friedland Schl. Berlin.
- GROCHOLSKI A., 1973 — Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów 1:25 000, ark. Mieroszów. Wydaw. Geol., Warszawa.
- KACPRZAK A., MIGOŃ P., MUSIELOK Ł., 2013 — Using soils as indicators of past slope instability in forested terrain, Kamienne Mts, SW Poland. *Geomorphology*, **194**: 65–75.
- MIGOŃ P., PÁNEK T., MALIK I., HRADECKÝ J., OW CZAREK P., ŠILHÁN K., 2010 — Complex landslide terrain in the Kamienne Mountains, Middle Sudetes, SW Poland. *Geomorphology*, **124**: 200–214.
- MIGOŃ P., JANCEWICZ K., KASPRZAK M., 2014 — Zasięg obszarów objętych osuwiskami w Górach Kamiennych (Sudety Środkowe) – porównanie map geologicznych i cyfrowego modelu wysokości z danych LIDAR. *Prz. Geol.*, **62**, 9: 463–471.
- REMISZ J., MIGOŃ P., MALIK I., OW CZAREK P., 2009 — Stoki usypiskowe w polskiej części Sudetów – rozmieszczenie i wiek. W: Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych. T. 5. (red. A. Kostrzewski, R. Paluszkiwicz). Wydaw. UAM, Seria Geografia, **88**: 447–465.

---

## PROJEKT SOPO – ELEMENT STRATEGII REDUKCJI RYZYKA OSUWISKOWEGO W POLSCE

Teresa MROZEK<sup>1</sup>, Dariusz GRABOWSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, Kraków;  
e-mail: teresa.mrozek@pgi.gov.pl.

<sup>2</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa; e-mail: dariusz.grabowski@pgi.gov.pl.

Następujące w Polsce katastrofy naturalne reprezentują stosunkowo ograniczone spektrum geozagrożeń, niemniej jednak powodzie i ruchy masowe są powszechne i powodują bardzo duże straty. W odniesieniu do ruchów masowych ofiary śmiertelne w Polsce zdarzają się rzadko, natomiast straty, wynikające przede wszystkim ze zniszczenia dóbr materialnych, są bardzo dotkliwe. Niestety te ostatnie często są niedoszacowane, co należy wiązać z wieloletnim ignorowaniem istniejącego geozagrożenia.

Szczególne nasilenie ruchów osuwiskowych nastąpiło od końca XX w., przy czym wyjątkowo destrukcyjne efekty odnotowano w latach 1997, 2000, 2001, 2005 i 2010. Ze względu na zasięg przestrzenny już wydarzenia z 1997 r. pokazały, że ryzyka osuwiskowego nie można bagatelizować, w tym czasie brakowało jednak zintegrowanego podejścia do tego zagadnienia. Niemniej te katastroficzne wydarzenia stały się stymulatorem do tego, żeby stworzyć ujednolicony system pozyskiwania i gromadzenia danych osuwiskowych, żeby uświadamiać istnienie zagrożenia osuwiskowego zarówno mieszkańcom, jak i władzom (decydentom) oraz żeby rozwijać sposoby zabezpieczeń i prewencji.

Projekt osłony przeciwsuwiskowej, stworzony w odpowiedzi na katastrofę osuwiskową z 1997 r., początkowo był skoncentrowany na odtworzeniu i naprawie dóbr zniszczonych przez osuwiska. Wpisywał się on w wyjściowe stadia cyklu analizy i zarządzania ryzykiem: katastroficzne wydarzenie osuwiskowe → działania ratownicze → odbudowa ze zniszczeń (powrót do stanu wcześniejszego) → ewentualne zabezpieczenie strukturalne. Choć nie uwzględniano wtedy jeszcze działań z zakresu redukcji zagrożenia przez prewencję, to projekt stał się podstawą do wypracowania ogólnej strategii redukcji ryzyka osuwiskowego.

W latach 2000–2007 wprowadzono zmiany w prawie – osuwiska uznano za katastrofy naturalne, które mogą doprowadzić do ogłoszenia klęski żywiołowej. Równocześnie na różne organy władzy samorządowej nałożono obowiązek przeciwdziałania ruchom masowym i ograniczania ich negatywnych skutków.

Obecnie niwelowanie negatywnego oddziaływania zjawisk osuwiskowych przebiega dwutorowo i obejmuje: prace naprawczo-zabezpieczające oraz prace nad ograniczeniem zagrożenia i jednocześnie prace prewencyjne, tym samym jest to sukcesywne rozszerzenie strategii.

W ramach prac naprawczo-zabezpieczających identyfikuje się zniszczenia osuwiskowe, likwiduje powstałe zniszczenia i zabezpiecza obszar przed kolejnymi szkodami w przyszłości. Jest to domena wojewódzkich zespołów nadzorujących realizację zadań w zakresie przeciwdziałania ruchom osuwiskowym oraz usuwania ich skutków (WZNRZ). Przy tych działaniach współpracują lokalne jednostki administracyjne, zgłaszające zniszczenie i prowadzące do rekonstrukcji/ odbudowy obiektów, oraz wykonawcy zabezpieczeń. Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy (PIG-PIB) pełni funkcję eksperta, a odpowiedni WZNRZ ostatecznie ustala priorytet zadań (na podstawie kryteriów geologicznych, finansowych i społecznych). Środki finansowe na prace naprawczo-zabezpieczające są wypłacane przez Ministerstwo Administracji i Cyfryzacji w ramach projektu przeciwdziałania ruchom osuwiskowym oraz usuwania ich skutków.

Drugi rodzaj prac obejmuje działania prowadzone w ramach projektu SOPO. Polegają one na ewidencji obszarów osuwiskowych i wskazaniu terenów potencjalnie zagrożonych ruchami masowymi (mapy osuwisk w skali 1:10 000, karty osuwisk) oraz monitorowaniu tych terenów (z uwzględnieniem miejsc krytycznych) w celach ostrzegawczych i prognostycznych. Środki finansowe na realizację projektu SOPO pochodzą z Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

Prace w ramach SOPO są prowadzone według instrukcji przygotowanej przez PIG-PIB i zaakceptowanej przez ministra środowiska w 2008 r. Opracowane materiały (mapy, karty, dokumentacje z prac monitoringowych) są zgodne z aktualnym stanem prawnym (rozporządzenie ministra środowiska z dnia 20 czerwca 2007 r.), co umożliwia ich bezpośrednie wykorzystanie przez starostów do prowadzenia rejestru terenów zagrożonych ruchami masowymi oraz do sporządzania i aktualizacji planów zagospodarowania przestrzennego na różnym poziomie szczegółowości (gminnym, powiatowym, wojewódzkim, krajowym).

Do stycznia 2015 r. zinventaryzowano osuwiska w 182 gminach, głównie karpackich, o łącznej powierzchni 14 500 km<sup>2</sup>. Na obszarze tych gmin rozpoznano i udokumentowano ponad 47 000 osuwisk oraz wyznaczono ok. 4000 terenów zagrożonych ruchami masowymi. Monitoringiem instrumentalnym (geodezyjnym i inklinometrycznym) objęto 61 osuwisk w miejscach krytycznych.

Pozyskane informacje są gromadzone w bazie danych, można je wyszukiwać, przeglądać i edytować za pomocą aplikacji SOPO. Dane są usystematyzowane w układzie administracyjnym (województwo/ powiat/ gmina) – optymalizuje on szybkość korzystania z zasobów przez administrację samorządową.

Baza danych SOPO daje możliwość wykorzystania zasobów pozyskanych w ramach projektu SOPO w celu podjęcia działań prewencyjnych polegających na bardziej racjonalnym zarządzaniu (modyfikacje planów przestrzennego zagospodarowania). Dzięki temu jest możliwe wprowadzenie w życie polityki redukcji zagrożenia osuwiskowego na zasadzie działań *ex ante*.

W potocznym rozumieniu ryzyko oznacza możliwość wydarzenia się czegoś niedobrego. W odniesieniu do osuwisk ryzyko oznacza możliwość wystąpienia strat, jakie mogą powstać w konsekwencji zagrożenia, tj. oddziaływania procesu osuwiskowego na obiekty znajdujące się w zasięgu tego procesu, przy czym wielkość strat zależy od wrażliwości obiektów na intensywność procesu destrukcyjnego. W myśl powszechnie zalecanych strategii Unii Europejskiej na świecie następuje przeniesienie nacisku ze stosowania rozwiązań inżynierskich dla poszczególnych obiektów na podejmowanie alternatywnych działań, które powinny obejmować: ulepszone planowanie i zarządzanie geośrodowiskiem, stosowanie

„kodu budownictwa”, wykorzystanie systemów wczesnego ostrzegania i uruchomienie systemu ubezpieczeń. W tym celu jest niezbędna współpraca naukowców, planistów, ubezpieczycieli i inżynierów. Projekt SOPO wraz ze swą bazą danych stanowi podwalinę do rozwijania takiej strategii. Jej nieodzownym elementem jest rozpoznanie osuwisk i aktualizacja informacji o ich dynamice. Bieżąca strategia redukcji ryzyka jest prowadzona w takim właśnie trendzie i ma charakter strategii „krok po kroku”. Uwzględnia ona również tzw. dobre praktyki w podejściu do rozwiązywania problemów zmniejszania ryzyka osuwiskowego, ale powinna być nadal ulepszana i rozbudowywana.

## LITERATURA

ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 20 czerwca 2007 r. w sprawie informacji dotyczących ruchów masowych ziemi (DzU 2007 Nr 121, poz. 840).

### WYKORZYSTANIE WŁAŚCIWOŚCI POKRYWY GLEBOWEJ DO OKREŚLENIA WIEKU RUCHÓW MASOWYCH NA PRZYKŁADZIE GÓR KAMIENNYCH (SUDETY ŚRODKOWE)

Łukasz MUSIEŁOK<sup>1</sup>, Andrzej KACPRZAK<sup>1</sup>, Piotr MIGOŃ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Uniwersytet Jagielloński, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Kraków; e-mail: l.musielok@uj.edu.pl, andrzej.kacprzak@uj.edu.pl.

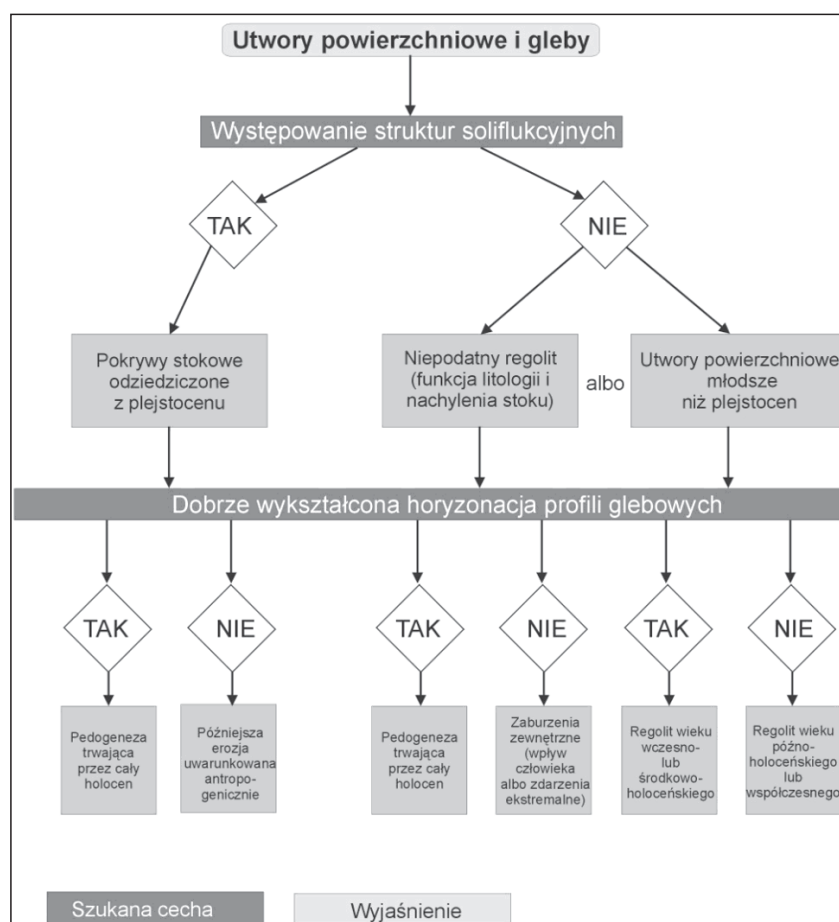
<sup>2</sup> Uniwersytet Wrocławski, Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego; e-mail: piotr.migon@uni.wroc.pl.

W wyniku ruchów masowych dochodzi do zmiany pierwotnej powierzchni stoku oraz kierunku i intensywności procesów glebotwórczych. W datowaniu ruchów masowych największe znaczenie ma to, że zmieniają one czas trwania pedogenezy na obszarach, na których występują. Na skutek odsłonięcia podłoża nieobjętego wcześniej procesami glebotwórczymi i powstania nowej powierzchni morfologicznej w strefie depozycji koluwiów osuwiskowych gleby na stokach objętych ruchami masowymi otrzymują nowy „czas zero” ( $time_{zero}$ ), rozumiany jako moment rozpoczęcia działania procesów glebotwórczych.

Ze względu na ogromne zróżnicowanie właściwości gleb, wynikające z różnorodności materiału macierzystego oraz roślinności i klimatu, trudno mówić o istnieniu sekwencji typów gleb charakterystycznych dla stoków osuwiskowych, uniwersalnej w skali ponadregionalnej. Istniejące systematyki gleb wykorzystują zbliżone kryteria, ale nie w sposób jednakowy. W badaniach o charakterze interdyscyplinarnym, jak datowanie ruchów masowych, najlepsze efekty można uzyskać, analizując nie tyle pozycję systematyczną gleb, co zróżnicowanie ich właściwości i zaawansowania pedogenezy wyrażone takimi właściwościami jak głębokość profilu, zawartość materii organicznej, rozkład zawartości węgla organicznego w profilu glebowym, obecność i miąższość poszczególnych poziomów genetycznych, a przede wszystkim stopień zróżnicowania profilu na poziomy genetyczne.

W trakcie badań w Górach Kamiennych opracowano algorytm pozwalający na określenie przybliżonego wieku ruchów masowych na podstawie właściwości gleb (fig. 1). Biorąc pod uwagę czwartorzędową historię rozwoju środowiska, początek aktualnej pedogenezy (czas zero) należy wiązać ze zmianą klimatu (ociepleniem) na przełomie plejstocenu i holocenu. Jeśli zatem osuwiska powstały przed holocenem, właściwości gleb na obszarach osuwiskowych i poza nimi powinny być zbliżone. Jeśli natomiast osuwiska są młodsze, holoceny, czas działania procesów glebotwórczych w ich obrębie był krótszy, co powinno znaleźć odzwierciedlenie w różnym stopniu rozwoju gleb w osuwiskach oraz na sąsiadujących z nimi stokach stabilnych, na których w holocenie nie zachodziły ruchy osuwiskowe.

Osuwiska w Górach Kamiennych (zwłaszcza w Górach Suchych) różnią się stopniem zaawansowania procesów glebotwórczych, co jest istotną przesłanką do wnioskowania o ich różnym wieku i stanie morfodynamicznym. Część z nich to osuwiska stare, przedholoceny (np. pod Garbatką), z kolei na



**Fig. 1. Algorytm do identyfikacji partii stoków objętych przez holoceneskie osuwiska na podstawie właściwości utworów powierzchniowych i gleb (wg Kacprzaka i in., 2013, zmienione)**

koluwialach osuwisk spływowych pod Kostrzyną i Rogowcem gleby mają charakter inicjalny, co wskazuje na ich młody wiek, który może być szacowany na kilkaset lat. Systematyczne kartowanie pokrywy glebowej pod Kostrzyną i Suchawą w środkowej części Gór Suchych pozwoliło na wyróżnienie segmentów stoku z glebami o różnych właściwościach i zaproponowanie względnej chronologii ruchów masowych od schyłku plejstocenu do współczesności.

## LITERATURA

KACPRZAK A., MIGOŃ P., MUSIEŁOK Ł., 2013 — Using soils as indicators of past slope instability in forested terrain, Kamienne Mts., SW Poland. *Geomorphology*, **194**: 65–75.

## INSTRUMENTALNY MONITORING OSUWISK

Piotr NESCIERUK

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, Kraków;  
e-mail: piotr.nescieruk@pgi.gov.pl.

Ogólnym założeniem projektów instrumentalnego monitorowania zjawisk związanych z powierzchniowymi ruchami masowymi ziemi jest potrzeba kontroli tych zjawisk, a przede wszystkim określenia

tw. czasu reakcji. W ramach projektu SOPO na obszarze polskich Karpat systemem obserwacji objęto 61 osuwisk (fig. 1). Do prowadzenia obserwacji wybrano w pierwszej kolejności te obszary, na których prawdopodobieństwo uaktywnienia się procesów osuwiskowych jest bardzo duże, a stopień zagrożenia występującej tam infrastruktury jest wysoki.

Sytuacją idealną byłoby stworzenie takiego modelu obserwacji, żeby dokonywanie pomiarów i generowanie ostrzeżeń odbywało się w sposób automatyczny i ciągły. Takie systemy są opracowywane na świecie od wielu lat, w różnych konfiguracjach sprzętowych i z wykorzystaniem zróżnicowanych metod pomiarowych. Mają one jednak jedną wadę – są drogie, zarówno jeśli chodzi o ich tworzenie, jak i eksploatację. Zastosowany przez Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy (PIG-PIB) system obejmuje trzy rodzaje monitoringu: powierzchniowy (pomiar GPS i skaningu laserowego), hydrogeologiczny i opadowy (pomiar zmian poziomu zwierciadła wody i deszczomierze) oraz wgłębny (pomiar inklinometryczny; Nescieruk, Rączkowski, 2012). Ogólnie można przyjąć, że są to pomiar quasi-ciągłe, bo o ile pomiar hydrogeologiczny i opadowy są odnotowywane w odstępach godzinnych, o tyle obserwacje wgłębne i powierzchniowe są wykonywane ze zróżnicowaną częstotliwością w poszczególnych obiektach. W związku z tym wyniki tych pomiarów należy traktować jako wartości o cechach interwałowych. Częstotliwość sesji pomiarowych jest uzależniona od stopnia aktywności badanych obiektów i średnio są to trzy pomiaru rocznie – w cyklu wiosennym, letnim oraz jesiennym. Na wybranych osuwiskach o znacznym stopniu aktywności badania są prowadzone w odstępach miesięcznych.

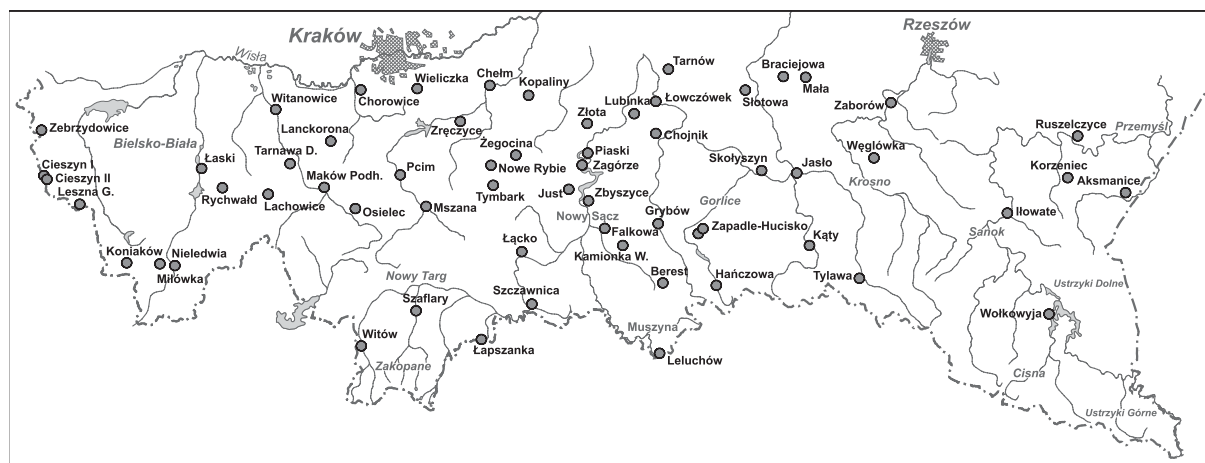
Na podstawie analizy zebranych danych można jednoznacznie stwierdzić, że korelacja bądź regresja cech są indywidualne dla każdego obiektu osuwiskowego, przy czym istotną rolę odgrywa budowa geologiczna. Podstawową cechą, wpływającą m.in. na odkształcalność, wytrzymałość i przepuszczalność, jest w tym wypadku szczelinowatość materiału koluwalnego. Ma ona niebagatelne znaczenie dla możliwości gromadzenia i przewodzenia wód opadowych i roztopowych oraz działania sił międzycząsteczkowych.

Analiza dynamiki zmian poziomu zwierciadła wody, jako reakcji na impuls opadowy bądź sumę opadu, pozwoliła na wyznaczenie indywidualnego czasu reakcji zwierciadła dla każdego osuwiska. Jest on silnie zróżnicowany; spotykamy osuwiska, na których już pojedynczy impuls (np. 12 mm/h) bądź trzydniowy cykl opadowy o sumie opadów powyżej 150 mm powoduje ponadjednometrową zmianę poziomu zwierciadła wód gruntowych, przy czym czas reakcji wynosi 48–56 h. Takie wartości świadczą o słabej szczelinowatości i znacznym udziale frakcji ilowej i pyłowej w materiale koluwalnym. Potwierdza to w tych przypadkach również niskie tempo obniżania się poziomu wody w okresie bezopadowym. Spotykamy także osuwiska o wysokiej szczelinowatości, w których czas reakcji jest szybki, a zmiany są odnotowywane prawie natychmiastowo. W wielu z nich zmiany następują już po 6–8 h przy opadzie wznoszącym zaledwie 8 mm/h bądź sumie dobowej opadów w granicach 40–50 mm. Wahanie poziomu wody w koluwiach sięgają wówczas nawet kilku metrów.

Z doświadczeń PIG-PIB wynika, że monitoring powierzchniowy oparty na pomiarach geodezyjnych sprawdza się w dłuższym okresie obserwacji lub też w przypadku przemieszczeń o wyższej dynamice. Jest to uwarunkowane zarówno wielkością błędów pomiarowych (centymetry), jak i dłuższym czasem odwzorowania ruchu na powierzchni, np. niewielkich, kilkumilimetrowych przemieszczeń z głębszych stref poślizgu. Z kolei pomiar inklinometryczny umożliwia śledzenie zmian z bardzo dużą dokładnością (milimetry) na wszystkich występujących w osuwisku powierzchniach poślizgu, lecz mają ograniczenie sumy przemieszczeń, po której następuje ścięcie kolumny pomiarowej. Badania te pozwalają jednak na określenie dynamiki niewielkich zmian w poszczególnych interwałach czasowych, jak również na precyzyjne wyznaczenie wektorów ruchu materiału koluwalnego (Perski i in., 2013).

Liczne spośród monitorowanych powierzchniowo i wgłębnie osuwisk wykazywały dużą dynamikę jedynie w okresie katastrofalnych opadów z przełomu maja i czerwca 2010 r., po czym ich aktywność znacznie zmalała bądź wręcz ustała już w 2011 r. Do grupy tych osuwisk należy zaliczyć głównie formy, których koluwia są złożone w przewadze z materiału grubodetrytycznego lub tworzą je pakiety fliszowe z dominacją piaskowców (Berest, Tylawa, Kąty, Zagórze). W tej grupie szczelinowatość materiału koluwalnego jest znaczna, przez co progi opadowe, po przekroczeniu których może dojść do uruchomienia takiego osuwiska, muszą być wysokie.





**Fig. 1. Lokalizacja monitorowanych osuwisk**

Inną, przeważającą wśród monitorowanych osuwisk grupę stanowią te formy, w których przypadku ruch jest odnotowywany w sposób ciągły od rozpoczęcia badań w 2009 r. Tu przyrost przemieszczeń następujący po okresach wzmożonych opadów czy wiosennych roztopów, jak również akinezyja w okresie bezopadowym i zimowym są wyraźnie widoczne. W tych osuwiskach dochodzi do najliczniejszych zmian dynamiki przemieszczeń na położonych na różnej głębokości powierzchniach poślizgu (Nescieruk i in., 2013). W wielu przypadkach pierwotnie zaobserwowane strefy aktywności występowały na innej głębokości niż te, na których w późniejszym okresie doszło do uaktywnienia się osuwiska bądź wręcz ścięcia kolumny pomiarowej (Just, Leluchów, Łącko). Przewaga materiału ilastego, marglistego w koluwiach tego typu osuwisk znacznie obniża jego szczelinowatość, ale jednocześnie powoduje utrzymanie wysokiego poziomu wód gruntowych i sprawia, że wartości wskaźnika plastyczności są większe.

## LITERATURA

- NESCIERUK P., RĄCZKOWSKI W., 2012 — Monitoring wgłębny osuwisk karpaccich. W: Geologia jedna?! II Polski Kongres Geologiczny, Warszawa, 17–19 września 2012 r. Abstrakty: 63–67. WG UW, PTG, Warszawa.
- NESCIERUK P., PERSKI Z., WOJCIECHOWSKI T., WÓJCIK A., 2013 — Osuwisko w Łaskach na zbiornikiem w Porąbce jako przykład zagrożenia dla sztucznych zbiorników wodnych w Karpatach. W: Nowoczesne rozwiązania konstrukcyjno-materiałowo-technologiczne. Geotechnika. XXVIII Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Wisła, 5–8 marca 2013 r. T. 2. Wykłady. Referaty firmowe i informacje techniczno-promocyjne: 1–10. PZITB, Kraków.
- PERSKI Z., WOJCIECHOWSKI T., NESCIERUK P., WÓJCIK A., 2013 — Techniki naziemne, lotnicze i satelitarne w rozpoznaniu osuwisk. W: Nowoczesne rozwiązania konstrukcyjno-materiałowo-technologiczne. Geotechnika. XXVIII Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Wisła, 5–8 marca 2013 r. T. 2. Wykłady. Referaty firmowe i informacje techniczno-promocyjne: 25–34. PZITB, Kraków.

## IDENTYFIKACJA OBSZARÓW OSUWISKOWYCH NA PODSTAWIE DANYCH Z LOTNICZEGO SKANINGU LASEROWEGO

Kamila PAWLUSZEK, Andrzej BORKOWSKI

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Geodezji i Geoinformatyki; e-mail: kamila.pawluszek@igig.up.wroc.pl, andrzej.borkowski@igig.up.wroc.pl.

Lotniczy skanowanie laserowe (ALS) jest wysoce efektywną metodą pozyskiwania danych o topografii terenu, dlatego coraz częściej jest stosowany w badaniach obszarów osuwiskowych. Autorzy podjęli

problem automatyzacji procesu identyfikowania obszarów osuwiskowych z wykorzystaniem danych z ALS. W tym celu zastosowano numeryczny model terenu (NMT) wygenerowany na podstawie danych z ALS o rozdzielczości 4 pkt/m<sup>2</sup>. Do analiz wybrano obszar znajdujący się na południowo-wschodnim wybrzeżu Jeziora Rożnowskiego.

Przeanalizowano charakterystykę ukształtowania powierzchni terenu, w szczególności parametry geomorfologiczne i geostatystyczne. Jako charakterystyki wykorzystano: nachylenie, ekspozycję, krzywiznę powierzchni, wariancję nachylenia, szorstkość, topograficzny wskaźnik uwilgotnienia, topograficzny wskaźnik pozycji, indeks Giniego, kurtozę, skośność, semiwariogram, intensywność izol linii, izogradienty, zacienienie, wskaźnik nasłonecznienia i odchyłki od wpasowanej powierzchni w NMT. Obliczenia wymienionych charakterystyk zaimplementowano jako wtyczkę (*toolbox*) do oprogramowania ArcGis przy użyciu języka programowania Python. Następnie wykonano klasyfikację nadzorowaną, wykorzystując metodę wektorów nośnych (*Support Vector Machines*). Otrzymane wyniki porównano z dostępnymi w ramach programu SOPO mapami osuwisk i na tej podstawie wykazano dużą zbieżność rezultatów i przydatność zaproponowanej metody.

---

## **TRÓJWYMIAROWA CHARAKTERYSTYKA POŁA DEFORMACJI OSUWISKA Z WYKORZYSTANIEM INTERFEROMETRII SATELITARNEJ WYSOKIEJ ROZDZIELCZOŚCI ORAZ POMIARÓW *IN SITU* NA PRZYKŁADZIE OSUWISKA JUST**

Zbigniew PERSKI<sup>1</sup>, Tomasz WOJCIECHOWSKI<sup>1</sup>, Petar MARINKOVIC<sup>2</sup>, Andrzej MICHALSKI<sup>1</sup>,  
Piotr NESCIERUK<sup>1</sup>, Antoni WÓJCİK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, Kraków;  
e-mail: zbigniew.perski@pgi.gov.pl, tomasz.wojciechowski@pgi.gov.pl, andrzej.michalski@pgi.gov.pl,  
piotr.nescieruk@pgi.gov.pl, antoni.wojcik@pgi.gov.pl.

<sup>2</sup> PPO.labs, Netherlands.

Osuwisko Just, położone w gminie Łososina Dolna (powiat nowosądecki), poniżej Przełęczy Świętego Justa, wykazuje aktywność od ponad 50 lat. Przyczynia się ono do niemal permanentnego niszczenia drogi krajowej nr 75 oraz budynków znajdujących się w jego obrębie. Przyczynę ruchu osuwiskowego określono jako naturalną (Wójcik, Nowicka, 2010), związaną z infiltracją wód opadowych w zaburzony tektonicznie górotwór o sprzyjającym powstawaniu osuwisk ułożeniu warstw, wśród których występują łupki pstry. Na aktywność osuwiska wpływa również duże natężenie ruchu kołowego, zwłaszcza ciężkiego, wywołującego wibracje.

Z uwagi na zagrożenie dla drogi krajowej nr 75 osuwisko Just objęto w 2009 r. monitoringiem wgłębnym i powierzchniowym w ramach projektu SOPO. Na potrzeby monitoringu wgłębnego wykonano dwie pary otworów inklinometrycznych i piezometrycznych w dolnej i środkowej części osuwiska. Pomiary deformacji powierzchniowych wykonywane są metodą GNSS w ośmiu geodezyjnych punktach pomiarowych. W 2014 r. sieć pomiarów powierzchniowych rozszerzono o dodatkowe sześć punktów i rozpoczęto wykonywanie serii uzupełniających pomiarów naziemnego skaningu laserowego. Od 2012 r. w celu opracowania systemu zabezpieczenia osuwiska, na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad, system monitoringu osuwiska Just poszerzono o 8 otworów inklinometrycznych i 13 punktów monitoringu powierzchniowego (Czudec, 2012).

Sieć monitoringu osuwiska Just w obecnym kształcie zapewnia prawidłową ocenę ogólnego zagrożenia występowania dalszych uszkodzeń. Monitoring ten nie pozwala jednak na szczegółowy wgląd w pole deformacji osuwiska, co umożliwiłoby prawidłowe zaprojektowanie optymalnych ze względów ekonomicznych zabezpieczeń. Uzupełnienie rejestrowanych obecnie danych wgłębnych o bardzo szczegółowe dane o deformacjach powierzchniowych dałoby podstawę do w miarę pełnego odtworzenia



**Fig.1. A. Obraz amplitudowy osuwiska Just zarejestrowany przez satelitę TerraSAR-X w trybie Staring Spotlight (20 lutego 2015 r.). B. Ukształtowanie powierzchni osuwiska wyznaczone na podstawie danych z lotniczego skaningu laserowego (projekt ISOK). Zasięg osuwiska według Wójcika i Nowickiej (2010)**

trójwymiarowego pola deformacji wgłębnych. To z kolei umożliwiłoby ocenę zróżnicowania wielkości przemieszczeń w różnych częściach osuwiska i pomogło zaprojektować optymalne zabezpieczenia i wzmocnienia drogi.

Szczegółowych danych o deformacjach powierzchniowych może dostarczyć satelitarna interferometria radarowa. Obliczenia metodą PSI (*Persistent Scatterers Interferometry*) archiwalnych serii danych o niskiej, 25-metrowej rozdzielczości (ERS-1/2, Envisat) umożliwiły zbadanie deformacji osuwiska jedynie w kilku punktach PS (*Persistent Scatterers*). Taka niewielka gęstość punktów jest uwarunkowana stosunkowo niewielkimi rozmiarami osuwiska (40,5 ha) oraz niekorzystnym użytkowaniem terenu (duży udział roślinności). Podobną gęstość punktów PS uzyskano na podstawie danych o niskiej rozdzielczości również w innych rejonach (Wasowski, Bovenga, 2014). Wysokorozdzielcze dane z satelity TerraSAR-X dostarczyły większej liczby punktów PS. Dane te, rejestrowane w trybie StripMap o rozdzielczości 3 m, umożliwiły potwierdzenie deformacji stwierdzonych metodą inklinometryczną w środkowej części osuwiska, a także ocenę ich średniej prędkości na ok. 16 mm/r (Perski i in., 2012). Gęstość otrzymanych punktów PS okazała się jednak niewystarczająca do oceny przestrzennego pola deformacji. Od 2014 r. jest dostępny nowy tryb rejestracji danych radarowych TerraSAR-X. Dzięki modyfikacjom sterowania wiązką sygnału w kierunku azymutu dane rejestrowane w trybie Staring SpotLight mają rozdzielczość kilkudziesięciu centymetrów. Są to unikatowe dane o najwyższej na świecie rozdzielczości, jeśli chodzi o satelitarne zobrazowania radarowe. W ramach projektu niemieckiej agencji kosmicznej DLR (GEO2477) obecnie jest rejestrowana seria 40 zobrazowań satelitarnych w trybie Staring SpotLight. Wyniki wstępnych opracowań pierwszych zarejestrowanych scen z obszaru osuwiska Just (fig. 1) wskazują na ich duży potencjał w kontekście szczegółowego modelowania deformacji osuwiska.

## LITERATURA

CZUDEK G., 2012 — Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla opracowania systemu zabezpieczenia strefy osuwiskowej nr MPL0051 w ciągu drogi krajowej nr 75, km od 51+900 do 52+700 w miejscowości Tęgoborze-Just, Geotech Sp. z o.o., Rzeszów.



- PERSKI Z., WOJCIECHOWSKI T., BORKOWSKI A., WÓJCIK A., 2012 — Zastosowanie satelitarnej interferometrii radarowej do badania przemieszczeń osuwisk karpackich. W: *Geologia jedna?! II Polski Kongres Geologiczny*, Warszawa, 17–19 września 2012 r. Abstrakty: 69. WG UW, PTG, Warszawa.
- WASOWSKI J., BOVENGA F., 2014 — Investigating landslides and unstable slopes with satellite Multi Temporal Interferometry: current issues and future perspectives. *Eng. Geol.*, **174**: 103–138.
- WÓJCIK A., NOWICKA D., 2010 — Karta dokumentacyjna osuwiska wraz z opinią (numer ewidencyjny 12 10 102 0014) w miejscowości Świdnik. *Narod. Arch. Geol. PIG-PIB*, Kraków.

---

## METEOROLOGICZNE UWARUNKOWANIA RUCHÓW MASOWYCH W LATACH 1997 I 2010 W BESKIDZIE WYSPOWYM ORAZ ICH WPŁYW NA WZROST ZAGROŻENIA W ASPEKcie ZMIAN KLIMATU

Robert PYRC

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Centrum Monitoringu Klimatu Polski,  
Warszawa; e-mail: robpyrc@op.pl.

Beskid Wyspowy to grupa górską rozciągająca się na obszarze 1143 km<sup>2</sup>. Graniczy z Beskidem Makowskim, Kotliną Rabczańską, Gorcami, Kotliną Sądecką oraz Pogórzem Wiśnickim. Specyficzną cechą jego rzeźby jest występowanie odizolowanych wzniesień o dużych wysokościach względnych (500–600 m). Badany obszar jest interesujący pod względem przyrodniczym, zarówno w aspekcie budowy geologicznej i rzeźby, jak i z uwagi na warunki klimatyczne, jednocześnie jest on stosunkowo słabo poznany i opisany w literaturze przedmiotu.

Aktywność osuwiskowa na obszarze Beskidu Wyspowego jest uwarunkowana przede wszystkim budową geologiczną i morfologią terenu, które w połączeniu z działalnością antropogeniczną oraz warunkami pluwiальnymi pociągają za sobą duże prawdopodobieństwo wystąpienia ruchów masowych.

Autor przybliżył meteorologiczne uwarunkowania procesów masowych w Beskidzie Wyspowym w latach 1997 i 2010, ich relacji z innymi elementami środowiska przyrodniczego oraz spróbował odpowiedzieć na pytanie o wzrost zagrożenia ruchami masowymi w odniesieniu do danych scenariuszowych dotyczących zmian klimatu do 2070 r.

Analizę rzeźby terenu wykonano z wykorzystaniem modelu wysokościowego terenu o rozdzielczości 100 × 100 m i 1 × 1 m. Opracowano szczegółowe mapy nachylenia terenu i ekspozycji. Do analizy użytkowania terenu wykorzystano bazę danych CORINE Land Cover oraz zdigitalizowane mapy topograficzne Wojskowego Instytutu Geograficznego z lat 30. XX w., co umożliwiło określenie zmiany powierzchni leśnej w poszczególnych częściach Beskidu Wyspowego.

Charakterystykę opadów wykonano na podstawie danych z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego. Wykorzystano zarówno długie ciągi obserwacyjne z lat 1951–2010, jak również dane archiwalne z lat 1903 i 1934 oraz szczegółowe dane telemetryczne i skany z radarów meteorologicznych z 2010 r. w celu określenia momentu wystąpienia impulsu opadowego.

Przeanalizowano również archiwalne dane proxy dla badanego obszaru pod kątem możliwości wystąpienia zdarzeń opadowych sprzyjających zachodzeniu ruchów masowych.

Maksymalne miesięczne sumy opadów w analizowanych okresach występowania ruchów masowych w Beskidzie Wyspowym należały do największych odnotowanych w całym okresie pomiarowym, czyli od 1885 r. W stacji meteorologicznej w Limanowej odnotowano sumy miesięczne wynoszące: 350 mm w 2010 r., 332 mm w 1997 r. oraz 482 mm w 1934 r. Suma opadów w okresie od 1 maja do 1 czerwca 2010 r. w okolicach góry Chełm wyniosła ponad 360 mm, tj. ok. 45% sumy rocznej, a suma opadów poprzedzających wystąpienie ruchów masowych w rejonie Kłodnego wyniosła ok. 410 mm.

Porównując przebieg opadów z lat 1997 i 2010, można określić sekwencje pluwiальną charakterystyczną dla wystąpienia na badanym obszarze zarówno płytkich, lokalnych ruchów masowych, jak i głębokich osuwisk strukturalnych. Na podstawie przyjętych sekwencji opadowych spróbowano określić

możliwość ich wystąpienia w przyszłości w odniesieniu do danych scenariuszowych na lata 2010–2070 dla konkretnych punktów pomiarowych, przy czym w analizie skoncentrowano się przede wszystkim na ich częstotliwości i na wzroście potencjalnych sum opadów w ciągach charakterystycznych. Otrzymane wyniki mogą posłużyć do dalszych badań, w tym do stworzenia modelu określającego przestrzenny wzrost ryzyka wystąpienia ruchów masowych w aspekcie zmian klimatycznych.

## HISTORIA ROZPOZNANIA OSUWISK I ASPEKTY PRAWNE

Wojciech RĄCZKOWSKI

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, Kraków;  
e-mail: wojciech.raczkowski@pgi.gov.pl.

Pierwsze drukowane wzmianki o osuwiskach i spowodowanych przez nie zniszczeniach pochodzą z połowy XIX w. Są to druki kronik parafialnych lub wiadomości zaczerpnięte bezpośrednio z kronik parafialnych. Pierwszą pracę naukową na temat osuwisk opublikowali w 1907 r. Zuber i Blauth („Katastrofa w Duszatynie”). Od tego czasu, w ciągu 108 lat, ogłoszono drukiem ponad 500 artykułów dotyczących tego zjawiska.

Teisseyre już w 1936 r. napisał: „Jest rzeczą znamioną dla niektórych okolic karpackich, że chaty i zabudowania gospodarskie padają stosunkowo często ofiarą ruchu zluźnionych mas zwietrzliny lub skały. Przyczyną tego jest zupełny brak świadomości u górali o możliwości katastrofy na obszarach starych osuwisk, których oni nie rozróżniają o ile nie są dostatecznie wyraźne lub w tradycji zachowane...”. Teisseyre użył terminu „osuwisko”, który jeszcze w latach 20. XX w. nie był powszechnie stosowany przez badaczy.

Pierwszą rejestrację zjawisk osuwiskowych w Polsce przeprowadzono pod koniec lat 60. XX w. na podstawie uchwały Komitetu Ekonomicznego Rady Ministrów, nakładającej na resort geologii (Centralny Urząd Geologii) obowiązek rejestrowania zjawisk osuwiskowych i stref zapadliskowych na obszarach lessowych w miastach i osiedlach na terenie kraju. Trzy duże katastrofy osuwiskowe w Europie (Handlova na Słowacji, Zavoj w Jugosławii i katastrofa zapory Vajont we Włoszech) oraz uaktywnienie osuwisk na terenach wyżynnych Polski zmobilizowały władze do zarządzenia rejestracji osuwisk. Sposób i warunki prowadzenia rejestracji opisali Bażyński i Kühn (1970). W latach 1968–1970 zarejestrowano 8490 osuwisk (6130 na terenie województw południowych, a 2360 w Polsce pozakarpackiej).

„Legislacja prawna osuwiska” w prawie polskim rodziła się z pewnymi bólami. Choć podejmowano próby ujęcia tego zjawiska w prawie już pod koniec lat 90. XX w., to dopiero klęska osuwiskowa związana z powodzią w 1997 r. i następne, wiosną 2000 r. i latem 2001 r., spowodowały zmianę nastawienia władz państwowych. We wrześniu 2000 r. odbyła się zorganizowana przez Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy (PIG-PIB) i Kancelarię Prezesa Rady Ministrów – Biuro ds. Usuwania Skutków Powodzi konferencja, na której przedstawiono główne potrzeby zmian w polskim prawie, niezbędne do ograniczenia strat wywoływanych przez osuwiska.

W 2002 r. osuwisko uznano za klęskę żywiołową. Z wprowadzonej w 2002 r. ustawy o stanie klęski żywiołowej wyniknęły wszystkie późniejsze zmiany. Nawet dzisiaj w polskim prawie sytuacja nie wydaje się być uporządkowana do końca. Dla geologów są ważne przede wszystkim:

- ustawa Prawo geologiczne i górnicze (2015 r.), regulująca m.in. warunki i sposoby wykonywania prac geologicznych;
- ustawa o stanie klęski żywiołowej (2002 r.), w której osuwiska zaliczono do katastrof naturalnych i w której zapisano, że ich negatywne skutki mogą być powodem wprowadzenia stanu klęski żywiołowej;
- ustawa Prawo ochrony środowiska (2001 r. z późniejszymi zmianami), w której zdefiniowano ruchy masowe ziemi i podkreślono, że ochrona powierzchni ziemi polega na zapobieganiu ruchom masowym ziemi i ich skutkom, oraz która nakłada na starostów obowiązek obserwacji terenów zagrożonych ru-



chami masowymi ziemi i terenów, gdzie występują te ruchy, a także obowiązek prowadzenia rejestru zawierającego informacje o tych terenach;

– ustawa o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (2003 r.), nakładająca obowiązek uwzględniania obszarów naturalnych zagrożeń (powodzi i osuwania się mas ziemi) już na etapie studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy;

– ustawa o ochronie gruntów rolnych i leśnych (2004 r.), nakładająca na właścicieli tych gruntów obowiązek przeciwdziałania degradacji gleb przez erozję i ruchy masowe ziemi;

– ustawa Prawo budowlane (1994 r. z późniejszymi zmianami), w której m.in. zdefiniowano szczegółowe zasady posadowienia budynków z uwzględnieniem przydatności gruntów na potrzeby projektowanego obiektu i jego charakteru oraz zakwalifikowania go do odpowiedniej kategorii geotechnicznej (I, II, III), co łączy się z warunkami projektowymi obiektu.

Szczególnie istotne zmiany nastąpiły dopiero w 2007 r., po wydaniu rozporządzenia ministra środowiska, tzw. rozporządzenia osuwiskowego, w sprawie informacji dotyczących ruchów masowych ziemi; określono w nim zakres informacji, jakie powinien zawierać rejestr osuwisk.

Od tego momentu rozpoczął się projekt SOPO. Jak poprzednio, w 1968 r., minister środowiska zobowiązał PIG-PIB, działający jako państwowa służba geologiczna, do przeprowadzenia rejestracji osuwisk i terenów zagrożonych, monitorowania osuwisk zagrażających tzw. infrastrukturze krytycznej oraz wypracowania metod ograniczenia zagrożeń związanych z ruchami masowymi ziemi, m.in. przez opracowanie map, które są podstawą do oszacowania ryzyka.

## LITERATURA

BAŻYŃSKI J., KÜHN A., 1970 — Rejestracja osuwisk w Polsce. *Prz. Geol.*, **18**, 3: 142–145.

OBWIESZCZENIE Marszałka Sejmu RP z dnia 30 stycznia 2015 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – Prawo geologiczne i górnicze (DzU 2015, poz. 196).

ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 20 czerwca 2007 r. w sprawie informacji dotyczących ruchów masowych ziemi (DzU 2007 Nr 121, poz. 840).

TEISSEYRE H., 1936 — Materiały do znajomości osuwisk w niektórych okolicach Karpat i Podkarpacia. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, **12**: 135–193.

USTAWA z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane (DzU 1994 Nr 89, poz. 414).

USTAWA z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych (DzU 2004 Nr 121, poz. 1266, tekst jednolity do aktu).

USTAWA z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska (DzU 2001 Nr 62, poz. 627).

USTAWA z dnia 18 kwietnia 2002 r. o stanie kłęski żywiołowej (DzU 2002 Nr 62, poz. 558).

USTAWA z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (DzU 2003 Nr 80, poz. 717).

ZUBER R., BLAUTH J., 1907 — Katastrofa w Duszatynie. *Czas. Techn.*, **25**: 218–221.

---

## UWARUNKOWANIA GEOLOGICZNE I GEOMORFOLOGICZNE WYSTĘPOWANIA NAJWIĘKSZEGO W POLSCE KOMPLEKSU OSUWISK W REJONIE BONARÓWKI (KARPATY ZEWNĘTRZNE, POGÓRZE STRYŻÓWSKIE)

Jacek RUBINKIEWICZ, Jarosław KACZOROWSKI, Krzysztof KARWACKI

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa; e-mail: jacek.rubinkiewicz@pgi.gov.pl, jaroslaw.kaczorowski@pgi.gov.pl, krzysztof.karwacki@pgi.gov.pl.

W rejonie płatu Bonarówki występuje jeden z największych kompleksów osuwiskowych w Polsce. Celem badań było przedstawienie charakterystyki geologicznej osuwisk, w tym uwarunkowań litologicznych i tektonicznych, oraz próba odtworzenia ich ewolucji.

Obszar badań o powierzchni ok. 45 km<sup>2</sup> jest położony 12 km na północ od Krosna. W trakcie prac wykorzystano z dostępnych publikacji (m.in. Teisseyre, 1947; Świdziński, Wdowiarz, 1953; Birecki, Mitura, 1966; Świdziński, 1971), *Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1:50 000*: arkusze Krosno (Piotrowska, Wasiluk, 2009), Jedlicze (Szymakowska, Wójcik, 2001), Strzyżów (Malata, Zimnał, 2009) i Frysztak (Birkenmajer-Szymakowska i in., 2009). Przeanalizowano dotychczasowe opracowania dotyczące występowania osuwisk w tym rejonie (Teisseyre, 1947; Bober i in., 1997). Wykorzystano też dane uzyskane w ramach realizacji projektu SOPO dla gmin Strzyżów (Wójcik i in., 2007), Niebylec (Biel i in., 2013) oraz Korczyna (Biel i in., 2015). Wykonano badania terenowe na wybranych obszarach w celu rozpoznania budowy geologicznej, zasięgu osuwisk oraz występowania form wewnątrzsuwiskowych. Wysokorozdzielczy numeryczny model terenu pochodzący z projektu ISOK posłużył do analizy specyfiki morfologii terenu, geologii (w tym tektoniki) i osuwisk. Na podstawie ok. 30 profili morfologicznych określono wybrane parametry osuwisk, w tym miąższość koluwiów i położenie hipotetycznej powierzchni poślizgu. Przeanalizowano również dostępne profile otworów wiertniczych.

Pod względem geologicznym obszar badań obejmuje trzy jednostki tektoniczne (fig. 1A), odgraniczone nasunięciami. Głównym elementem budującym płaskowyż jest płasko nasunięta czapka tektoniczna, zbudowana w przewadze z twardych piaskowców i łupków warstw lgockich płaszczowiny śląskiej. Podłoże czapki stanowią nasunięte na płaszczowinę skolską miękkie pstre łupki margliste – margle węglowieckie, należące do płaszczowiny podśląskiej. Utwory płaszczowiny skolskiej odsłaniają się jedynie w północnej części obszaru badań; są to piaskowce i łupki margliste warstw krośnieńskich.

W obrębie czapki tektonicznej wyróżniono szerokopromienną synklinę o połączonych skrzydłach 130/22N i 110/15S (fig. 1B). Oś fałdu ma orientację 120/5N (NW–SE). Obszar jest pocięty licznymi uskokami (fig. 1A) o trzech dominujących orientacjach (w azymutach 36, 56 i 175°; fig. 1B). Mają one w większości charakter przesuwczych, które częściowo zostały reaktywowane jako uskoki zrzutowe. Granicę czapki w głównej mierze stanowi nasunięcie, jedynie od wschodu i od zachodu jest ona miejscowo ograniczona uskokami.

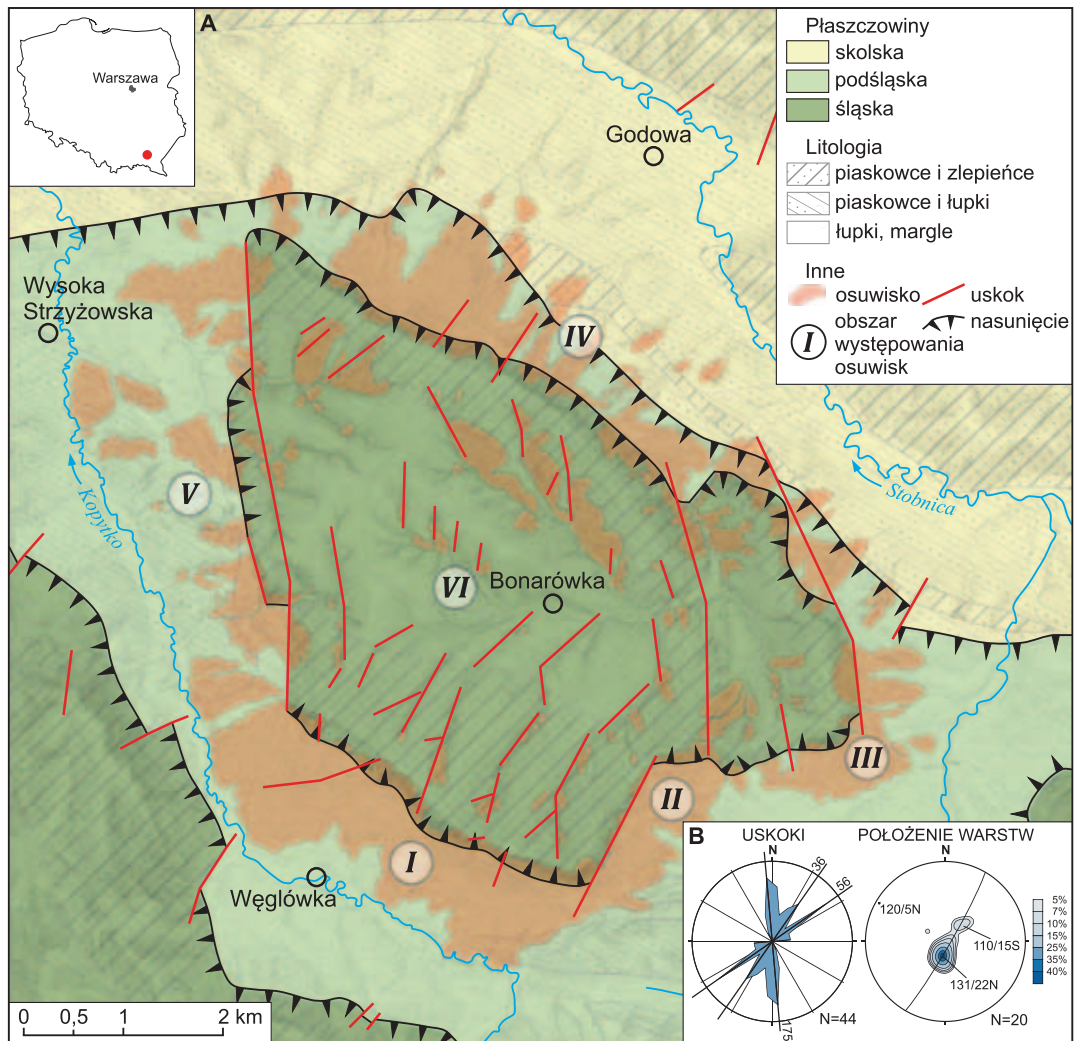
Na analizowanym obszarze osuwiskowym rozpoznano 142 osuwiska, których powierzchnia wynosi łącznie ok. 15 km<sup>2</sup>, co stanowi blisko 33% powierzchni terenu badań. Osuwiska w tym rejonie są wyraźnie zróżnicowane, w większości nieaktywne, na mniejszych obszarach aktywne i okresowo aktywne, szczególnie przy skarpach głównych. Można wydzielić sześć obszarów osuwiskowych (I–VI – fig. 1A), dla których kryteriami podziału były ekspozycja i zróżnicowana morfologia stoków i specyfika budowy geologicznej. Pięć obszarów znajduje się w zewnętrznej części płaskowyżu, gdzie tektonicznie kontaktują ze sobą utwory płaszczowiny śląskiej i podśląskiej, a szósty – we wnętrzu czapki tektonicznej.

Na obszarach I (położonym na południowy zachód od płaskowyżu) i IV (zlokalizowanym na północny wschód od płaskowyżu) występują największe powierzchniowo osuwiska, o dużej miąższości koluwiów (40–60 m) i wysokich (20–40 m), wyraźnych skarpach głównych. Wszystkie osuwiska na tych obszarach są obsekwentne. Na podstawie osuniętych pakietów skalnych wielkość przemieszczenia w niektórych osuwiskach określono na minimum 100 m.

Na obszarze II (południowo-wschodnia część płaskowyżu) występują osuwiska o nieco mniejszej powierzchni, szacunkowej miąższości koluwiów wynoszącej zwykle 20–30 m i ok. 20-metrowych skarpach głównych. Wyjątkiem jest osuwisko znajdujące się na granicy z obszarem I, które odznacza się najwyższą w kompleksie, 70-metrową skarpią główną oraz miąższością koluwiów rzędu 50–60 m. Ponadto powyżej skarpy głównej występuje bardzo rzadko obserwowany uskoki nożycowy, którego skarpy w terenie są wyjątkowo świeże i czytelne. Jego powstanie należy wiązać nie tylko z odprężaniem stoku po inicjacji ruchów masowych, ale również z ruchami neotektonicznymi. Wielkość przemieszczenia koluwiów na tym obszarze określono na 100–140 m. Osuwiska są insekwentne, a ich skarpy główne mają często założenia na strefach uskokowych.

Obszary III (wschodnia część płaskowyżu) oraz V (zachodnia część płaskowyżu) charakteryzują się występowaniem osuwisk bardzo zróżnicowanych pod względem budowy, wysokości skarp głównych (3–40 m) i form wewnątrzsuwiskowych. Szacunkowa miąższość koluwiów jest bardzo zmienna (15–40 m). Wynika to ze zróżnicowanej morfologii stoków oraz z występowania licznych stref uskokowych. Na tych dwóch obszarach zdecydowanie przeważają osuwiska subsekwentne i insekwentne.

Na obszarze VI, położonym wewnątrz płaskowyżu, w skrzydłach szerokopromiennej synkliny dominują płytkie konsekwentne osuwiska o zwykle kilkumetrowych skarpach głównych i miąższości ko-



**Fig. 1. A. Mapa kompleksu osuwisk w rejonie Bonarówki na tle jednostek tektonicznych z uwzględnieniem sieci uskoku oraz uproszczonej litologii na podstawie *Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1:50 000* (Szymakowska, Wójcik, 1981; Birkenmajer-Szymakowska i in., 2009; Malata, Zimnał, 2009), *Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10 000* (Wójcik i in., 2007; Biel i in., 2013) oraz materiałów własnych. B. Diagram rozetowy azymutów uskoku i diagram konturowy położenia warstw z wnętrza czapki tektonicznej (projekcja na dolną półkulę)**

luwów szacowanej na kilka-kilkanaście metrów. Miejscami skarpy boczne tych osuwisk mają założenia uskoku (fig. 1A).

Miejscami trudno jest wyznaczyć granice rozdzielające pojedyncze osuwiska, szczególnie na obszarach I–V. Powstanie tak dużego kompleksu osuwisk w rejonie Bonarówki wynika niewątpliwie ze specyficznego układu warstw – w górnej części profilu występują przepuszczalne piaskowce gruboławicowe, niżej łupkowo-piaskowcowe warstwy wierzowskie, a pod nimi słabo przepuszczalne margle węglowieckie. Drugim elementem, który przyczynił się do rozwoju ruchów masowych na tym obszarze, jest skomplikowana tektonika, w tym istnienie na stoku czapki nasunięcia płaszczowiny śląskiej na podśląską. Jest bardzo prawdopodobne, że inicjacja głównych ruchów masowych poza okresami silnych opadów atmosferycznych była spowodowana zwiększonym przepływem wód wzdłuż stref nasunięcia, z którymi bardzo dobrze korespondują skarpy główne osuwisk. Główny etap powstawania osuwisk na obszarach I–V nastąpił prawdopodobnie pod koniec plejstocenu, a odnawianie ich aktywności trwa do dzisiaj; nie wykonano jeszcze datowań bezwzględnych (m.in. torfów, które sporadycznie występują na obszarze całego kompleksu). Dodatkowo cały ten rejon ulegał powolnemu dźwiganiu w wyniku ruchów neotektonicznych, o czym może świadczyć występowanie uskoku nożycowego nad osuwiskiem na granicy obszarów I i II.

## LITERATURA

- BIEL A., KACZOROWSKI J., RUBINKIEWICZ J., GRABOWSKI D., KOŁECKI T., MICHALIK K., 2013 — Mapa Osuwisk i Terenów Zagrożonych Ruchami Masowymi w skali 1:10 000, gm. Niebylec, pow. strzyżowski, woj. podkarpackie [<http://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/SOPO>].
- BIEL A., KWECKO P., RYCIO E., MICHALIK K., RUBINKIEWICZ J., KACZOROWSKI J., 2015 (w przygotowaniu) — Mapa Osuwisk i Terenów Zagrożonych Ruchami Masowymi w skali 1:10 000, gm. Korczyna, pow. krośnieński, woj. podkarpackie.
- BIRECKI T., MITURA F., 1966 — Budowa geologiczna Karpat między Korczyną a Domaradzem. *Pr. Inst. Naft.*, **90**.
- BIRKENMAJER-SZYMAKOWSKA F., JASIONOWICZ J., WÓJCIK A., 2009 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Frysztak (1003). Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- BOBER L., THIEL K., ZABUSKI L., 1997 — Zjawiska osuwiskowe w polskich Karpatach fliszowych. IBN PAN, Gdańsk.
- MALATA T., ZIMNAL Z., 2009 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Strzyżów (1004). Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- PIOTROWSKA K., WASILUK R., 2009 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Krosno (1023). Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- SZYMAKOWSKA F., WÓJCIK A., 1981 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Jedlicze (1022). Wydaw. Geol., Warszawa.
- ŚWIDZIŃSKI H., 1971 — O rozmiarach przesunięć poziomych w północnych Karpatach fliszowych. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, **41**: 181–219.
- ŚWIDZIŃSKI H., WDOVIARZ J., 1953 — Przewodnik do wycieczek XXIII Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego w Karpatach Krosieńskich w 1950 r. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, **21**: 355–378.
- TEISSEYRE H., 1948 — Budowa geologiczna okolic Węglówki. *Nafta*, **3**.
- WÓJCIK A., RĄCZKOWSKI W., ZIMNAL Z., 2007 — Mapa Osuwisk i Terenów Zagrożonych Ruchami Masowymi w skali 1:10 000, gm. Strzyżów, pow. strzyżowski, woj. podkarpackie [<http://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/SOPO>].

## TRUDNOŚCI W WYZNACZANIU OSUWISK NA OBSZARACH HISTORYCZNYCH I MIEJSKICH NA PRZYKŁADZIE TWIERDZY PRZEMYSŁ

Edyta RYCIO

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa; e-mail: [edyta.rycio@pgi.gov.pl](mailto:edyta.rycio@pgi.gov.pl).

Twierdza Przemyśl to potężny zespół obiektów obronnych z przełomu XIX i XX w. Do dnia dzisiejszego w terenie w różnym stopniu zachowały się różnego typu obiekty, ruiny i pozostałości po twierdzy oraz ślady prowadzonych walk i stanowią one olbrzymi problem przy wyznaczaniu osuwisk.

Największych trudności przysparzają zniszczone i mocno porośnięte roślinnością ruiny fortów wraz z okopami, łukowatymi śladami wałów lub rowów obronnych, stare drogi dojazdowe i ślady prowadzonych walk. Takie pozostałości mogą zostać zinterpretowane jako osuwisko lub jego fragment. Forty, mury obronne i zasieki znajdujące się na obszarze osuwiska lub w jego sąsiedztwie stwarzają trudność w jednoznacznym wyznaczeniu granic osuwiska i w poprawnym zidentyfikowaniu wewnętrznych form osuwiskowych – np. zdewastowany okop wokół fortu może zostać oznaczony jako rów osuwiskowy. Takie przykłady miejsc i problemów w prowadzeniu prac kartograficznych związanych z ruinami XIX-wiecznej twierdzy na obszarze miasta i gminy Przemyśl można mnożyć.

Kolejnych trudności przysparzają liczne nieczynne kamieniołomy, kopanki, wyrobiska i glinianiki, które występują na obszarze starej twierdzy, np. nieczynna kopalnia odkrywkowa wapienia z XIX w. znajdująca się w Kruhlu Wielkim na Wapielnicy. Wapienie te mają charakter olistolitów występujących w warstwach inoceramowych płaszczowiny skolskiej (Gucik, 1983a, b; Boryslawski i in., 1979). Elementy kopalni ludzko przypominają formy wewnątrzosuwiskowe. Po bliższej obserwacji okazuje się jednak, że temu „osuwisku” brakuje skarpy głównej, a formy „koluwalne” są zbyt ostre i nienaturalne w kształcie.



Przemysł znajduje się na pograniczu Karpat i zapadliska przedkarpackiego (Książkiewicz, 1972; Oszczytko, 2006). Podłoże jest zbudowane z fliszowych utworów jednostki skolskiej i stebnickiej oraz z mioceńskich utworów zapadliska przedkarpackiego. Utwory te są przykryte miększymi pokładami lessów i osadami rzecznyymi Sanu i Wiaru (Rączkowski, Wójcik, 2009a, b). Miejscami na powierzchni i w wyrobiskach (np. stare cegielnie w Pikulicach, Łuczycach i Rożubowicach) odsłaniają się piaski wodnolodowcowe i residua glin zwałowych zlodowacenia południowopolskiego.

Trudności w wyznaczaniu osuwisk wynikają nie tylko z historii tego rejonu i jego budowy geologicznej, lecz również ze stopnia zurbanizowania obszaru. Silna antropopresja zacierą naturalną morfologię stoków, a ograniczona dostępność terenu utrudnia prace kartograficzne. Przykładami mogą być np. trasa narciarska i wyciąg narciarski, park zamkowy, cmentarze, osiedla oraz ogródki działkowe, a zwłaszcza tereny wojskowe. Obszary osuwiskowe, na których wybudowano te obiekty, zostały tak mocno przekształcone, że bardzo trudno dostrzec w terenie cechy morfologiczne osuwiska lub pojawiają się wątpliwości, które z form są naturalne, a które sztuczne. Dodatkowo prowadzenie prac na źle zabezpieczonych terenach wojskowych wiąże się z ryzykiem utraty zdrowia lub życia.

Pragnę zwrócić uwagę, że prowadzenie prac nad *Mapą Osuwisk i Terenów Zagrożonych Ruchami Masowymi w skali 1:10 000* na takich obszarach jak Twierdza Przemysł i okolice wymaga bardzo dużego doświadczenia w kartowaniu i pracy terenowej oraz wielkiej czujności. Uważam, że takie gminy z założenia powinny mieć podniesiony stopień trudności, na którego podstawie wycenia się koszt wykonania mapy osuwisk.

## LITERATURA

- BORYSLAWSKI A., GUCIK S., PAUL Z., ŚLĄCZKA A., WÓJCIK A., ŻYTKO K., 1979 — Mapa Geologiczna Polski w skali 1:200 000, ark. Przemysł–Kalników. A – mapa utworów powierzchniowych. Wydaw. Geol., Warszawa.
- GUCIK S., 1983a — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Krzywca (1026). Wydaw. Geol., Warszawa.
- GUCIK S., 1983b — Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1:50 000, ark. Krzywca (1026). Wydaw. Geol., Warszawa.
- KSIĄŻKIEWICZ M., 1972 — Budowa geologiczna Polski. T. 4. Tektonika. Cz. 3. Karpaty. Wydaw. Geol., Warszawa.
- OSZCZYTKO N., 2006 — Powstanie i rozwój polskiej części zapadliska przedkarpackiego. *Prz. Geol.*, **54**, 5: 396–403.
- RĄCZKOWSKI W., WÓJCIK A., 2009a — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Przemysł (1027). Kraków. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- RĄCZKOWSKI W., WÓJCIK A., 2009b — Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1:50 000, ark. Przemysł (1027). Kraków. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.

---

## ROLA STRUKTURY PODŁOŻA W POWSTAWANIU OSUWISK NA PRZYKŁADZIE REJONU BARANIEJ GÓRY (BESKID ŚLĄSKI)

Rafał SIKORA

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Górnośląski, Sosnowiec;  
e-mail: rafal.sikora@pgi.gov.pl.

Największe osuwiska rozpoznane na północno-zachodnich stokach pasma Baraniej Góry (Beskid Śląski) reprezentują typ złożony. Dotychczasowe wyniki badań wskazują na ścisły związek między strukturą górotworu a rozwojem tych osuwisk. Analizie poddano lineamenty wyznaczone na podstawie numerycznego modelu terenu, struktury nieciągłe (spękania, uskoki) i układ warstw (pomiar w odsłonięciach). Orientacja struktur na otrzymanym obrazie wykazuje związek z rozciągłością głównych i wtórnych skarp osuwiskowych oraz rowów rozpadlinowych. Większość przemieszczeń mas skalnych zachodziła konsekwentnie lub subsekwentnie do upadu warstw (10–30° ku południowemu zachodowi i południu) wzdłuż nieciągłości zorientowanych w kierunkach NW–SE i ENE–WSW (Sikora, Piotrowski,

2013a, c; Sikora, 2014b). W wyniku badań strukturalnych ujawniono ponadto istotny wpływ różnic w litologii poszczególnych serii skalnych na wykształcenie osuwisk. Silniej anizotropowa seria warstw godulskich jest dociążana nadległymi i bardziej homogenetycznymi zlepieńcami malinowskimi (w części północnej obszaru) oraz utworami warstw istebniańskich dolnych (w części południowej). Wykazuje ona względnie większą podatność na zniszczenie i to w niej następuje inicjowanie ruchów masowych. Procesy deformacji badanego masywu są więc złożone, a rozładowywanie naprężeń zachodzi wzdłuż sieci nieciągłości. W konsekwencji skarpy główne i wtórne osuwisk osiągają znaczne wysokości, liczne są rowy rozpadlinowe i blokowiska skalne (Sikora, Piotrowski, 2013b). Związany z rozluźnieniem górotworu wzrost szczelinowatości masywu skutkuje także powstawaniem jaskiń, występujących na terenie niektórych spośród badanych osuwisk (Margielewski, Urban, 2000; Tomaszczyk, 2005). Wśród nich są najdłuższe jaskinie w polskiej części Karpat zewnętrznych (Jaskinia Wiślańska i Jaskinia Miecharska; Margielewski i in., 2008). Największe osuwiska są usytuowane w dolinach Gościejowa, Malinki i Białej Wiselki (Sikora, Piotrowski, 2013a).

Analizie poddano skomplikowaną ekstensyjną strukturę zespołu osuwiskowego Białej Wiselki o powierzchni 350 ha. Kompleks powstał wzdłuż uskoku normalnego o rozciągłości ENE–WSW (Sikora, 2014a), równoległego do osi regionalnych struktur fałdowych. Główna skarpa osuwiska odpowiada prawdopodobnie listrycznej powierzchni uskokowej. W tym ujęciu skarpy wtórne należy traktować podobnie jak nieciągłości powstałe w wyniku dyslokowania i zsuwu bloków na skrzydle wiszącym uskoku (Sikora, 2014b). U podnóża najwyższych skarp ekstensja odzwierciedliła się w postaci rowów rozpadlinowych. Ubytek masy skalnej w górnej części osuwiska był prawdopodobnie kompensowany kompresją jezora u jego czoła, które na długim odcinku osiąga ponad 10 m wysokości. Współcześnie w tej części kompleksu także zachodzą procesy osuwiskowe. Obraz kartograficzny ujawnia segmentację tego zespołu osuwiskowego wzdłuż dyslokacji o głównej składowej przesuwowej zorientowanej w kierunku SE–NW. Skomplikowana morfologia koluwium nawiązująca do struktury podłoża wskazuje na katastrofalny przebieg ruchów masowych w przeszłości i na ich sejsmiczną genezę. Zespół osuwiskowy Białej Wiselki obejmuje południowo-wschodnią część grzbietu Cienków–Wysznia–Zielony Kopiec. Warto zauważyć, że w 2006 r. na północno-zachodnim stoku tego grzbietu, w niedużej odległości od zespołu osuwiskowego Czarnej Wiselki, nastąpiła katastrofa osuwiskowa. Dotknęła ona przebudowywaną skocznię narciarską w Wiśle-Malince, a przyczyną katastrofy było niedostateczne rozpoznanie podłoża pod planowany obiekt (Wysokiński, Świeca, 2009). Wyniki badań osuwisk stanowią podstawę do podjęcia działań zapobiegających w przyszłości, szczególnie w Beskidzie Śląskim i na podobnych obszarach.

## LITERATURA

- MARGIELEWSKI W., URBAN J., 2000 — Charakter inicjacji ruchów masowych w Karpatach fliszowych na podstawie analizy strukturalnych uwarunkowań rozwoju wybranych jaskiń szczelinowych. *Prz. Geol.*, **48**, 3: 268–274.
- MARGIELEWSKI W., SZURA C., URBAN J., 2008 — Jaskinia Miecharska Cave (Beskid Śląski Mts., Outer Carpathians) the largest non-karst cave in the Flysch Carpathians. *Zacisk*, **26**: 7–13.
- SIKORA R., 2014a — Structural conditions of landslides development in the Biała Wiselka Valley (Silesian Beskid, Outer Carpathians). *Geol. Sudetica*, **42**: 85.
- SIKORA R., 2014b — Structural origin of landslides in the Vistula River source area (Silesian Beskid, Outer Carpathians, Poland). W: Proceedings of XX Congress of the Carpathian-Balkan Geological Association. *Bul. Shk. Gjeol., Spec. Issue*, **1**: 470.
- SIKORA R., PIOTROWSKI A., 2013a — Mapa Osuwisk i Terenów Zagrożonych Ruchami Masowymi w skali 1:10 000, gm. Wisła. Narod. Arch. Geol. PIB-PIB, Warszawa.
- SIKORA R., PIOTROWSKI A., 2013b — Blokowiska w koluwiach wybranych osuwisk w obszarze źródłowym Wisły (Beskid Śląski). W: V Polska Konferencja Sedymentacyjna POKOS 5'2013. Głębokomorska sedymentacja fliszowa (red. M. Krobicki, A. Feldman-Olszewska): 224–225. Państw. Inst. Geol. – PIB, Warszawa.
- SIKORA R., PIOTROWSKI A., 2013c — Zagadnienia osuwiskowe w rejonie Baraniej Góry (Beskid Śląski). W: LXXII Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Geologicznego. Wyzwania geologii regionu górnośląskiego w XXI wieku. Przewodnik wycieczek terenowych (red. M. Krobicki, R. Sikora): 98–105. Państw. Inst. Geol. – PIB, Warszawa.
- TOMASZCZYK M., 2005 — Zależność między kierunkami korytarzy jaskiń pseudokrasowych a spękaniami ciosowymi w NE części Beskidu Śląskiego (Karpaty zewnętrzne). *Prz. Geol.*, **53**, 2: 168–174.
- WYSOKIŃSKI L., ŚWIECA M., 2009 — Awaria zeskoku i zabezpieczenie osuwiska w Wiśle Malince. W: Awarie budowlane. Zapobieganie. Diagnostyka. Naprawy. Rekonstrukcje. XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna: 351–358. Wydaw. Uczel. Zachodniopomorsk. Uniw. Technol., Szczecin.

## BADANIA DEFORMACJI TERENU KRASOWEGO NA PODSTAWIE WYNIKÓW POMIARÓW GEODEZYJNYCH

Anna SZAFARCZYK, Rafał GAWAŁKIEWICZ

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie; e-mail: szafarcz@agh.edu.pl, rgawal@wp.pl.

Na terenie Jury Krakowsko-Częstochowskiej w miejscowości Wielka Wieś zaobserwowano rozległe zagłębienie o powierzchni ok. 100 a. Zgodnie z relacjami właścicieli teren ten podlega ciągłym, powolnym obniżeniom. Przyczyny takiego stanu można się dopatrywać w krasowej budowie rejonu, ale geneza powstania tej formy terenu nie została dotychczas ostatecznie ustalona.

Opierając się na relacjach właścicieli gruntu, jak również na podstawie analizy ortofotomapy i wyników wizji terenowej postawiono hipotezę dotyczącą zapadania się wspomnianego terenu. Przed przystąpieniem do badań, na podstawie wyników wizji terenowej, założono, że powstanie zagłębienia jest związane z działaniem procesów krasowych. Uznano, że pod powierzchnią terenu istnieje pustka (jaskinia) i że przyczyny obniżania się terenu mogą być następujące:

- działanie wód opadowych powodujących infiltrację drobnego materiału do wnętrza pustki przez szczeliny;
- zapadanie się pustki na skutek nacisku przypowierzchniowych mas gruntów na strop, którego parametry fizykomechaniczne są odmienne od parametrów skał otaczających.

Bez względu na przyczynę obniżania się terenu w przypadku zapadliska lub leja krasowego obniżeniu powinny ulec wszystkie kontrolowane punkty zlokalizowane wewnątrz badanego obszaru.

Przypuszczenia zweryfikowano te na podstawie pomiarów geodezyjnych na najprostszej, a jednocześnie pozwalającej na wyznaczenie ekstremalnych wartości wskaźników deformacji konstrukcji geometrycznej. Założono linię pomiarową i obserwowano położenie jej punktów w dwóch seriach pomiarowych z zastosowaniem niwelacji oraz tachymetrycznego pomiaru długości. Na podstawie wyników dwóch serii pomiarowych (wykonanych w odstępie 21 tygodni) wyznaczono wartości obniżeń (fig. 1), przemieszczeń poziomych, zmian nachylenia, odkształceń oraz krzywizn.

Wyniki wykonanych pomiarów wskazały na ruchy o charakterze procesów osuwiskowych. W przypadku niektórych punktów (o większych rzędnych wysokościowych) zaobserwowano obniżenia, tak jak w niszy osuwiska, a w części punktów (o mniejszych rzędnych wysokości) – wypiętrzenia, charakterystyczne dla jęzora w dolnej części osuwiska. Można zatem uznać, że w omawianym przypadku mamy do czynienia z bardzo powolnym osuwiskiem, bez deformacji nieciągłych, uaktywnianym ogromnymi ilościami wód opadowych spływających z okolicznych terenów.

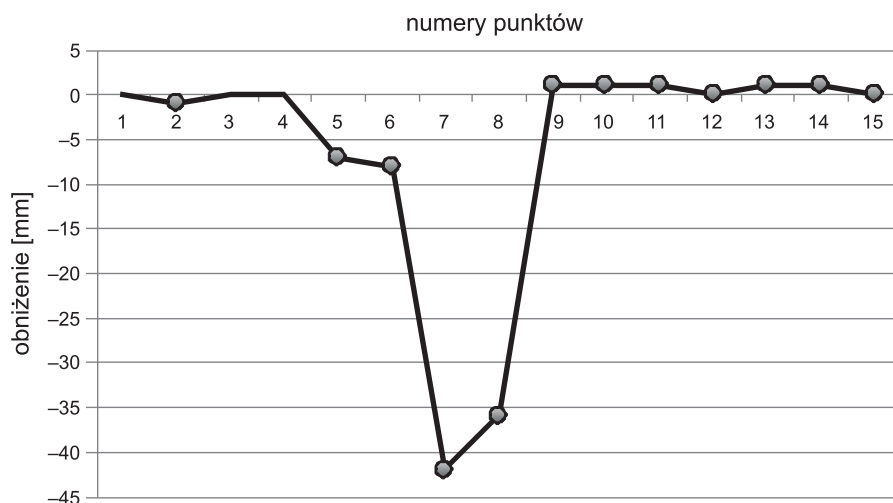


Fig. 1. Obniżenia punktów linii pomiarowej w okresie od maja 2014 r. do października 2014 r.

Zdaniem autorów omówiony obiekt powinien zostać objęty dalszymi pomiarami geodezyjnymi i badaniami geologicznymi, na których podstawie zweryfikowaliby ostatecznie hipotezę o istnieniu pustki (jaskini) pod powierzchnią terenu.

---

## **WYKORZYSTANIE TRÓJWYMIAROWEGO MODELU BUDOWY GEOLOGICZNEJ DO ANALIZY ZWIĄZKU MIĘDZY STRUKTURĄ PODŁOŻA A WYSTĘPOWANIEM OSUWISK NA PRZYKŁADZIE ZLEWNI OCHOTNICY (GORCE, KARPATY ZEWNĘTRZNE)**

Marta H. TOMASZCZYK

Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii.

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa; e-mail: marta.tomaszczyk@pgi.gov.pl.

Związek między budową geologiczną a obecnością szeroko rozumianych ruchów masowych oraz ich zróżnicowaniem wykazało wielu autorów (Kleczkowski, 1955; Mastella, 1975; Bober, 1984; Wójcik, Zimnal, 1996; Wójcik, 1997; Zabuski i in., 1999; Margielewski, 2004) i w ujęciu jakościowym jest on w pełni zrozumiały. Autorka omówiła próbę ilościowej oceny wpływu poszczególnych czynników biernych, rozumianych jako zespół cech określających strukturę geologiczną danego ośrodka, na rozwój osuwisk strukturalnych i wagi tych czynników w ujęciu regionalnym. Na potrzeby badań przyjęto, że osuwiska strukturalne to osuwiska, które obejmują też niezwięzłe utwory skalne (Zabuski i in., 1999) i przebiegają wzdłuż określonej, naturalnej powierzchni geologicznej i których kierunek ruchu ściśle wiąże się z budową geologiczną obszaru (Kleczkowski, 1955; Bober, 1984; Wójcik, 1997).

Obszar badań znajduje się w obrębie płaszczowiny magurskiej. Obejmuje zlewnię rzeki Ochotnicy o powierzchni 109 km<sup>2</sup>. Granice obszaru wyznaczono dla zamkniętego systemu hydrologicznego. Na rozpatrywanym terenie występują zróżnicowane wydzielienia litostratygraficzne (od warstw inoceramowych po warstwy magurskie), co pociąga za sobą zróżnicowanie litologiczne – zarówno jeśli chodzi o procentowy udział piaskowców, łupków i zlepieńców w poszczególnych ogniwach, jak i pod kątem miąższości ławic, która ma wpływ m.in. na rozwój spękań. Obszar jest urozmaicony pod względem tektonicznym. Deformacje ciągłe charakteryzują się zróżnicowanymi parametrami kinematycznymi i morfologicznymi. Na obszarze badań znajduje się fragment nasunięcia dwóch podjednostek płaszczowiny magurskiej (krynickiej i bystrzyckiej), występują tu również złożone systemy uskoków przesuwczych i normalnych związanych z najmłodszymi etapami ewolucji tektonicznej.

Celem prac jest wskazanie zależności między morfologią powierzchni terenu a naturalnymi granicami geologicznymi na podstawie wyników pomiarów struktur geologicznych. Podstawowe znaczenie ma w tym przypadku relacja między parametrami morfometrycznymi stoków a takimi elementami jak położenie warstw, orientacja spękań, orientacja uskoków i przebieg granic litologicznych wyrażonymi przez azymut i upad. Dane geologiczne pozyskano w trakcie kartowania geologicznego. W terenie dokonano pomiarów położenia warstw, powierzchni spękań (wraz z opisem cech ich powierzchni), powierzchni uskoków (wraz z ich wskaźnikami kinematycznymi) i parametrów morfometrycznych fałdów, obserwacji drobnych struktur tektonicznych oraz obserwacji litologicznych. Dane te wraz z analizą wysokorozdzielczego modelu terenu pozyskanego w ramach projektu ISOK oraz z analizą opracowań kartograficznych (mapy i przekroje) posłużyły do wyznaczenia zespołów spękań o znaczeniu regionalnym, stref uskokowych obejmujących powierzchnię głównych uskoków, zasięgów deformacji i struktur im towarzyszących oraz do zidentyfikowania granic między niejednorodnymi pod względem litologicznym kompleksami skalnymi.

Wysokorozdzielczy model terenu oraz omówione dane strukturalne przedstawiono w postaci siatek trójkątów TIN we wspólnej georeferencji. W wyniku przeprowadzonych prac uzyskano mapy porównujące powierzchnię terenu z orientacją granic geologicznych, a następnie z obszarami występowania



osuwisk strukturalnych. Pozwala to na ilościową ocenę wpływu każdego z omówionych elementów na powstawanie osuwisk. Przedstawione wyniki stanowią inne ujęcie wybranych elementów z klasyfikacji zboczy fliszowych zaproponowanej przez Zabuskiego i in. (1999) i jej przełożenie na kontekst regionalny.

## LITERATURA

- BOBER L., 1984 — Rejony osuwiskowe w polskich Karpatach fliszowych i ich związek z budową geologiczną regionu. *Biul. Inst. Geol.*, **340**: 115–156.
- KLECZKOWSKI A., 1955 — Osuwiska i zjawiska pokrewne. Wydaw. Geol., Warszawa.
- MARGIELEWSKI W., 2004 — Typy przemieszczeń grawitacyjnych mas skalnych w obrębie form osuwiskowych polskich Karpat fliszowych. *Prz. Geol.*, **52**, 7: 603–614.
- MASTELLA L., 1975 — Osuwiska konsekwentno-strukturalne na Podhalu. *Biul. Geol.*, **18**: 259–270.
- WÓJCIK A., 1997 — Osuwiska w dorzeczu Koszarawy – strukturalne i geomorfologiczne ich uwarunkowania (Karpaty Zachodnie, Beskid Żywiecki). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **376**: 5–42.
- WÓJCIK A., ZIMNAL Z., 1996 — Osuwiska wzdłuż doliny Sanu między Bachórczem a Rzeczpolem (Karpaty, Pogórze Karpackie). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **374**: 71–92.
- ZABUSKI L., THIEL K., BOBER L., 1999 — Osuwiska we fliszu Karpat polskich. Geologia – modelowanie – obliczenia stateczności. Wydaw. IBW PAN, Gdańsk.

---

## DOŚWIADCZENIA W WYKORZYSTANIU SKANERA TLS DALEKIEGO ZASIĘGU W BADANIACH PROCESÓW GEODYNAMICZNYCH

Sebastian TYSZKOWSKI<sup>1</sup>, Jarosław CEBULSKI<sup>2</sup>, Krzysztof KISZKA<sup>3</sup>

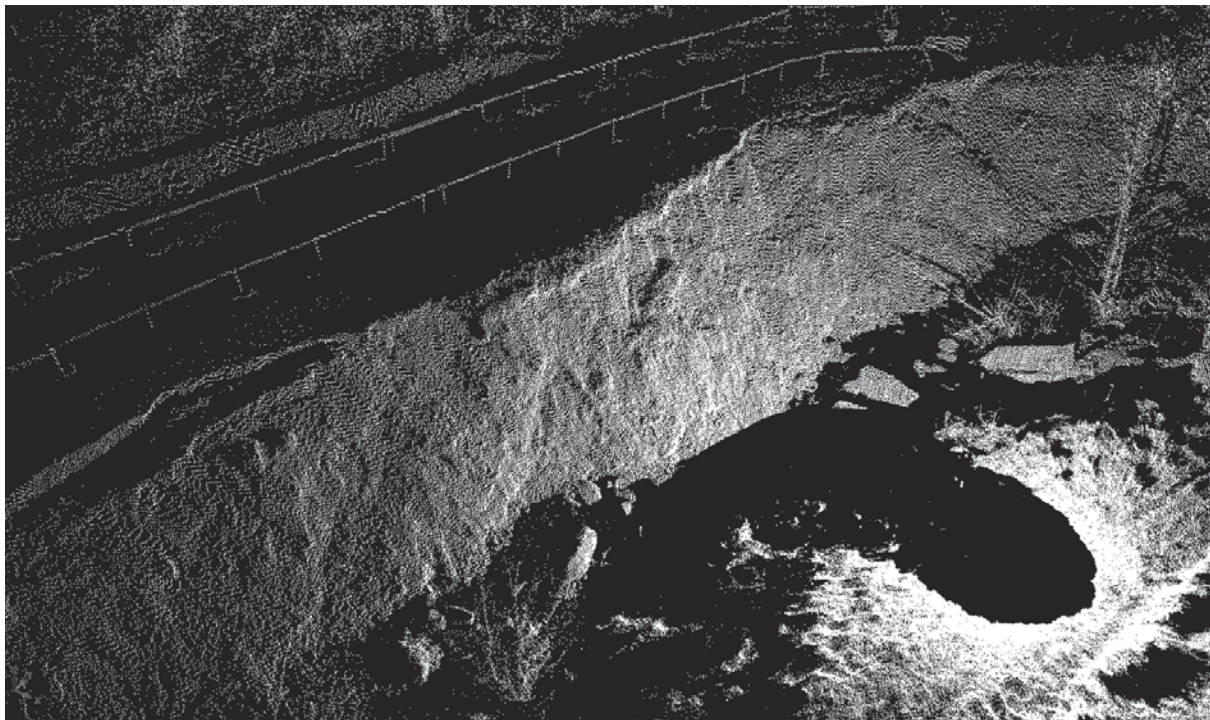
<sup>1</sup> Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk, Zakład Zasobów Środowiska i Geozagrożeń, Toruń; e-mail: sebtys@wp.pl.

<sup>2</sup> Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk, Zakład Badań Geośrodowiska, Kraków; e-mail: cebulski@zg.pan.krakow.pl.

<sup>3</sup> Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk, Zakład Badań Geośrodowiska, Stacja badawcza w Szymbarku; e-mail: kiszka@zg.pan.krakow.pl.

Rozwój procesów geodynamicznych jest interesującym problemem badawczym, zarówno z punktu widzenia współczesnej geologii i geomorfologii, jak i inżynierii. Do lepszego poznania mechanizmu procesów geodynamicznych konieczne jest właściwe określenie ich wielkości, tempa i kierunku. Do tychczas w badaniach związanych z tymi zagadnieniami wykorzystywano głównie geodezję i fotogrametrię. Dynamiczny rozwój technik LIDAR (*Light Detection and Ranging*) sprawił, że w ostatnich latach coraz częściej są one stosowane do pozyskiwania informacji o ukształtowaniu terenu, a ich precyzja jest porównywalna z dokładnością tradycyjnych technik geodezyjnych lub niejednokrotnie ją przewyższa. Jedną z technik LIDAR jest lotniczy skanowanie laserowe (ALS – *Airborne Laser Scanning*). Umożliwia on zebranie danych przestrzennych z dużego obszaru w bardzo krótkim czasie, co doskonale sprawdza się podczas wstępnego rozpoznania terenu i typowania miejsc do dalszych prac. Do szczegółowych badań morfologii terenu i ich zmian coraz częściej stosuje się naziemne skanery laserowe (TLS – *Terrestrial Laser Scanner*). Zaletami techniki są: mobilność, duża dokładność oraz możliwość wykonywania częstych pomiarów. Do niedawna częstym problemem przy dokumentowaniu wielu obiektów był mały zasięg tej techniki, ograniczony do kilkuset metrów, jednak później pojawiły się skanery TLS dalekiego zasięgu, umożliwiające pozyskanie danych z odległości niejednokrotnie przekraczającej 2 km.

Prezentowane wyniki badań prowadzonych z wykorzystaniem skanera TLS firmy Riegl model VZ-4000, którego jednymi z najważniejszych cech są zasięg pomiaru dochodzący do ponad 4000 m



**Fig. 1.** Uzyskana w wyniku skanowania chmura punktów – czoło osuwiska Huciska w Beskidzie Niskim

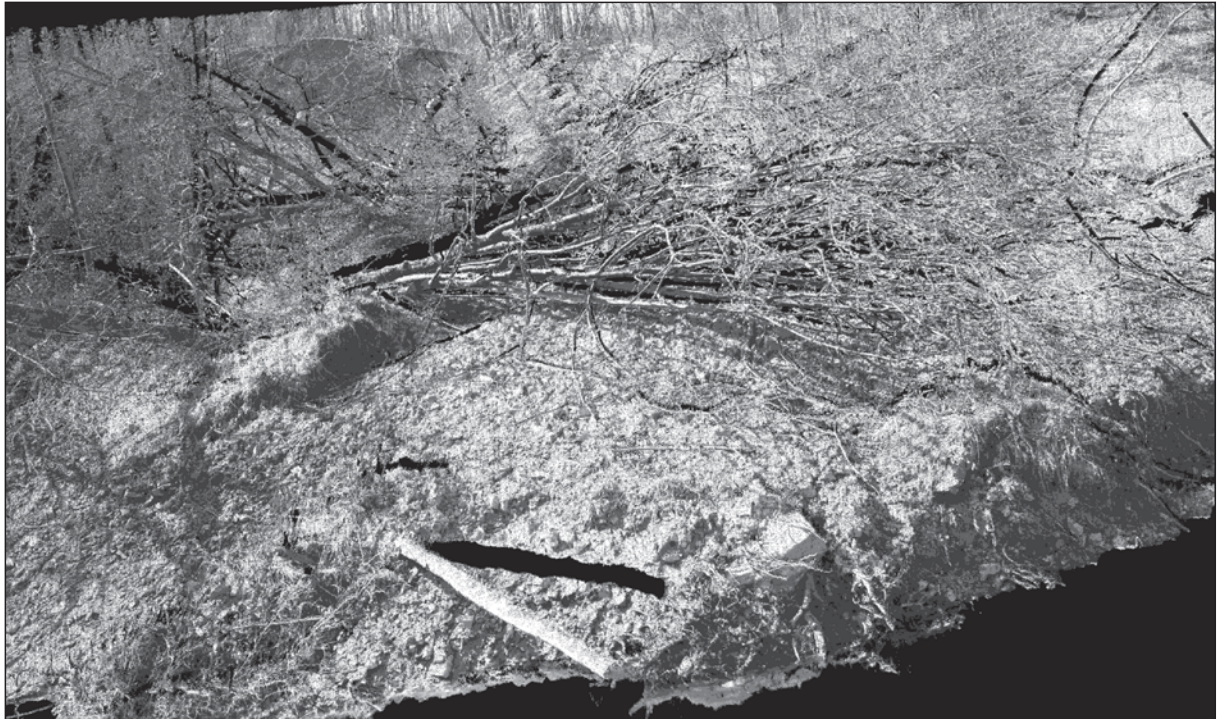
i maksymalna rozdzielczość  $0,002^\circ$ . Pomiary z wykorzystaniem skanera prowadzono na dwóch obszarach badawczych. Pierwszy z nich to osuwisko położone w strefie krawędziowej doliny dolnej Wisły nad Zbiornikiem Włocławskim. Obiekt ten monitorowano już wcześniej z zastosowaniem tradycyjnych metod geodezyjnych (tachimetria, pomiary GPS RTK; Banach i in., 2013), pozyskano także dotyczące tego osuwiska dane z ALS. Pomiary za pomocą skanera TLS wykonano z przeciwległego brzegu zbiornika, z odległości ok. 2–3 km, w trzech seriach pomiarowych. W czasie badań zaobserwowano zmiany morfologii Góry Zamkowej, które zachodziły głównie w wyniku obrywów oraz osypisk w górnej części zbocza.

Drugi badany obszar znajduje się w Karpatach i obejmuje dwa osuwiska – Zapadle i Huciska – położone w Beskidzie Niskim. Formy te, zwłaszcza osuwisko Zapadle, były w przeszłości szczegółowo badane pod kątem budowy geologicznej, genezy i dynamiki (Gil, Kotarba, 1977; Rączkowski, 2007). Obecnie monitoring form za pomocą skanera TLS jest wykonywany z 10 stanowisk, w trzech seriach pomiarowych (wykonywanych w kwietniu, czerwcu i listopadzie). Nałożenie na siebie modeli terenu z poszczególnych serii pomiarowych pozwala na wyznaczenie obszarów w największym stopniu przekształconych, a także na określenie ilości materiału wyniesionego z osuwiska przez potok Bielanka. W 2014 r. największe spośród zaobserwowanych zmian przypadły na okres kwiecień–czerwiec, kiedy doszło do uaktywnienia czoła osuwiska Huciska na długości 62 m, co spowodowało znaczne uszkodzenie drogi powiatowej Szymbark–Bielanka–Ujście Gorlickie. Majowe wezbranie doprowadziło do usunięcia blisko  $425 \text{ m}^3$  materiału z osuwiska Huciska. Wysokie sumy dobowe opadów w lipcu i sierpniu 2014 r. przyczyniły się do ciągłego podcinania czoła tego osuwiska, szczególnie na obszarze wcześniej uaktywnionym.

Uzyskane w wyniku skanowania chmury punktów (fig. 1) dopasowano wzajemnie przy pomocy narzędzia Multi Station Adjustment, umożliwiającego pracę bez konieczności umieszczania punktów referencyjnych na badanych obiektach. Każdorazowo po połączeniu skanów przeprowadzano proces filtracji roślinności (fig. 2). Otrzymane modele porównano z wykorzystaniem oprogramowania GIS w celu oceny zmian morfologii terenu.

Doświadczenia autorów wskazują na duży potencjał wykorzystania skanera TLS dalekiego zasięgu do badań procesów geodynamicznych.





**Fig. 2. Uzyskana w wyniku skanowania chmura punktów – czoło osuwiska (bez filtracji)**

#### LITERATURA

- BANACH M., KACZMAREK H., TYSZKOWSKI S., 2013 — Rozwój osuwisk w strefie brzegowej sztucznych zbiorników wodnych na przykładzie osuwiska centralnego w Dobrzyniu nad Wisłą, *Zbiornik Włocławski. Prz. Geogr.*, **85**: 397–415.
- GIL E., KOTARBA A., 1977 — Model of slide slope evolution in flysch mountains (an example drawn from the Polish Carpathians). *Catena*, **4**: 233–248.
- RĄCZKOWSKI W., 2007 — Landslide hazard in the Polish flysch Carpathians. *Stud. Geomorphol. Carpatho-Balkanica*, **41**: 61–76.

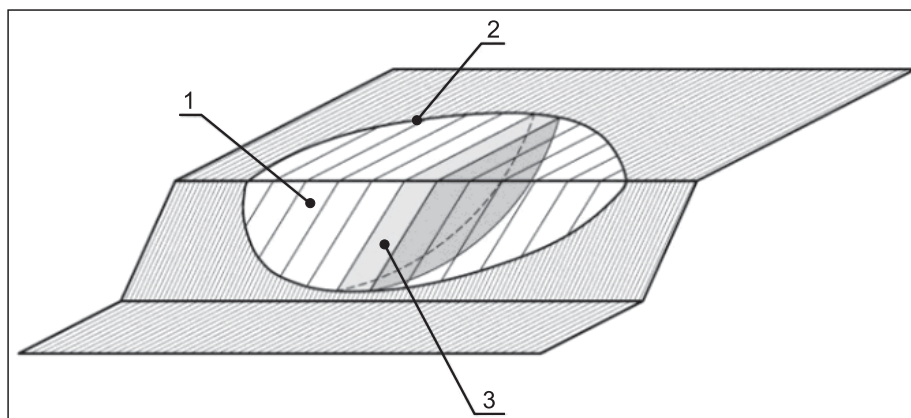
---

### **OCENA STATECZNOŚCI SKARP I ZBOCZY O ZDETERMINOWANEJ POWIERZCHNI POŚLIZGU METODĄ ANALIZY RÓWNOWAGI PRZESTRZENNEJ BRYŁY ODŁAMU STAB-3D**

Janusz UKLEJA

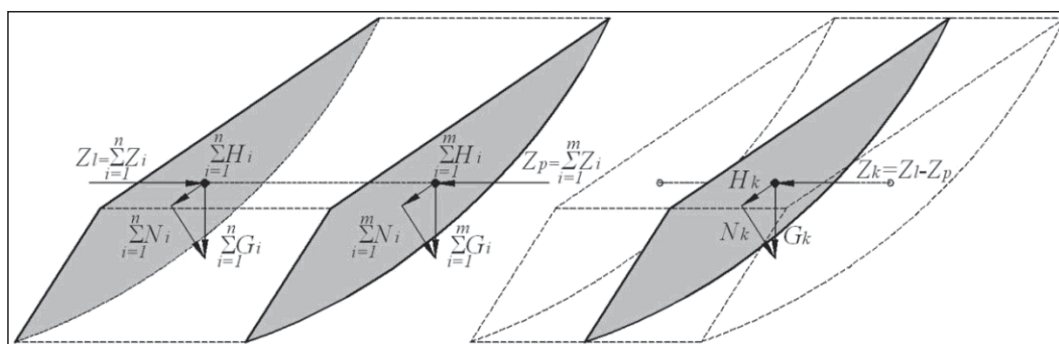
Politechnika Opolska, Wydział Budownictwa; e-mail: ukleja2012@gmail.com.

Od dłuższego czasu trwają prace nad doskonaleniem znanych i tworzeniem nowych metod analizy przestrzennych brył odłamu osuwisk. Większość znanych i stosowanych metod 3D tego typu oparta jest na analitycznych lub numerycznych metodach 2D polegających na analizowaniu wybranych charakterystycznych przekrojów płaskich rozpatrywanej bryły. Dotychczasowe rozwiązania mają wiele ograniczeń, podlegają niekiedy wielu modyfikacjom i w niektórych przypadkach brakuje zadowalających rezultatów. Opracowana metoda o nazwie STAB-3D należy do metod równowagi granicznej (LEM – *Limit Equilibrium Methods*). Opiera się ona na zastosowaniu założeń metody płaskiej analizy równowagi granicznej do rozwiązania przestrzennego. Można ją stosować wyłącznie wtedy, gdy mamy

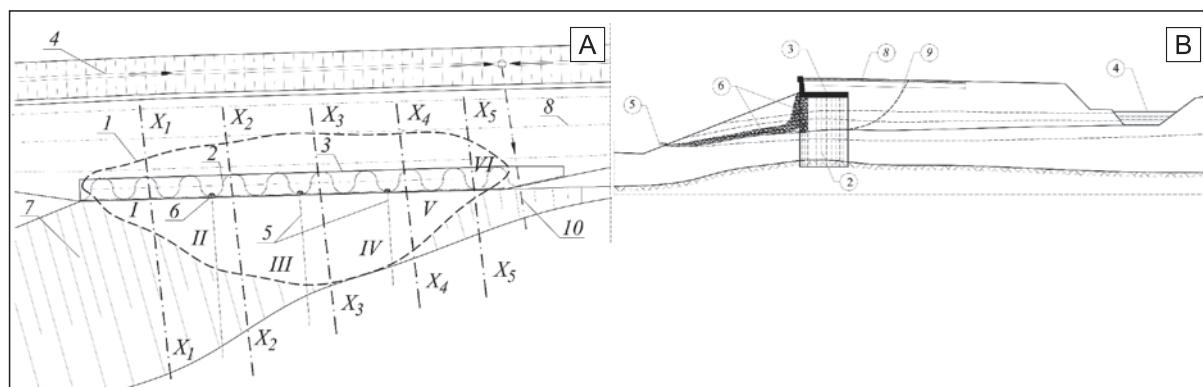


**Fig. 1. Widok perspektywniczny bryły odłamu**

Objaśnienia: 1 – bryła odłamu, 2 – krawędź bryły odłamu, 3 – przestrzenny element podziału bryły odłamu (BED)



**Fig. 2. Pojedynczy przestrzenny element podziału bryły odłamu (BED)**



**Fig. 3. Przypora ze ścinaki szczelnej o kształcie falistym, powstrzymująca osuwisko.**

**A. Widok z góry. B. Przekrój**

Objaśnienia: 1 – zarys osuwiska, 2 – ścianka szczelna, 3 – płyta ocepowa, 4 – rów z wodą, 5 – dren, 6 – sącdek pionowy, 7 – nasyp, 8 – droga, 9 – powierzchnia poślizgu, 10 – przepust

do czynienia z osuwiskiem typu strukturalnego (po zdeterminowanej powierzchni poślizgu) lub gdy określana jest stateczność skarpy albo zbocza zbudowanego z gruntu uwarstwowionego o dających się określić potencjalnych powierzchniach poślizgu (fig. 1). Metoda ta uwzględnia wszystkie główne czynniki wpływające w istotny sposób na stateczność analizowanej bryły odłamu, w tym parcie hydrostatyczne i hydrodynamiczne wód gruntowych, obciążenia zewnętrzne, siły podpierające wywołane przez zastosowanie urządzeń wsporczych i kotew oraz siły spowodowane oddziaływaniem drgań wymuszo-





**Fig. 4. Falista przypora wbijana służąca stabilizacji osuwiska i poszerzeniu drogi. A. Falista ścianki szczelna z grodzic. B. Gotowa przypora po wykonaniu umocnienia zbocza**

nych, wywołanych np. ruchem samochodowym. Umożliwia określenie wskaźnika stateczności skarp i zboczy stabilnych przejawiających symptomy utraty stateczności oraz czynnych osuwisk. Może być stosowana także do prognozowania zasięgu potencjalnych osuwisk na stabilnych obszarach górotworu.

W metodzie tej wykorzystuje się specyficzny podział na bryły odlamu oraz ich równowagę graniczną transponowaną z układu 2D na 3D (fig. 2), co pozwala łatwo określić stateczność skarp oraz zaplanować sposób przeciwdziałania potencjalnym osuwiskom i sposób opanowywania tych, które już powstały.

Na podstawie założeń i algorytmu metody STAB-3D wykonano wiele analiz; przedstawiono przykład jej zastosowania (fig. 3, 4). W wyniku analizy osuwiska było możliwe określenie wskaźnika stateczności bryły odlamu (dla stanu pierwotnego), wyznaczenie sił potrzebnych do wzmocnienia górotworu oraz określenie wskaźnika stateczności z uwzględnieniem oddziaływania zaprojektowanej przypory z grodzic (fig. 4). W innych przypadkach metoda służyła do określenia potencjalnego zasięgu rozwoju aktywnych osuwisk na zboczach kopalni odkrywkowej.

## KOMPLEKSOWE BADANIA GEOLOGICZNO-GEOFIZYCZNE NA OSUWISKU W JANOWCU (GÓRY BARDZKIE, SUDETY) W CELU ROZPOZNANIA JEGO BUDOWY STRUKTURALNEJ I DYNAMIKI ROZWOJU

Krzysztof URBAŃSKI<sup>1</sup>, Paweł RÓŻAŃSKI<sup>1</sup>, Bartłomiej ĆMIELEWSKI<sup>2</sup>, Bernard KONTNY<sup>3</sup>,  
Szymon OSTROWSKI<sup>4</sup>, Marcin LASOCKI<sup>4</sup>, Jan FARBISZ<sup>5</sup>, Stanisław MŻYK<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Dolnośląski; Wrocław;  
e-mail: krzysztof.urbanski@pgi.gov.pl, pawel.rozanski@pgi.gov.pl.

<sup>2</sup> Politechnika Wrocławska, Laboratorium Skanowania i Modelowania 3D; e-mail: bartlomiej.cmielewski@pwr.wroc.pl.

<sup>3</sup> Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Geodezji i Geoinformatyki; e-mail: bernard.kontny@up.wroc.pl.

<sup>4</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa; e-mail: szymon.ostrowski@pgi.gov.pl, marcin.lasocki@pgi.gov.pl.

<sup>5</sup> Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych Sp. z o.o. w Warszawie, Oddział we Wrocławiu; e-mail: j.farbisz@pbg.com.pl, s.mzyk@pbg.com.pl.

W 1997 r. w czasie katastrofalnej powodzi na Dolnym Śląsku w rejonie miejscowości Janowiec, na zboczu góry Kurzyniec (528 m n.p.m.) wchodzącej w skład pasma Gór Bardzkich, powstało osuwisko o powierzchni 1,2 ha i długości 110 m. Obszar w rejonie osuwiska leży na krawędzi tektonicznej oddzie-

lającej Przedgórze Sudeckie od Gór Bardzkich. W 2009 r. obszar osuwiska wykartowano geomorfologicznie na podstawie precyzyjnych pomiarów geodezyjnych przez Instytut Geodezji i Geoinformatyki Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Wykonano szczegółową inwentaryzację obiektu z zastosowaniem naziemnego skanowania laserowego i klasycznych technik geodezyjnych. Założono również stałe punkty kontrolne i rozpoczęto systematyczne pomiary geodynamiczne. W 2013 r. ruszyła realizacja projektu badawczego prowadzonego przez Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy we współpracy z Uniwersytetem Przyrodniczym we Wrocławiu. Celem badań było przetestowanie przydatności różnych metod geofizycznych do rozpoznania budowy wgłębnej osuwiska. Na osuwisku w Janowcu wykonano trzy ciągi tomografii elektrooporowej, kilka profili georadarowych oraz dwa ciągi płytkiej sejsmiki. Na podstawie wyników badań zweryfikowano położenie zaznaczających się w rzeźbie terenu stref tektonicznych, wyznaczono głębokość koluwium i charakter powierzchni odkłucia oraz określono kontakt osadów luźnych ze skałą macierzystą, a także wykształcenie litologiczne i układ strukturalny warstw podłoża karbońskiego.

W ramach projektu wykonano rdzeniowany otwór wiertniczy o głębokości 11,6 m, którym przewiercono utwory luźne aż do litej skały. Odwiercono również dwa badawcze otwory hydrogeologiczne o głębokości 13,2 i 16,7 m. Wyniki badań posłużyły do zweryfikowania wyników prac geofizycznych w odniesieniu do budowy geologicznej tego terenu oraz do określenia warunków hydrogeologicznych w rejonie osuwiska.

Na podstawie wyników badań geofizycznych potwierdzono hipotezę, według której strefa osuwiskowa Janowca obejmuje system uskoków schodowych powstałych na północnym stoku głębokiej doliny Nysy Kłodzkiej. Podłoże skalne w tej części zbocza charakteryzuje się silnym spękaniami i wysokim współczynnikiem szczelinowości. W piezometrach nie stwierdzono utrzymywania się poziomu wody gruntowej, co świadczy o dużej przepuszczalności spękanego tektonicznie podłoża karbońskiego.

W rdzeniowanym otworze wiertniczym pomierzono przemieszczenie w koluwium za pomocą sondy inklinometrycznej. Na podstawie rocznego cyklu pomiarów stwierdzono różny stopień przemieszczania poszczególnych pakietów skalnych w koluwium w całym profilu pionowym osuwiska. Wyniki badań sejsmicznych i pomiarów sondą inklinometryczną mogą również świadczyć o niewielkim przemieszczaniu grawitacyjnym pakietów skał w stropowej części podłoża karbońskiego w rejonie osuwiska. Największe przemieszczenia występują na granicy osadów lodowcowych i pokrywy zwietrzelinowej zalegającej bezpośrednio na podłożu skał litych.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że osuwisko jest aktywne i stwarza zagrożenie dla obiektów mieszkalnych, przemysłowych i infrastrukturalnych w zachodniej części Barda Śląskiego i w okolicznych miejscowościach. Sytuację dodatkowo komplikuje występowanie nad badanym osuwiskiem drugiego, nieaktywnego osuwiska (o powierzchni 2,0 ha), które w wypadku dalszego rozwoju procesów osuwiskowych może zostać uruchomione. Masy osadów i skał litych przemieszczające się w kierunku doliny Nysy Łużyckiej stwarzają również zagrożenie związane z możliwością powstania katastrofalnego spiętrzenia poziomu rzeki wpływającej z Przełomu Bardzkiego.

---

## **ODDZIAŁYWANIE RUCHÓW MASOWYCH ZIEMI NA PRZESTRZEŃ URBANISTYCZNĄ NA PRZYKŁADZIE GMIN MOGILANY I ŚWIĄTNIKI GÓRNE**

Bartłomiej WARMUZ

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, Kraków;  
e-mail: bartlomiej.warmuz@pgi.gov.pl.

Ruchy masowe ziemi zachodzące na obszarze Karpat fliszowych stanowią zagrożenie naturalne, rzutujące na możliwość zagospodarowania terenu oraz na jego wartość. Skala zjawiska jest na tyle duża,

że nie można go pominąć w planowaniu przestrzennym. Poszczególne obszary w Karpatach są w różnym stopniu podatne na ruchy masowe, jednak problemy z nimi związane najbardziej uwidaczniają się na terenach w dużym stopniu zabudowanych. Do takich obszarów należą gminy Mogilany i Świątniki Górne. Obie gminy znajdują się na obrzeżu dużej aglomeracji miejskiej, jaką jest Kraków, co w połączeniu z wysokimi walorami krajobrazowymi czyni je miejscami bardzo atrakcyjnymi na rynku nieruchomości. Obszar tych gmin jest intensywnie modelowany przez ruchy masowe ziemi, co jest związane z ukształtowaniem terenu oraz z jego budową geologiczną.

Głównym źródłem informacji o zjawiskach osuwiskowych na badanym obszarze jest *Mapa Osuwisk i Terenów Zagrożonych Ruchami Masowymi w skali 1:10 000*, opracowana w ramach projektu SOPO. Ze względu na skalę mapa ta zdaje się być optymalnym źródłem danych dla planistów, a czas jej sporządzenia pozwala traktować zawarte na niej informacje jako aktualne.

W trakcie prac wykonywanych w ramach projektu SOPO w granicach obu gmin zarejestrowano 743 osuwiska o łącznej powierzchni 15,5 km<sup>2</sup>, co stanowi 24% tego obszaru. Osuwiska występowały na całym omawianym terenie. Zaobserwowano duże zróżnicowanie pod względem częstotliwości ich występowania, wielkości i charakteru. Rozmieszczenie osuwisk jest związane z budową geomorfologiczną i ze zróżnicowaniem litostratygraficznym podłoża skalnego. Stwierdzono również wpływ antropogenicznego przekształcenia terenu na rozwój ruchów osuwiskowych.

Autor omówił konsekwencje, jakie niesie za sobą uaktywnienie się osuwisk na obszarach zurbanizowanych, oraz znaczenie informacji o występowaniu osuwisk dla właściwego planowania przestrzennego, unikania szkód i niebezpieczeństw, szacowania wartości nieruchomości, jak również całej przestrzeni urbanistycznej.

---

## **ZASTOSOWANIE INTERFEROMETRII SATELITARNEJ O WYSOKIEJ ROZDZIELCZOŚCI DO MONITOROWANIA INFRASTRUKTURY DROGOWEJ I KOLEJOWEJ NA OBSZARACH OSUWISKOWYCH**

Janusz WASOWSKI<sup>1</sup>, Fabio BOVENGA<sup>2</sup>, Raffaele NUTRICATO<sup>3</sup>, Davide Oscar NITTI<sup>3</sup>,  
Maria Teresa CHIARADIA<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Research Institute for Geo-Hydrological Protection of the Italian National Research Council (CNR-IRPI), Bari, Italy; e-mail: j.wasowski@ba.irpi.cnr.it.

<sup>2</sup> Institute of Intelligent Systems for Automation of the Italian National Research Council (CNR-ISSIA), Bari, Italy; e-mail: bovenga@ba.issia.cnr.it.

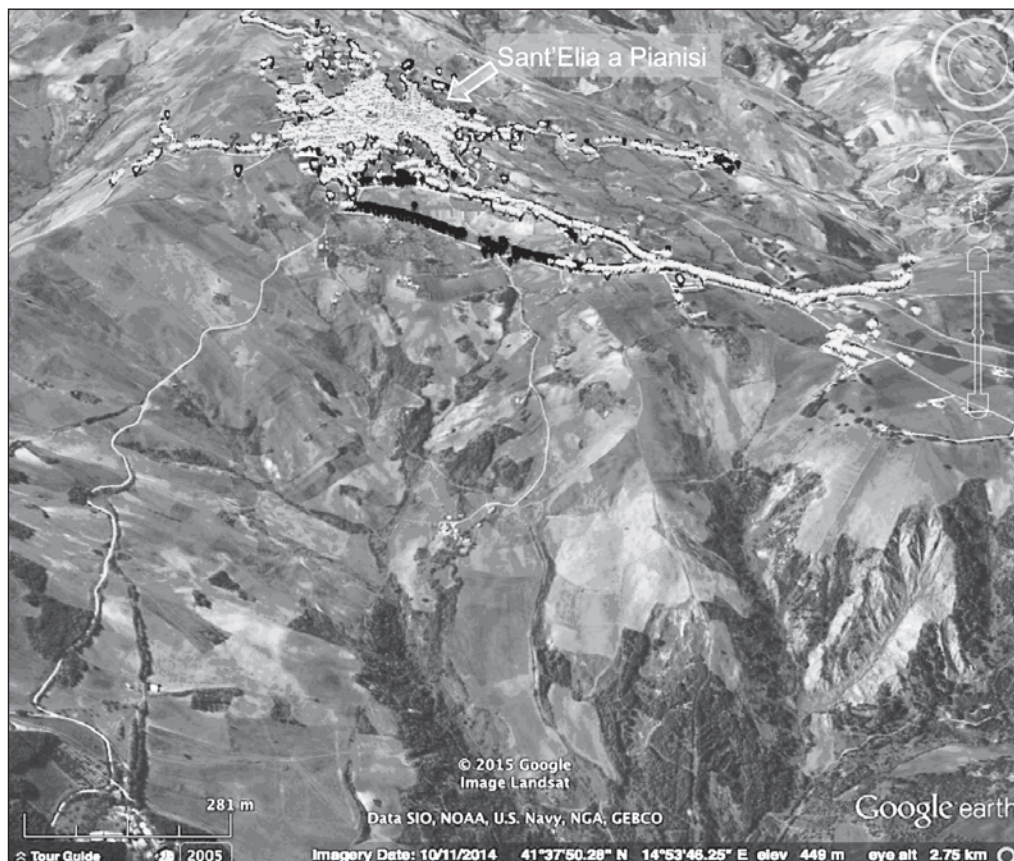
<sup>3</sup> Polytechnic University of Bari, Geophysical Applications Processing (GAP srl c/o), Italy; e-mail: info@gapsrl.eu.

<sup>4</sup> Polytechnic University of Bari, Italy; e-mail: mariateresa.chiaradia@ba.infn.it.

Na obszarach osuwiskowych infrastruktura drogowa i kolejowa często jest narażona na przemieszczenia i uszkodzenia. Podczas gdy konwencjonalne techniki naziemne są niepraktyczne do regularnego monitorowania niestabilnych zboczy i infrastruktury na rozległych terenach, zaawansowana interferometria MTI (*Multi Temporal Interferometry*) może skutecznie pomóc w ocenie zagrożeń dzięki zwiększonej rozdzielczości przestrzennej (1–3 m) i czasowej (dni–tygodnie) radarów satelitarnych nowej generacji. Najważniejsze atuty MTI to:

- pokrycie rozległych obszarów (do wielu tysięcy kilometrów kwadratowych) w połączeniu z wysoką rozdzielczością i dużą precyzją pomiaru (milimetry–centymetry) ruchów powierzchni terenu;
- wykorzystanie naturalnych (niepokrytych roślinnością) miejsc/ punktów do pomiaru radarowego (np. odkrytki skał);
- regularne, długotrwałe (lata) pozyskiwanie danych wraz z dużą częstotliwością pomiarów (dni–tygodnie) oraz dostępność długich serii danych historycznych (od 1992 r.).





**Fig. 1. Wyniki interferometrii satelitarnej MTI (dane z COSMO-SkyMed) w okolicach miasta Sant'Elia a Pianisi w Apeninach (Włochy)**

Punkty radarowe podlegające przemieszczeniom i miejsca stabilne zaznaczono odpowiednio jako ciemne i jasne punkty. Podatny na ruchy osuwiskowe obszar zagraża drodze (ok. 300 m długości) na wschodnim skraju miasta, gdzie maksymalne przemieszczenie punktów radarowych wynosi 12 mm/r. Wyniki MTI zostały nałożone na obraz z Google Earth

Zalety te pozwalają na pewną elastyczność w zastosowaniu MTI – można np. wykorzystać tę samą serię obrazów radarowych do monitoringu o różnej skali (od regionalnej do lokalnej). Co istotne, obecnie za pomocą nowych radarów satelitarnych o wysokiej rozdzielczości (np. włoska konstelacja satelitów COSMO-SkyMed, niemiecki TerraSAR-X) wpływ przemieszczeń na obiekty budowlane i infrastrukturę może być dokładniej badany na dużych obszarach.

Możliwość uzyskania przydatnych informacji uzyskanych techniką MTI zależy od liczby radarowych punktów pomiarowych. Na niektórych obszarach (zwłaszcza tych pokrytych roślinnością) będzie ich mało lub nie będą występować w ogóle. Nierówna ilość informacji wraz z innymi ograniczeniami techniki (np. pomiary tylko w radarowej linii widzenia) sprawia, że MTI jest najprzydatniejsza na rozpoznawczym etapie projektu, tzn. przy wstępnej ocenie niestabilności stoków i infrastruktury, na podstawie której później należy przeprowadzić szczegółowe badania i monitorowanie zagrożonej infrastruktury *in situ*. Podobnie jak w przypadku wielu innych zastosowań teledetekcji satelitarnej, im większy jest obszar badawczy, tym bardziej MTI jest atrakcyjna pod względem kosztów i korzyści. Tego rodzaju interferometria wypada korzystnie pod względem ekonomicznym także przy długoterminowym monitoringu (kilka lat lub więcej).

Możliwość wydajnego zastosowania MTI do monitorowania zagrożeń zależy także od szybkości deformacji, której podlega infrastruktura na skutek przemieszczeń terenu. Tego rodzaju interferometria doskonale nadaje się do monitoringu powolnych głębokich osuwisk, które mogą być aktywne przez wiele lat, natomiast obrywy skał lub lawiny skalne są zjawiskami zbyt szybkimi i krótkimi, żeby badać je z zastosowaniem MTI. Niemniej jednak powolne przesunięcia, które następują po głównym przemieszczeniu, mogą być skutecznie monitorowane w ten sposób. Do monitoringu szybko przemieszczających się osuwisk może być konieczne zastosowanie innych technik teledetekcji lub pomiarów na miejscu.



Żeby podkreślić użyteczność MTI do monitorowania infrastruktury drogowej i kolejowej na obszarach osuwiskowych, przedstawiono przykłady zastosowań z Apeninów (fig. 1) oraz z innych regionów Włoch i świata. Więcej informacji na temat zastosowania MTI w praktyce geologiczno-inżynierskiej i do monitorowania zagrożeń osuwiskowych można znaleźć w ostatnich artykułach przeglądowych poświęconych temu zagadnieniu (np. Graniczny i in., 2011; Wasowski, Bovenga, 2014a, b) i w cytowanej w nich bibliografii.

**Podziękowania.** Dziękujemy europejskiej (ESA), włoskiej (ASI) i niemieckiej (DLR) agencji kosmicznej za dostarczenie radarowych zdjęć satelitarnych.

## LITERATURA

- GRANICZNY M., BOVENGA F., KOWALSKI Z., PERSKI Z., PIĄTKOWSKA A., SURAŁA M., UŚCINOWICZ S., WASOWSKI J., ZDANOWSKI A., 2011 — Problematyka wykorzystania interferometrii satelitarnej w badaniach geologicznych. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **446**: 53–64.
- WASOWSKI J., BOVENGA F., 2014a — Investigating landslides and unstable slopes with satellite Multi Temporal Interferometry: current issues and future perspectives. *Eng. Geol.*, **174**: 103–138 [<http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2014.03.003>].
- WASOWSKI J., BOVENGA F., 2014b — Remote sensing of landslide motion with emphasis on Satellite Multitemporal Interferometry applications: an overview. W: *Landslide hazards, risks and disasters* (red. J. Shroder): 345–403. Elsevier [<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-396452-6.00011-2>].

---

## WYKORZYSTANIE WYSOKOŚCIOWYCH DANYCH LASEROWYCH W BADANIU OSUWISK

Tomasz WOJCIECHOWSKI, Zbigniew PERSKI, Antoni WÓJCIK

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, Kraków;  
e-mail: tomasz.wojciechowski@pgi.gov.pl, zbigniew.perski@pgi.gov.pl, antoni.wojcik@pgi.gov.pl.

Numeryczne modele terenu (NMT) mają zastosowanie w badaniach geologicznych i geomorfologicznych, w tym w badaniach osuwisk. Prace te zyskały nową jakość wraz z pojawieniem się danych pochodzących z naziemnego i lotniczego skaningu laserowego. Dzięki bardzo wysokiej rozdzielczości tych danych jest możliwe uszczegółowienie obrazu rzeźby terenu, zwłaszcza w przypadku opracowań kartograficznych wykonywanych w dużej skali. Możliwość odfiltrowania z chmury punktów obiektów stanowiących pokrycie terenu (roślinność, infrastruktura) sprawiła, że można obserwować rzeczywistą rzeźbę terenu na znacznym obszarze, co do tej pory nie zawsze było osiągalne. Jest to szczególnie korzystne w przypadku obszarów zalesionych, gdzie podczas prac terenowych przy ograniczonej widoczności trudno jest wyróżnić wszystkie elementy rzeźby, zwłaszcza w odniesieniu do większego rejonu.

W badaniach osuwisk szczególną uwagę zwraca się na zmienną szorstkość powierzchni i na kształty form terenu. Istotne jest też odnotowywanie współwystępowania poszczególnych elementów wewnątrz-osuwiskowych, ponieważ najczęściej świadczy to o danym zjawisku czy strukturze. Przykładowo obniżenia terenu na stokach górskich o kształcie cylindrycznym mogą stanowić lej źródłowy lub mogą być efektem dużej zmiany nachylenia związanej ze zmianą geologii podłoża. Jeśli natomiast takie obniżenie znajduje się ponad zdeformowaną powierzchnią terenu, z pagórami, progami i obniżeniami, mamy do czynienia z osuwiskiem. W analizie danych laserowych niezastąpione jest zatem duże doświadczenie terenowe.

Dotychczasowe wyniki wykorzystania danych laserowych do badań osuwisk wskazują na duże możliwości stosowania technologii laserowej w pracach kartograficznych i inwentaryzacyjnych oraz w monitorowaniu aktywności ruchów masowych (Borkowski i in., 2011). Interpretację zobrazowań NMT można prowadzić z bardzo dużą precyzją – oprócz lokalizowania form osuwiskowych jest możliwe

wyznaczenie różniących się fragmentów powierzchni osuwiska związanych z jego zmienną aktywnością. Analizy tego typu przeprowadzono m.in. na osuwisku w Zbyszycach (Wojciechowski i in., 2012), gdzie wyznaczono strefy aktywne.

Zalety danych z naziemnego skaningu laserowego są szczególnie widoczne w przypadku monitorowania aktywności osuwisk. W ramach zadań państwowej służby geologicznej systematycznie wykonuje się pomiary 26 osuwisk za pomocą naziemnych skanerów laserowych (Perski i in., 2013), a wyniki tych prac są integrowane z danymi pochodzącymi z innych systemów pomiarowych, zarówno powierzchniowych (InSAR, GNSS, LIDAR, fotogrametria), jak i wgłębnych (inklinometry, piezometry; Nescieruk i in., 2013). Na podstawie powtarzalnych pomiarów naziemnych lub lotniczych są obliczane modele różnicowe, które w sposób ilościowy informują o dynamice osuwiska w określonym interwale czasowym (Borkowski i in., 2012). Interesujące wyniki otrzymano, analizując osuwiska w Kłodnem (Perski i in., 2014), w rejonie Jeziora Rożnowskiego (Wojciechowski i in., 2014), w Szczepanowicach (Karwacki, Wojciechowski, 2014) czy też w Czchowie (Wojciechowski i in., 2013). W każdym z przypadków obliczono objętość strefy oderwania i koluwium i określono wielkość deformacji w czasie. Obrazy uznane na podstawie tej metody za aktywne z powodzeniem mogą być wykorzystywane do określania podatności i zagrożenia osuwiskowego danego obszaru (Mickelson, 2011).

Wraz z pojawieniem się produktów laserowych wykonywanych w ramach projektu ISOK zaczęto bezkrytycznie stosować tego rodzaju dane w badaniach osuwisk. Powszechna jest opinia, że NMT obliczony z chmury punktów wiernie odzwierciedla powierzchnię terenu. Należy jednak pamiętać, że jakość NMT zależy od prawidłowej filtracji danych. Pomiar przeprowadzony w okresie wegetacji bardzo często nie dostarcza odbicia wiązek laserowych od powierzchni terenu, a co za tym idzie interpolacja danych z powierzchni terenu jest mało dokładna lub nawet niemożliwa. Często jest sytuacja, gdy w skład powierzchni terenu wchodzi niska i gęsta roślinność, co w przypadku obszarów o dużej deniwelacji daje bardzo mylący obraz rzeźby terenu. Na podstawie danych laserowych, zwłaszcza pozyskanych z pułapu lotniczego, nie jest możliwe śledzenie drobnych form osuwiskowych, np. szczelin. W interpretacji NMT ważne jest też doświadczenie terenowe i świadomość, że nie każde osuwisko odzwierciedla się w obrazie rzeźby terenu. Nie każda forma na NMT wyglądająca na osuwiskopodobną jest związana z ruchami masowymi. Czasem brak form osuwiskowych nie świadczy o braku osuwiska, czego przykładem mogą być dane z okolic Krakowa.

## LITERATURA

- BORKOWSKI A., PERSKI Z., WOJCIECHOWSKI T., JÓŻKÓW G., WÓJCIK A., 2011 — Landslides mapping in Rożnow lake vicinity, Poland, using airborne laser scanning data. *Acta Geodyn. Geomat.*, **8**: 325–333.
- BORKOWSKI A., PERSKI Z., WOJCIECHOWSKI T., WÓJCIK A., 2012 — LiDAR and SAR data application for landslide study in Carpathians region (southern Poland). W: *Proceedings of the XXII Congress of the International Society of Photogrammetry and Remote Sensing*, Melbourne, 25 August–1 September 2012 [materiały konferencyjne].
- KARWACKI K., WOJCIECHOWSKI T., 2014 — Ruchy masowe w świetle danych LIDAR – osuwiska pod lupą. *Geodeta*, **10**: 26–28.
- MICKELSON K.A., 2011 — LiDAR-based landslide inventory and susceptibility mapping, and differential LiDAR analysis for the Panther Creek Watershed, Coast Range, Oregon [M.S. thesis]. Portland State Univ., Portland.
- NESCIERUK P., PERSKI Z., WOJCIECHOWSKI T., WÓJCIK A., 2013 — Osuwisko w Łaskach nad zbiornikiem w Porąbce jako przykład zagrożenia dla sztucznych zbiorników wodnych w Karpatach. W: *Nowoczesne rozwiązania konstrukcyjno-materiałowo-technologiczne. Geotechnika. XXVIII Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji*, Wisła, 5–8 marca 2013 r. T. 2. Wykłady. Referaty firmowe i informacje techniczno-promocyjne: 1–10. PZITB, Kraków.
- PERSKI Z., WOJCIECHOWSKI T., WÓJCIK A., NESCIERUK P., 2013 — Techniki naziemne, lotnicze i satelitarne w rozpoznaniu osuwisk. W: *Nowoczesne rozwiązania konstrukcyjno-materiałowo-technologiczne. Geotechnika. XXVIII Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji*, Wisła, 5–8 marca 2013 r. T. 2. Wykłady. Referaty firmowe i informacje techniczno-promocyjne: 25–34. PZITB, Kraków.
- 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. W: *Proceedings of World Landslide Forum 3*, 2–6 June 2014, Beijing. Vol. 4. Discussion session: 200–204. Springer.
- 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., WÓJCIK A., PERSKI Z., NESCIERUK P., 2013 — Zagrożenia osuwiskowe w strefach brzegowych zbiorników zaporowych Dunajca na przykładzie osuwiska w Czchowie. W: Hydrotechnika XV'2013. Sympozjum Ogólnokrajowe, Ustroń, 21–23 maja 2013 r. Materiały: 88–101. Śląska Rada Nacz. Org. Tech. FSNT, Katowice.
- WOJCIECHOWSKI T., NESCIERUK P., MICHALSKI A., PERSKI Z., WAMUZ B., 2014 — Metody monitoringu geodynamicznego stosowane przez państwową służbę geologiczną. W: I Ogólnopolskie Sympozjum Geointerdyscyplinarnych Metod Badawczych. WG UW, Warszawa.

---

## **PODATNOŚĆ I ZAGROŻENIA OSUWISKOWE NA FRAGMENTIE WSCHODNIEGO OBRZEŻENIA JEZIORA ROŻNOWSKIEGO W ŚWIEŁLE ANALIZ RÓŻNICOWYCH LIDAR**

Tomasz WOJCIECHOWSKI, Antoni WÓJCIK

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, Kraków;  
e-mail: tomasz.wojciechowski@pgi.gov.pl, antoni.wojcik@pgi.gov.pl.

Wysokościowe dane pochodzące z lotniczego skaningu laserowego (LIDAR) są w ostatnich latach coraz częściej wykorzystywane w badaniach geologicznych i geomorfologicznych, zwłaszcza w analizach osuwisk (Jaboyedoff i in., 2010; Borkowski i in., 2011; Wojciechowski i in., 2012; Wójcik i in., 2013). Dane laserowe są wykorzystywane w inwentaryzacji ruchów masowych, a dzięki powtarzanym lotom pomiarowym także do monitorowania aktywności osuwisk (Burns i in., 2010; Wojciechowski i in., 2014). Analiza różnicowa danych z LIDAR pozwala precyzyjnie wyznaczyć strefy aktywności osuwisk oraz jakościowo i ilościowo określić deformację powierzchni terenu. Informacja przestrzenna o aktywności osuwisk, na podstawie statystycznego porównania jej z informacjami o czynnikach charakteryzujących uwarunkowania geologiczne analizowanych obszarów, może zostać wykorzystana do obliczenia podatności osuwiskowej tego obszaru (Mickelson, 2011), a następnie do określenia zagrożeń.

Referat dotyczył wyników badań opierających się na wykorzystaniu różnicowego modelu terenu, który obejmuje obszar przylegający do Jeziora Rożnowskiego między Gródkiem nad Dunajcem a Kurowem. W ramach projektu SOPO na obszarze o powierzchni 27,86 km<sup>2</sup> wyznaczono 219 osuwisk o łącznej powierzchni 6,51 km<sup>2</sup>. W rejonie badań wykonano dotychczas trzy loty pomiarowe w systemie laserowym. Pierwszy pomiar wykonano 1 kwietnia 2010 r. (Borkowski i in., 2011), drugi 2 lipca 2010 r. Trzeci lot pomiarowy przeprowadzono w ramach projektu ISOK – północną część obszaru badań pomierzono 11 listopada 2011 r., a południową – 1 maja 2013 r. Dane z pierwszego i trzeciego badania wykorzystano do obliczenia modelu różnicowego, którego dokładność pionowa osiąga 15 cm. Otrzymany obraz deformacji powierzchni terenu należy wiązać z katastrofą osuwiskową z 2010 r. W rozpatrywanym okresie aktywność wykazywało 119 osuwisk o łącznej powierzchni 0,85 km<sup>2</sup>. Obniżenie powierzchni terenu, związane najczęściej ze strefami oderwania, powstało w wyniku przemieszczenia 631 449 m<sup>3</sup> materiału skalnego, który został skumulowany w postaci jezorów osuwiskowych (642 788 m<sup>3</sup> koluwium) nadbudowujących teren.

Cechy obniżenia powierzchni terenu w strefach oderwania wraz z właściwymi dla danego miejsca czynnikami geosrodowiskowymi można wykorzystać do określenia uwarunkowań osuwisk i – w dalszym etapie – podatności osuwiskowej. Przy użyciu metody statystycznej WoE (*Weights of Evidence*; Bonham-Carter i in., 1989; Mrozek, 2013) obliczono podatność osuwiskową obszaru badań. Zgodnie z wynikami 14,35% terenu znajduje się w strefie o bardzo dużej podatności, 28,72% w strefie o dużej podatności, a 27,71% w strefie o średniej podatności na osuwanie.

Mapę podatności na osuwanie porównano z informacjami z Bazy Danych Obiektów Topograficznych (BDOT). W rejonie badań na obszarze osuwisk oraz w strefie o bardzo dużej i dużej podatności na osuwanie są zlokalizowane 1242 budynki, stanowiące 50,9% wszystkich stojących tam budynków.

## LITERATURA

- BONHAM-CARTER G.F., AGTERBERG F.P., WRIGHT D.F., 1989 — Weight of evidence modelling: a new approach to mapping mineral potential. W: Statistical applications in the earth sciences (red. F.P. Agterberg, G.F. Bonham-Carter). Paper 89–9: 171–183. Geol. Surv. Canada.
- BORKOWSKI A., PERSKI Z., WOJCIECHOWSKI T., JÓŻKÓW G., WÓJCIK A., 2011 — Landslides mapping in Roznow lake vicinity, Poland, using airborne laser scanning data. *Acta Geodyn. Geomat.*, **8**: 325–333.
- BURNS W.J., COE J.C., SENEK KAYA B., MA L., 2010 — Analysis of elevation changes detected from multi-temporal LIDAR surveys in forested landslide terrain in Western Oregon. *Environ. Eng. Geosci.*, **16**: 315–341.
- JABOYEDOFF M., OPPIKOFER T., ABELLÁN A., DERRON M.H., LOVE A., METZGER R., PEDRAZZINI A., 2010 — Use of LIDAR in landslide investigations: a review. *Nat. Hazards* [opublikowany on line 19 września 2010 r.].
- MICKELSON K.A., 2011 — LiDAR-based landslide inventory and susceptibility mapping, and differential LiDAR analysis for the Panther Creek Watershed, Coast Range, Oregon [M.S. thesis]. Portland State Univ., Portland.
- MROZEK T., 2013 — Zagrożenie i ryzyko osuwiskowe w rejonie Szymbarku (Beskid Niski). *Pr. Państw. Inst. Geol.*, **199**.
- 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., NESCIERUK P., MICHAŁSKI A., PERSKI Z., WAMUZ B., 2014 — Metody monitoringu geodynamicznego stosowane przez państwową służbę geologiczną. W: I Ogólnopolskie Sympozjum Geointerdyscyplinarnych Metod Badawczych. WG UW, Warszawa.
- WÓJCIK A., WĘŻYK P., WOJCIECHOWSKI T., PERSKI Z., MACZUGA S., 2013 — Geologiczna i geomorfologiczna interpretacja danych z lotniczego skaningu laserowego (ALS) rejonu Kasprowego Wierchu (Tatry). *Prz. Geol.*, **61**, 4: 234–242.

---

## BŁĘDY ROZPOZNANIA I ZABEZPIECZENIA – CZYLI JAK NIE NALEŻY WYKONYWAĆ PRAC STABILIZACYJNYCH

Antoni WÓJCIK

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, Kraków;  
e-mail: antoni.wojcik@pgi.gov.pl.

W Polsce wykonuje się zabezpieczenia różnych obiektów zagrożonych uszkodzeniem albo uszkodzonych w wyniku ruchów grawitacyjnych. Zabezpieczenia takie są kosztowne i nie zawsze skuteczne. Znane są „zabezpieczenia”, które w podręcznikach inżynierskich mogłyby posłużyć jako przykłady, jak takich prac nie powinno się wykonywać. Problematykę tę ograniczono tu do kilku obiektów z różnych części Polski.

Pierwszym przykładem może być krakowski Kopiec Kościuszki, który jest obiektem o dużym znaczeniu historycznym. Jego budowę rozpoczęto w 1820 r., a ukończono w 1823 r. Kopiec usypano z materiału miejscowego i jest on w całości budowlą antropogeniczną. W przeszłości kilkakrotnie uległ uszkodzeniu, m.in. w latach 30. XX w. W latach 1979–1998 na stokach kopca od strony północnej, wschodniej i południowej stwierdzono znaczne uszkodzenia. Pod koniec 1999 r. rozpoczęto prace naprawcze poprzedzone określeniem warunków gruntowych. Naprawa polegała na zdjęciu górnej części stożka o wysokości 9 m, jego odbudowie i zagęszczeniu nowego nasypu zabezpieczonego od dołu membraną PEHD, wykonaniu geodrenów i zabezpieczeń za pomocą kotew iniekcyjnych o długości 5,7 m i rozstawie ok. 2,5 m, a także geosiatek i innych elementów.

Po odbudowie zniekształcenia w bryle kopca pojawiły się już w 2002 r. W 2003 r. zamontowano na nim cztery inklinometry oraz zlokalizowano pomiarowe punkty geodezyjne. Pomiary wykonywano w latach 2003–2011. Ich wyniki wskazują na dalsze deformacje o wielkości 1–8 mm/r, zachodzące głównie w północno-wschodniej i południowo-wschodniej części kopca. Przemieszczenia nastąpiły na głębokości 6–12 m. Wyniki pomiarów jednoznacznie potwierdzają, że w bryle kopca nadal występują przemieszczenia, a wykonane zabezpieczenia nie są skuteczne mimo wysokich nakładów finansowych.



Bryła Kopca Kościuszki jest obecnie uszkodzona w wielu miejscach. Ostatnio wykonano pełniejsze rozpoznanie geologiczne kopca i jego podłoża.

Jako drugi przykład złego zabezpieczenia może posłużyć stabilizacja objętego osuwiskiem brzegu morskiego w Jastrzębiej Górze. Założono, że za niszczenie brzegu odpowiedzialna jest głównie abrazja. Wybudowano konstrukcję geotechniczną złożoną z koszy kamienno-siatkowych. Nieskuteczność tych prac można zaobserwować na miejscu – potężna budowla geotechniczna została uszkodzona i przemieszczona w kierunku morza na skutek uaktywnienia się osuwiska.

Trzeci przykład może obejmować drogi, których zabezpieczenia, mimo że są wykonane na podstawie dokumentacji geologiczno-inżynierskich, nie dają efektów. Takich przypadków jest dużo, jeden z nich to droga krajowa nr 28 na odcinku między Nowym Sączem a Grybowem. Na podstawie dokumentacji geologiczno-inżynierskich wielokrotnie wykonywano jej naprawy, jednak nadal jest ona uszkodzana i co pewien czas musi być naprawiana.

Przytoczone przykłady prowadzą do pytania o przyczyny nieskuteczności zabezpieczeń oraz błędów w stabilizacji.

Zabezpieczenie każdego obiektu składa się z kilku etapów, wśród których można wyróżnić: rozpoznanie geologiczne podłoża, wykonanie projektu i wykonanie właściwego zabezpieczenia. Pierwszą i podstawową częścią prac jest prawidłowe rozpoznanie geologiczne podłoża. W każdym z wymienionych etapów prac powinien uczestniczyć geolog. Nie zawsze jest on obecny, a czasem projektant największych oszczędności szuka właśnie przy rozpoznaniu geologicznym. Jeżeli popełni się błędy już na pierwszym etapie i nie zweryfikuje się otrzymanych wyników, to dalsze prace będą oparte na fałszywych założeniach i nie dadzą oczekiwanego efektu po wykonaniu zabezpieczenia.

Prawdopodobnie w przypadku każdego z przedstawionych przykładów popełniono błędy już na pierwszym etapie zabezpieczania obiektu. Należy przypuszczać, że wynikały one z oszczędności związanych z rozpoznaniem geologicznym. Najczęstszy błąd to nieodpowiedni sposób wiercenia, a zwłaszcza nieodpowiednie pozyskiwanie rdzeni wiertniczych. Do tego dochodzą jeszcze błędy konstrukcyjne, czego przykładem może być Kopiec Kościuszki w Krakowie. Wszystkich tych nieprawidłowości można uniknąć, stosując odpowiednie procedury weryfikacyjne na każdym etapie rozpoznania. Wspomagają to procedury opracowane na początku bieżącego wieku w Krakowie. W zakresie eliminowania błędów bardzo istotna jest też działalność wojewódzkich zespołów nadzorujących realizację zadań w zakresie przeciwdziałania ruchom osuwiskowym oraz usuwania ich skutków, w tym zespołu małopolskiego.

---

## OSUWISKA PODWODNE CYPLA HELSKIEGO

Radosław WRÓBLEWSKI<sup>1,2</sup>, Maria RUCIŃSKA-ZJADACZ<sup>3</sup>, Stanisław RUDOWSKI<sup>2</sup>,  
Patrik SITKIEWICZ<sup>1</sup>, Jarosław NOWAK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Uniwersytet Gdański, Katedra Geomorfologii i Geologii Czwartorzędu; e-mail: rwroblewski@im.gda.pl, kyrtaps@gmail.com.

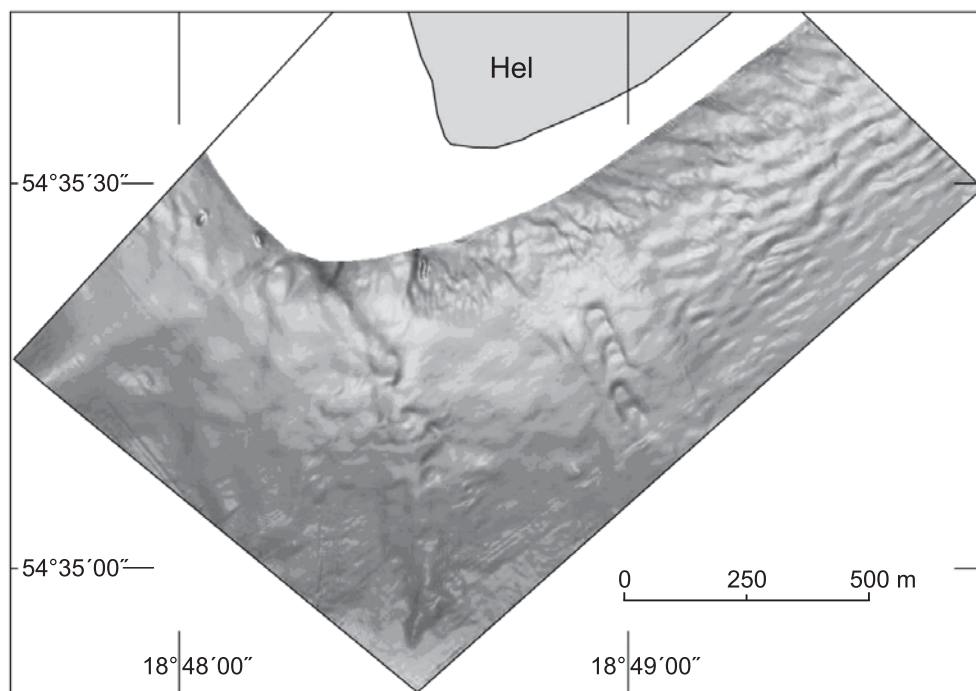
<sup>2</sup> Instytut Morski w Gdańsku, Zakład Oceanografii Operacyjnej; e-mail: starud@im.gda.pl, kostek@im.gda.pl.

<sup>3</sup> Uniwersytet Gdański, Zakład Geologii Morza; e-mail: ocmrz@ug.edu.pl.

Podstawę prac stanowią pomiary wykonane w lipcu 2006 r. i grudniu 2007 r. z pokładu statku badawczego IMOR rv z zastosowaniem echosondy wielowiązkowej, sonaru bocznego, profilografu dna, systemu ROV TV, sondy wibracyjnej i czerpaków.

Obszarem badań (fig. 1) jest cypel Półwyspu Helskiego – piaszczystej bariery, wkraczającej w głęboki akwen o rzędnych dna przekraczających 60 m p.p.m. Podwodna część cokołu opada stromym stokiem o nachyleniu ponad 8°, maksymalnie (miejscami) nawet 20°.

Na całej powierzchni stoku występują liczne, różnej wielkości i rodzaju formy powierzchniowych ruchów masowych (nisze osuwiskowe, skarpy i jęzory, zsuwy, obrywy, spływy itp.). Nie stwierdzono



**Fig. 1. Rzeźba dna podwodnej części Cypla Helskiego**

jednak występowania czynnych procesów osuwiskowych – zarówno w czasie prowadzenia pierwszych pomiarów w 2006 r., jak i w trakcie pomiarów w 2007 r.

Rumowisko, złożone głównie z piasku drobnoziarnistego, donoszone do krawędzi płytkiej „półki” otaczającej brzegi cypla, spływa w postaci zawiesinowego płaszczu do podnóża stoku. Występuje tu silny prąd, unoszący oprócz piasku także fragmenty roślin, w tym pątyki i grube konary, oraz śmieci i gruz antropogeniczny.

Wyniki badań wskazują na silne upakowanie piasków budujących cokół, co może tłumaczyć jego względną stabilność. Dotychczas nie poznano bezpośrednich przyczyn uruchamiania procesów osuwiskowych w tym miejscu. Obecna stagnacja nie oznacza jednak zaniku zagrożenia możliwością rozwoju wielkich osuwisk, których efektem może być znaczna abrazja brzegu, zwłaszcza po zachodniej stronie cypla, w rejonie portu.

Autorzy zaprezentowali szczegółową mapę batymetryczną i mapę geomorfologiczną, zdjęcia dna wykonane systemem ROV TV, wybrane fragmenty zdjęcia sonarowego, a także wyniki profilowania sejsmicznego.

## **OSUWISKA JAKO ZAGROŻENIE DLA DZIEDZICTWA KULTUROWEGO**

Rafał ZAPŁATA

Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie, Wydział Nauk Historycznych i Społecznych, Instytut Historii Sztuki, Zakład Konserwacji Zabytków i Ochrony Krajobrazu; e-mail: rafalzaplata@poczta.onet.pl.

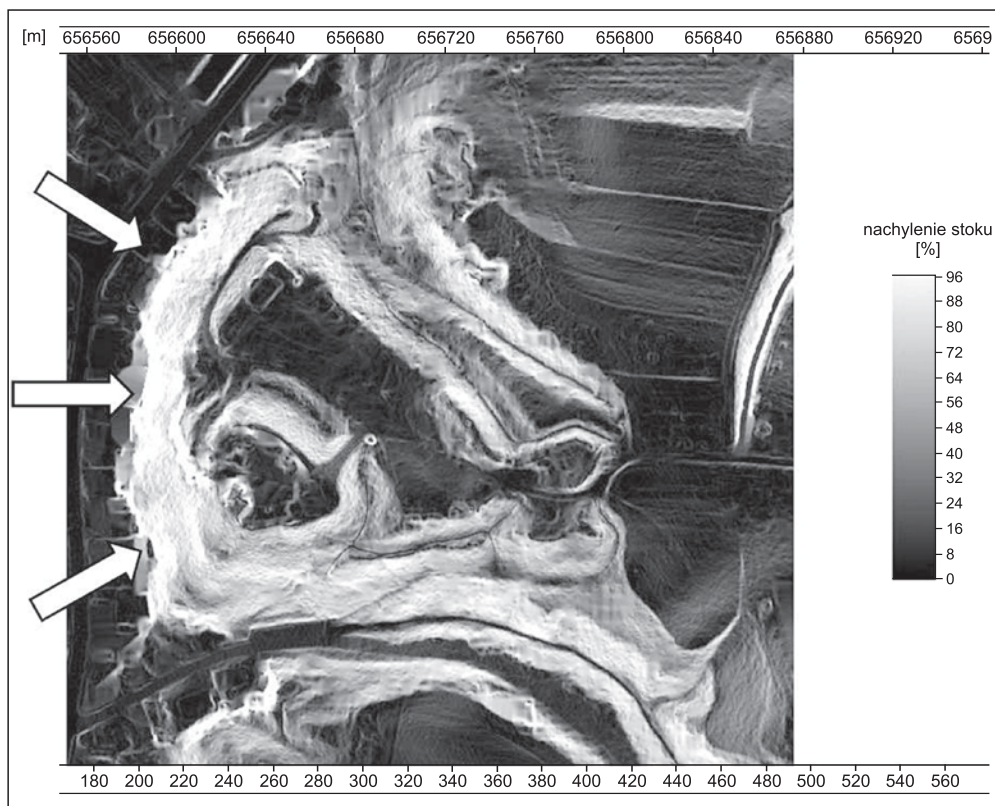
Dziedzictwo kulturowe jest narażone na działanie licznych procesów destrukcyjnych, do których zaliczają się także procesy osuwiskowe. Zarówno zabytkowa architektura i dziedzictwo przemysłowe, jak i obiekty archeologiczne są elementami, które wymagają podjęcia działań zabezpieczających, a zarazem analityczno-diagnostycznych. W ostatnich latach wsparciem w tych działaniach jest m.in. stosowanie technik teledetekcyjnych, a zwłaszcza lotniczego skanowania laserowego (ALS – *Airborne Laser*

*Scanning*) stwarzającego nowe możliwości ochrony zasobów zabytkowych. W trakcie prezentacji omówiono wybrane zagadnienia bezpośrednio związane z dziedzictwem kulturowym i procesami osuwiskowymi, przy czym nacisk położono na następujące problemy:

- osuwiska jako zagrożenie dla dziedzictwa architektonicznego, archeologicznego i przemysłowego;
- możliwości stosowania danych z ALS w ochronie zabytków w kontekście procesów osuwiskowych;
- monitorowanie procesów osuwiskowych jako element współczesnej strategii konserwatorskiej;
- zabezpieczanie osuwisk jako działania wymagające współpracy różnorodnych środowisk i instytucji oraz połączenia różnych dyscyplin.

Problematykę zagrożeń, jakie niosą za sobą procesy osuwiskowe w odniesieniu do zabytków, zilustrowano przykładami, opierającymi się na pomiarach laserowych oraz przetworzeniach geodanych. Przykładem tego typu problemów związanych z zabytkami i z ich najbliższym otoczeniem jest m.in. sytuacja wzgórza zamkowego oraz ruin zamku biskupów krakowskich w Iłży. Analiza ruchów osuwiskowych (fig. 1) stanowi przykład praktycznego zastosowania skanowania laserowego w badaniach i diagnostyce tego typu obiektów, dla których jednym z zagrożeń są właśnie postępujące procesy osuwiskowe (w tym przypadku zwłaszcza w odniesieniu do zachodniego i południowego stoku analizowanego wzniesienia; fig. 1).

Istotną częścią prezentacji było również przekrojowe omówienie specyfiki różnorodnych zabytków *in situ*, które znajdują się na terenie całej Polski i które są narażone na zniszczenie w wyniku działania procesów naturalnych. Dotychczasowe metody analizowania i przewidywania zjawisk destrukcyjnych, w tym ruchów osuwiskowych, a także liczne działania środowisk naukowo-konserwatorskich wobec ww. wyzwań były niestety dość często ograniczone, jeśli chodzi o dokładną ocenę zjawiska, korelację lokalizacji zabytków z istniejącym lub potencjalnym osuwiskiem itp. Dzięki technologii ALS sytuacja z dnia na dzień staje się korzystniejsza, a dziedzictwo kulturowe może być dokładniej monitorowane i analizowane, a tym samym lepiej chronione i zabezpieczane.



**Fig. 1. Iłża, województwo mazowieckie. Przykładowa wizualizacja przetworzonych danych z ALS z obszaru wzgórza zamkowego ukazująca stopień nachylenia terenu (jasne kolory – duże nachylenie zbocza, ciemne kolory – małe nachylenie)**

## **OBSERWACJE DOTYCZĄCE ROZWOJU OSUWISK SUBSEKWENTNYCH NA OBSZARZE MAGURSKIEGO PARKU NARODOWEGO (BESKID NISKI)**

Michał ZATORSKI

Uniwersytet Jagielloński; e-mail: [michal.zatorski@uj.edu.pl](mailto:michal.zatorski@uj.edu.pl).

Procesy osuwiskowe są powszechne w Karpatach fliszowych, a rozmieszczenie obszarów ich działania jest stosunkowo nierównomierne. Różnorodność tych procesów przysparzała geomorfologom i geologom wiele trudności, wynikających z braku możliwości ujęcia ich w uniwersalne ramy klasyfikacyjne (Kleczkowski, 1955; Ziętara, 1969; Bober, 1984; Margielewski, 2001, 2009). W 1955 r. Kleczkowski podjął próbę stworzenia klasyfikacji, która w przejrzysty sposób uwzględniałaby wszystkie najważniejsze formy ruchów masowych, a więc spływy, zsuwy i obrywy. W 1969 r. Ziętara wprowadził do literatury pojęcie zsuwu subsekwentnego (kierunek ruchu zgodny z biegiem warstw skalnych), a w 1984 r. Bober dokonał kompleksowego podziału przemieszczeń grawitacyjnych w zależności od kierunku zapadnia warstw skalnych względem kierunku ruchu.

Badania dotyczące uwarunkowań rozwoju osuwisk w Beskidzie Niskim podjął już w 1936 r. Teisseyre. Kontynuował je Bober (1984), który poddał analizie 50 osuwisk strukturalnych różnego typu występujących na obszarze środkowej części Beskidu Niskiego. Zarówno Teisseyre, jak i Bober łączyli powstawanie osuwisk ze zwiększoną dezintegracją skał, związaną z istnieniem licznych płaszczyzn nieciągłości w obrębie stoku. W wyniku współczesnych badań w Karpatach fliszowych stwierdzono, że „strukturalne założenia mają praktycznie wszystkie skalne osuwiska” (Margielewski, Urban, 2000; Margielewski, 2001). Poza niektórymi przypadkami nie są to jednak zsuwy strukturalne, a bardzo często raczej złożone z wielu typów przemieszczeń grawitacyjnych rozbudowane formy osuwiskowe (Margielewski, 2009). W wyniku inwentaryzacji form osuwiskowych na obszarze Magurskiego Parku Narodowego zaobserwowano występowanie rozbudowanych i rozwiniętych w pionie osuwisk subsekwentnych, związanych ze strefami uskokowymi. Obserwacji poddano dwa osuwiska położone w północnej i południowej części jednostki magurskiej na terenie parku. Wstępna analiza wykazała różnice w rozwoju rzeźby tych obszarów, w obu przypadkach doszło jednak do utworzenia wodnych geoekosystemów osuwiskowych warunkujących istnienie obszarów nadmiernie nawilgoconych, a nawet powstania stałych bądź okresowych jezior. W efekcie silnej anizotropii strukturalnej, a następnie blokowej dezintegracji, zdeterminowane zostały dalsze kierunki erozji. Do sformułowania wniosków dotyczących analizy morfotektonicznej oraz etapów transformacji stoku wykorzystano również zdjęcia z lotniczego skaningu laserowego.

Osuwisko w południowej części Magurskiego Parku Narodowego (rejon Huty Polańskiej) to przykład kaskadowego geoekosystemu jeziornego. Największe zagłębienie międzykoluwalne tworzy misę jeziorną stale wypełnioną wodą, z naturalnym odpływem w formie cieków. Na obszarze osuwiska zlokalizowano również trzy zagłębienia bezodpływowe na różnych wysokościach, stanowiące miejsca okresowego gromadzenia się wody oraz osadów organiczno-mineralnych. Kierunek ruchu tego osuwiska i klinowy kształt formy determinuje przede wszystkim powierzchnia uskokowa zlokalizowana wzdłuż jego południowo-zachodniej krawędzi. Wymusza ona również liniowy przebieg cieków, a zaklinowane i uszczelnione pakiety koluwalne wpływają na piętrowe położenie zagłębień sezonowo lub stale wypełnionych wodą. Wyniki inwentaryzacji drobnych struktur tektonicznych oraz analizy morfotektonicznej wskazują na ściśle uwarunkowania tektoniczne rozwoju tego osuwiska. Zlokalizowane w obrębie płaszczyzny uskokowej struktury świadczą o naprężeniach ścinających, a ich orientacja wyznacza lokalną płaszczyznę przemieszczenia skał. Analiza morfologiczna i korelacja form osuwiskowych wskazuje na przemieszczenie mieszane rotacyjno-translacyjne. Zostało ono zakończone gwałtownym przegrodzeniem osi doliny i spiętrzeniem wód potoku Hucianka. W efekcie powstał osuwiskowy zbiornik zaporowy, którego ślady widoczne są na równinie zalewowej, powyżej dawnego rygla osuwiskowego.

Osuwisko w północnej części Magurskiego Parku Narodowego (rejon Bednarki) to przykład rozbudowanej strefy osuwiskowej przypominającej dwa kliny przedzielone skalnym wałem rozszerzającym się ku górze. Południowy klin osuwiskowy ma dwie wewnętrzne skiby o przebiegu NE–SW (wzdłuż



osi podłużnej), które wyznaczają kierunki erozji i spływu wód. Poniżej znajduje się obszar stale nadmiernie nawilgocony (torfowisko niskie, młaki), ponad którym występują niewielkie nabrzmienia koluwalne. Cały ten obszar jest odwadniany przez dwa ciekі zasilające rzekę Bednarkę. Krawędź północnego klina osuwiskowego jest silnie przetransformowana przez wtórne obrywy. Podobnie jak w południowej części, obszar położony poniżej jest stale nadmiernie nawilgocony i zasila go ciek, który następnie rozciąga koluwia osuwiskowe. Ze względu na położenie obu części tej strefy osuwiskowej ok. 50 m nad główną doliną Bednarki oraz w wyniku intensywnego odpływu cieków większość drobnego materiału koluwalnego została wyniesiona.

## LITERATURA

- BOBER L., 1984 — Rejony osuwiskowe w polskich Karpatach fliszowych i ich związek z budową geologiczną. *Biul. Inst. Geol.*, **340**: 115–153.
- KLECZKOWSKI A., 1955 — Osuwiska i zjawiska pokrewne: 15–23, 59–85. Wydaw. Geol., Warszawa.
- MARGIELEWSKI W., 2001 — O strukturalnych uwarunkowaniach rozwoju głębokich osuwisk – implikacje do Karpat fliszowych. *Prz. Geol.*, **49**, 6: 515–524.
- MARGIELEWSKI W., 2009 — Typy przemieszczeń grawitacyjnych mas skalnych w obrębie form osuwiskowych polskich Karpat fliszowych. *Prz. Geol.*, **57**, 10: 905–917.
- MARGIELEWSKI W., URBAN J., 2000 — Charakter inicjacji ruchów masowych w Karpatach fliszowych na podstawie analizy strukturalnych uwarunkowań rozwoju wybranych jaskiń szczelinowych. *Prz. Geol.*, **48**, 3: 268–274.
- ZIĘTARA T., 1969 — W sprawie klasyfikacji osuwisk w Beskidach Zachodnich. *Stud. Geomorphol. Carpatho-Balcanica*, **3**: 111–127.



# POSTERY







## SZCZELINY, JASKINIE A ROZWÓJ OSUWISK W LIPOWICY (BESKID NISKI)

Waldemar BARDZIŃSKI, Ryszard CHYBIORZ, Ewa KUROWSKA

Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, Katedra Geologii Podstawowej; e-mail: waldemar.bardzinski@us.edu.pl, ryszard.chybiorz@us.edu.pl, ewa.kurowska@us.edu.pl.

Poza najstarszymi etapami powstawania osuwisk na wschodnim stoku góry Kielanówki w gminie Dukla (fig. 1), późniejsze etapy ich rozwoju są dość dobrze znane i opisane naukowo (Gerlach i in., 1958; Bober, 1977). Celem pracy jest przedstawienie zależności między cechami geometrycznymi, orientacją licznych (ponad 60) jaskiń niekrasowych (Pulina, 1998), szczelin, systemów spękań i rodzajem skał a rozwojem osuwisk. Osuwiska (nr 307 i 372) w obrębie terenu zagrożonego (nr 83) rozwinęły się na przedpolu nasunięcia dukielskiego w uławionych piaskowcach o różnej twardości, marglistych mułowcach z przeławieniami iłowców (oligocenckich warstw cergowskich i oligocenckich margli podcergowskich z rogowcami) fałdu Żmigrodu (płaszczowina śląska). Orientacja prostolinijnych odcinków korytarzy, ścian, jaskiń i szczelin w obrębie skalistego koluwium składającego się w przewadze z „kier” (Bober, 1977) i wielkich bloków skalnych jest zbliżona do orientacji zespołów ciosu w skałach podłoża otaczających osuwiska. Są to głównie kierunki: 40–45, 55–65, 125–145, 155–165° oraz słabiej

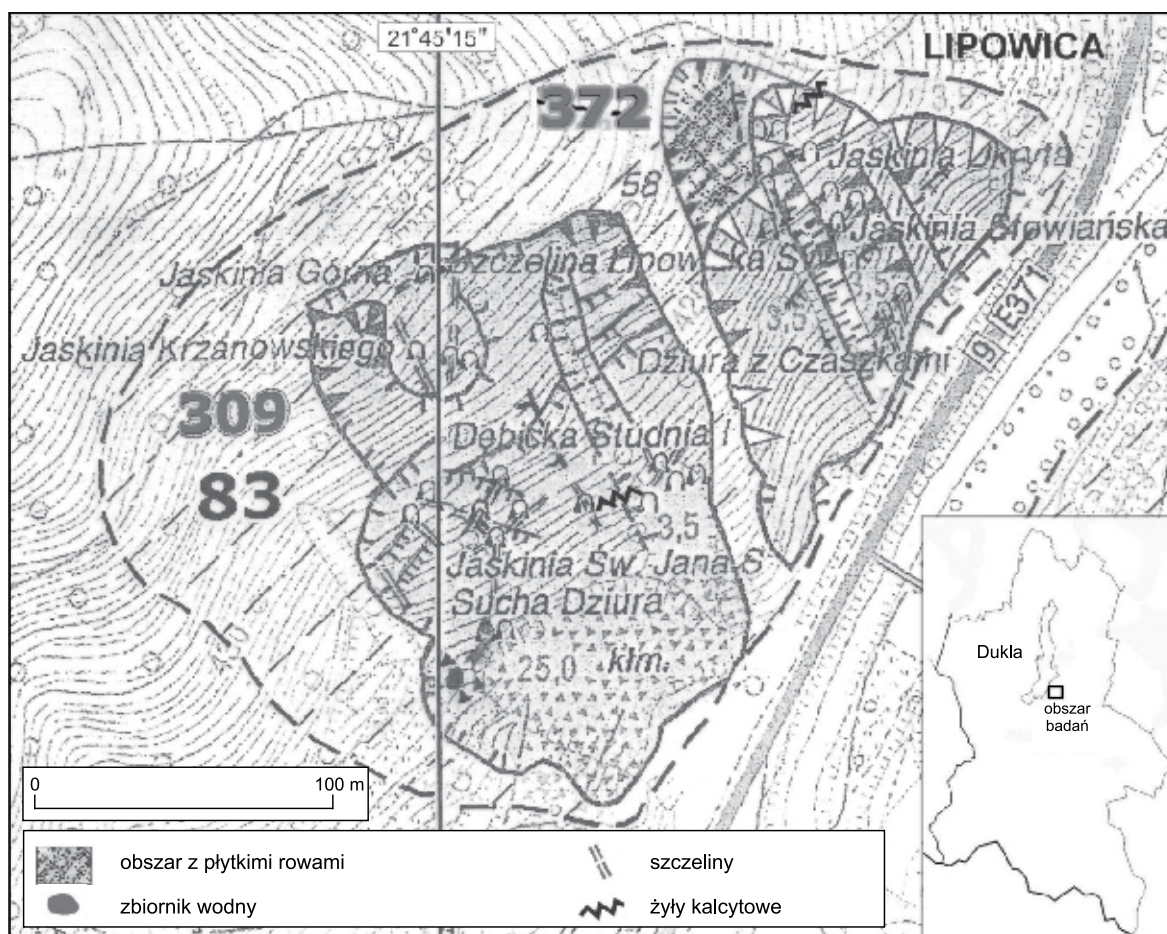


Fig. 1. Osuwiska na wschodnim stoku góry Kielanówki w Lipowicy

Pozostałe objaśnienia zgodnie z Grabowski i in., 2008

zaznaczające się w skałach podłoża kierunki południkowe i  $155\text{--}165^\circ$ . Udział kierunku równoleżnikowego w obu przypadkach jest podobny – kilkuprocentowy.

Można przypuszczać, że zgodność orientacji powierzchniowych elementów jaskiń i szczelin z ciosem skał na zewnątrz osuwiska byłaby mniejsza, gdyby możliwość obrotu osuwających się bloków podczas ruchu koluwium była większa.

Interesujący jest północny, nachylony pod kątem kilkunastu stopni ku ENE, fragment osuwiska wschodniego (nr 372, fig. 1), gdzie na względnie płaskiej powierzchni terenu zaznacza się system płytkich rowów (do kilku metrów głębokości i szerokości). Rowy niemal równoległe do poziomicy (o kierunku NNE–SSW) i wzajemnie do siebie przeważają tu nad krzyżującymi się z nimi rowami zorientowanymi w dół stoku, węższymi i słabiej wykształconymi. Często w dnach rowów widać odcinki szczelin. Ten górny fragment osuwiska w sprzyjających warunkach (np. przy długotrwałych opadach) może ulec kolejnym ruchom masowym. Nawet bez impulsu spustowego, jakim było podbieranie skał w nieczynnym już kamieniołomie, położonym w niższej części stoku.

## LITERATURA

- BOBER L., 1977 — Osuwiska województwa krośnieńskiego. W: Przewodnik XLIX Zjazdu PTG, 119–143. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- GERLACH T., POKORNY J., WOLNIK R., 1958 — Osuwisko w Lipowicy. *Czas. Geogr.*, **30**: 685–700.
- GRABOWSKI D., MARCINIEC P., MROZEK T., NESCIERUK P., RĄCZKOWSKI W., WÓJCIK A., ZIMNAL Z., 2008 — Instrukcja opracowania Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10 000. Państw. Inst. Geol. – PIB, Warszawa.
- PULINA M. (red.), 1998 — Jaskinie polskich Karpat fliszowych, **3**: 11–12, 68–152. PTPNoZ, Warszawa.

---

# ZESPOŁY DROBNYCH SZCZELIN I SKARP W POWIERZCHNIOWEJ WARSTWIE KOLUWIÓW NA PRZYKŁADZIE OSUWISKA NR 2621 W MILÓWCE (BESKID ŻYWIECKI)

Waldemar BARDZIŃSKI, Ewa KUROWSKA

Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, Katedra Geologii Podstawowej, Sosnowiec;  
e-mail: waldemar.bardzinski@us.edu.pl, ewa.kurowska@us.edu.pl.

Na początku września 2010 roku doszło do uruchomienia osuwiska w dolnej części południowo-zachodniego stoku Góry Prusów w Milówce. W wyniku osuwania się koluwium tego osuwiska, uznawanego przez ponad pół wieku za nieaktywne, zostały zniszczone zabudowania w przysiółku Siedloki oraz uległy zdeformowaniu obszary użytkowane rolniczo. Ruch osuwiskowy następował ku południowi, zgodnie z azymutem ok.  $200^\circ$ , począwszy od skarpy głównej, sięgającej 680 m n.p.m. U podnóża stoku koluwium czoła osuwiska przyblokowało Milowski Potok (557 m n.p.m.) oraz zniszczyło drogę. Osuwisko powstało w obrębie eoceńskich piaskowców i mułowców magurskich płaszczowiny magurskiej (w górnej części), nachylonych do  $30^\circ$  ku północnemu wschodowi oraz w obrębie cienko- i średnioławicowych piaskowców i łupków warstw hieroglifowych eocenu (w dolnej części). Górna część wschodniej skarpy bocznej wykazuje tendencję do cofania się, odsłaniając nieprzemieszczone skały podłoża, ich cienkie zwietrzliny oraz przykrywające je niezdeformowane deluwialne osady stokowe. Deluwia te są niewyraźnie laminowanymi, spoistymi utworami gliniasto-mułowo-piaszczystymi z nielicznymi gładzikami. Zachodnia skarpa boczna w górnej części ma południkowy przebieg, a w części dolnej jest progiem uformowanym przez nasuwające się koluwium.

Wewnątrzosuwiskowe, duże formy morfologiczne, jak skarpy wtórne, rowy i pagóry, zostały dobrze rozpoznane i scharakteryzowane w karcie dokumentacyjnej tego osuwiska. Wójcik i Nescieruk (2010)

stwierdzili system otwartych szczelin na całym osuwisku. Na niniejszym posterze skupiono się na skartowaniu i scharakteryzowaniu licznie występujących, mniejszych form rzeźby powierzchni osuwiska, takich jak szczeliny i drobne skarpy w koluwium. Rozwartość szczelin waha się od kilku do 50 cm (wyjątkowo do 2 m), długość – od kilku do maksymalnie 30 m. Przebieg szczelin najczęściej jest poprzeczny do kierunku ruchu koluwium, częściej nieco falisty w planie niż prostoliniowy. Szczeliny równoległe do ruchu koluwium są krótsze i mniej liczne. Szczeliny i drobne skarpy (do 0,5 m wysokości) mają współkształtny przebieg (zwłaszcza poprzeczne do ruchu osuwiska), są równoległe do siebie, występują w zespołach, choć obserwuje się także zjawisko przecinania się różnych zespołów szczelin o nieco innych azymutach przebiegu (różnicy do 30°). Wtedy tworzą się sieci szczelin o okach w planie rombów lub soczewkowatych. Wśród szczelin dominują takie, których ściany są pionowe, występują również zespoły szczelin o ścianach pochylonych w dół stoku pod kątem nie mniejszym niż 70°. Największa liczba szczelin występuje na stosunkowo połączonych częściach jezora osuwiskowego. Zarówno drobne skarpy, jak i szczeliny są także zlokalizowane w obrębie większych form morfologicznych (np. dużych rowów wewnątrz osuwiskowych), przy czym szczeliny są charakterystyczne dla bardziej wypłaszczonych części form wyższego rzędu, a skarpy (o wysokości max. 1,5 m, długości do 20 m) znajdują się na stromiej nachylonych częściach tych form.

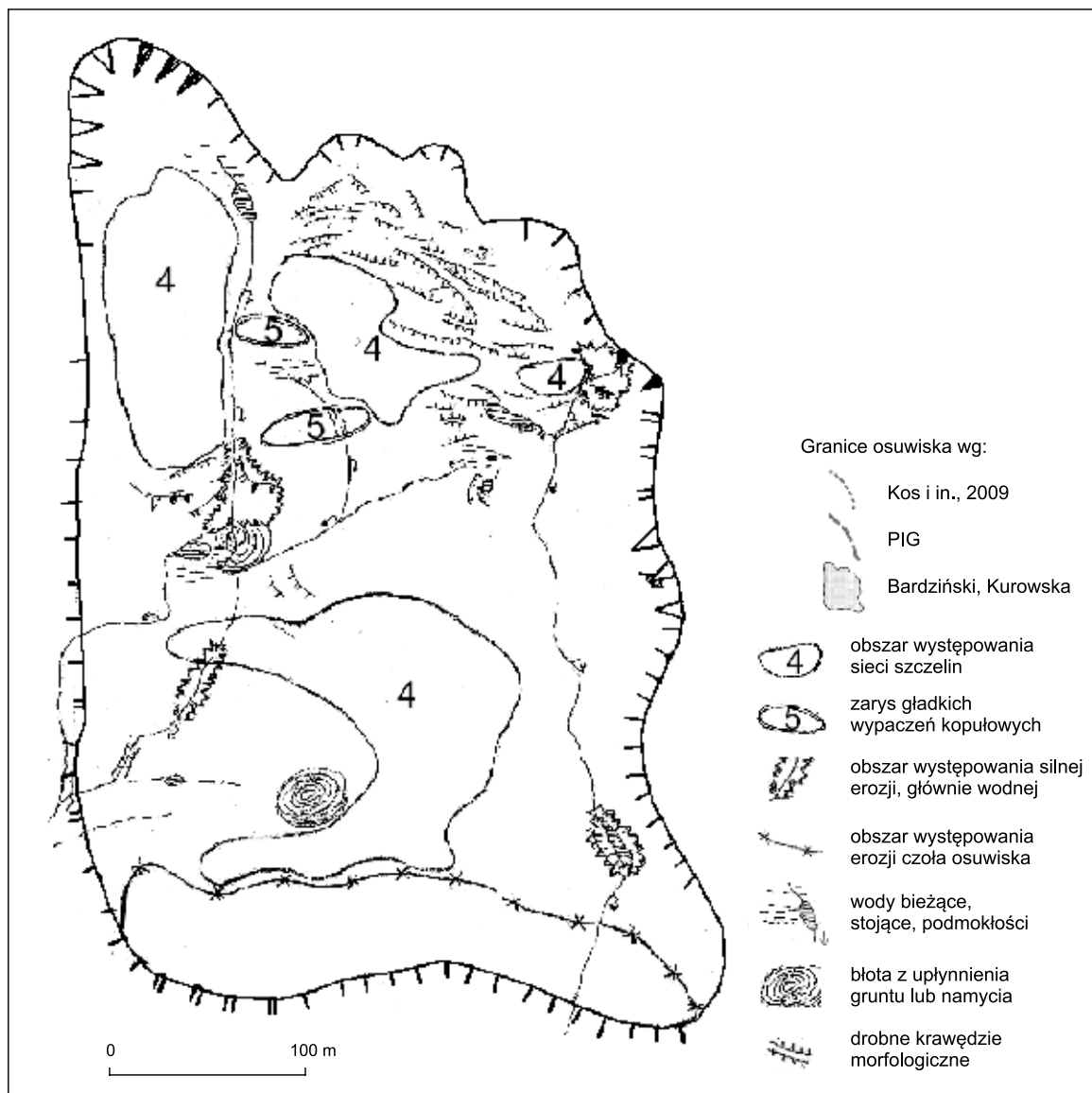


Fig. 1. Mapa osuwiska 2621 w Milówce

W niektórych szczelinach i rozcięciach erozyjnych można obserwować strukturę przypowierzchniowej warstwy koluwium. Dominuje w nim materiał gliniasto-piaszczysty z nielicznymi okruchami skalnymi. W sensie geologiczno-inżynierskim jest to grunt spoisty. Geofizyczne badanie tego osuwiska wykazało, że miąższość jego koluwiów rzadko przekracza 20 m i lokalnie mogą być trudności z określeniem rodzaju skał pod koluwium. Jednoznacznie określono „przypowierzchniową warstwę z otwartymi szczelinami”, będącą warstwą o wyraźnej charakterystyce geofizycznej (Ostrowski i in., 2014). Najprawdopodobniej odpowiada ona warstwie koluwium ilasto-piaszczystego, w którym dominuje drobnoziarnisty materiał silikoklastyczny, przed powstaniem osuwiska deponowany w dolnej partii stoku w postaci pokrywy deluwialnej. Z chwilą wystąpienia ruchów masowych w warstwie spoistych osadów stokowych, spoczywających na przemieszczającym się i deformującym koluwium detrytyczno-blokowym, powstają głównie szczeliny.

Systemy drobnych skarp i szczelin są strukturami nietrwałymi, zwłaszcza w miejscach silnie zawodnionych, gdzie łatwo ulegają namakaniu, upłynnianiu, spęływaniu i osuwaniu. W upłynnieniu gruntu duże znaczenie ma zamróz oraz opady. Stąd szczeliny osuwiskowe, które pierwotnie mogą mieć nawet kilka metrów głębokości, w krótkim czasie ulegają częściowemu zamykaniu i zablźnieniu. Odległości między kolejnymi szczelinami zależą zapewne od miąższości przypowierzchniowej warstwy spoistego koluwium.

## LITERATURA

- KOS J., CEMPURA Ł., SOKALSKI J., 2009 — Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10 000, gm. Miłówka, pow. żywiecki, woj. śląskie. Państw. Inst. Geol. – PIB, Warszawa.
- OSTROWSKI S., RYBAK-OSTROWSKA B., LASOCKI M., 2014 — Wykorzystanie przypowierzchniowych badań geofizycznych w rozpoznaniu budowy geologicznej na przykładzie stref osuwiskowych w Karpatach. *Prz. Geol.*, **61**, 1: 67–71.
- WÓJCIK A., NESCIERUK P., 2010 — Karta rejestracyjna osuwiska (numer ewidencyjny 24-17-092-1) w miejscowości Miłówka. Państw. Inst. Geol. – PIB, Oddz. Karpacki.

## WSKAŹNIK OSUWISKOWOŚCI NA OBSZARZE GMINY DUKŁA W BESKIDZIE NISKIM

Ryszard CHYBIORZ, Dominik JURA, Małgorzata MANOWSKA

Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, Katedra Geologii Podstawowej, Sosnowiec;  
e-mail: ryszard.chybiorz@us.edu.pl.

Analiza mapy osuwisk i terenów zagrożonych w skali 1:10 000 w gminie Dukła (235,14 km<sup>2</sup>) (geoportal SOPO) umożliwia zbadanie i ocenę podatności osuwiskowej. Celem opracowania jest charakterystyka zagrożenia osuwiskowego na podstawie wskaźników wybranych parametrów 743 osuwisk i 123 terenów zagrożonych. Osuwiska o zróżnicowanym wskaźniku osuwiskowości od kilku do ponad 10% grupują się głównie na stokach Beskidu Dukielskiego i na zboczach doliny rzeki Jasiołki (fig. 1).

Na stokach Dołów Jasielsko-Sanockich (północna część gminy Dukła) na powierzchni 60 km<sup>2</sup> występuje 200 (głównie nieaktywnych) małych (do 0,5 ha) i średnich (do 2,5 ha) osuwisk, rozwiniętych w zwietrzelinach i w obrębie piaskowców i łupków warstw krośnieńskich i menilitowych, występujących w serii i płaszczowinie śląskiej. Osuwiska powstały na stokach garbów antyklinalnych Bóbrki i Iwonicza. Te tereny (w przewadze zalesione i nieużytki) stwarzają niskie zagrożenie ruchami masowymi.

W Beskidzie Dukielskim na powierzchni 130 km<sup>2</sup> z wykartowanych około 500 osuwisk tylko 10% jest aktywnych. Na zachód od doliny Jasiołki, od Lipowicy po Tylawę występują wielkie osuwiska (do 36 ha) na podłożu piaskowców cergowskich (warstw menilitowych). Te subsekwentne osuwiska stanowią duże zagrożenie dla drogi „barwineckiej”. Północny stok Góry Cergowej (4 km<sup>2</sup>) odwzorowuje





**Fig. 1. Szkic geotopograficzny osuwisk (wg Lewandowski i in., 2013, Geoportal SOPO) na podłożu skał serii śląskiej, dukielskiej i magurskiej na obszarze gminy Dukla**

czoło płaszczowiny dukielskiej (fig. 1) i jest uformowany przez 13 osuwisk obsekwentnych (180 ha) z obrywami bloków piaskowców cergowskich i osypiskami rogowców menilitowych (osuwiskowość 45%). Na zachodnim stoku Cergowej osuwiska zagrażają m.in. projektowanej obwodnicy Dukli i zapory w dolinie Jasiołki. Na północnym stoku tej góry (15 km<sup>2</sup>) 45 wielkich osuwisk konsekwentnych zawiera bloki piaskowców cergowskich, rozdzielonych przez liczne szczeliny i jaskinie. Duże (do 36 ha) osuwiska stwierdzono na górze Piotruś. Jej zachodni stok stanowią subsekwentne osunięcia bloków piaskowców z Mszanki po łupkach warstw hieroglifowych, i tworzą rowy, szczeliny i jaskinie. Na stokach Działu i Krynianki (21 km<sup>2</sup>) występuje 60 osuwisk do 3 ha (osuwiskowość 9%). Te dukielskie stoki, po wycince nawet 100-letnich lasów bukowych i jodłowych, które je porastają, będą stanowić większe zagrożenie osuwiskowe. Na północny zachód od przełęczy Barwinek na wychodniach piaskowców i łupków serii magurskiej wykartowano 60 osuwisk o średniej wielkości, rozwiniętych w dolnych częściach stoków. Podatność osuwiskową zwiększają spękania i uskoki oraz deformacje fałdowo-nasunięciowe skał u czoła płaszczowiny magurskiej (fig. 1). Zagrożenie osuwiskowe w terenie zalesionym i nieużytkowanym rolniczo jest niskie.

## LITERATURA

LEWANDOWSKI J., BARDZIŃSKI W., CHYBIORZ R., JURA D., KUZAK R., MALIK K., 2013 — Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10 000, gm. DUKLA, pow. krośnieński, woj. podkarpackie. Państw. Inst. Geol. – PIB, Warszawa.

## ZASTOSOWANIE MODELI HYDROLOGICZNYCH DO WSPOMAGANIA OCENY ZAGROŻENIA OSUWISKOWEGO NA PRZYKŁADZIE WYBRANYCH STOKÓW POGÓRZA WIŚNICKIEGO

Piotr DEMCZUK<sup>1</sup>, Tymoteusz ZYDRON<sup>2</sup>, Mariusz SIŁUCH<sup>3</sup>, Mariusz KLIMEK<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Wydział Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej, Zakład Geomorfologii; e-mail: demczuk@poczta.umcs.lublin.pl.

<sup>2</sup> Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki; e-mail: tzydron@ar.krakow.pl.

<sup>3</sup> Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Wydział Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej, Pracownia Geoinformacji; e-mail: msiluch@poczta.umcs.lublin.pl.

<sup>4</sup> Uniwersytet Jagielloński w Krakowie, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Stacja Naukowa w Łazach; e-mail: lazyiguj@poczta.onet.pl.

Ruchy masowe stanowią jeden z podstawowych czynników przyczyniających się do przeobrażeń rzeźby terenu. W Polsce obszarem szczególnie narażonym na tego typu procesy są Karpaty zewnętrzne. Jednym z najważniejszych badań stoków osuwiskowych jest określenie wielkości progowych opadów odpowiedzialnych za uruchamianie osuwisk. Jak dowodzą wyniki wielu prac (m.in. Gil, 1997; Gil, Długosz, 2006; Guzzetti i in., 2007) określenie wielkości opadów progowych jest zadaniem złożonym, gdyż zależy od rodzaju utworów budujących dany stok, jego kształtu, użytkowania terenu, ale przede wszystkim od charakteru samego opadu.

Jedną z metod prognozowania ruchów masowych jest monitoring stoków zagrożonych powstawaniem osuwisk. Prototyp takiego systemu na skalę Polski zastosowano w Szymbarku k. Gorlic (Bednarczyk, 2010). System ten obejmuje m.in. ciągłe pomiary wahań poziomów zwierciadła wody gruntowej oraz wielkości przemieszczeń w kolumnach inklinometrycznych. Tego typu pomiary są kosztowne, a ich zastosowanie i interpretacja są często utrudnione ze względu na złożoną budowę geologiczną obszaru. Wydaje się, że najtańszym w zastosowaniu potencjalnym wskaźnikiem zagrożenia osuwiskowego jest mierzenie wielkości opadów atmosferycznych, które w połączeniu z wiedzą dotyczącą budowy

geologicznej, właściwościami geologiczno-inżynierskimi utworów oraz odpowiednimi narzędziami inżynierskimi (modele ośrodka gruntowego i skalnego) mogą stanowić ważny przyczynek do ustalenia krytycznych wielkości opadów zagrażających stateczności stoków.

Celem pracy jest określenie wielkości opadów progowych na podstawie modelowania stateczności dwóch stoków osuwiskowych z terenu Pogórza Wiśnickiego. Na potrzeby analizy wykorzystano dostępne dane opadowe ze stacji i posterunków meteorologicznych IMGW z okolic Pogórza Wiśnickiego z okresu ostatnich 30 lat. Na podstawie danych opadowych opracowano krzywe zależności skumulowanego opadu atmosferycznego do czasu jego trwania. Dane te wykorzystano do obliczeń przepływu wody w systemie stokowym, co umożliwiło określenie wpływu obiegu wody w pokrywach stokowych na rozkład ciśnienia porowego w gruncie i w dalszej konsekwencji na stateczność stoków. Do analiz wykorzystano pakiet GeoStudio Inc., a poszczególne analizy przeprowadzono z wykorzystaniem modułów Seep/W (przepływ wody w gruncie), Vadose/W (wpływ roślinności i temperatury powietrza na zmiany ciśnienia porowego) oraz Slope/W (obliczenia stateczności metodami równowagi granicznej). Zamierzeniem przeprowadzonych obliczeń było określenie czasu niezbędnego do reakcji gruntu pod wpływem czynników zewnętrznych (np. opad, pokrycie terenu), a także określenie skali oddziaływania tych czynników na zmniejszanie się współczynnika bezpieczeństwa. Obliczenia te miały na celu opracowanie zależności między sumą opadu a jego czasem trwania, co miało być podstawą do oceny zagrożenia osuwiskowego.

## LITERATURA

- BEDNARCZYK Z., 2010 — System mechatroniczny monitorowania i ostrzegania przed osuwiskami. *Gór. Odkryw.*, **51**, 6: 9–17.
- GIL E., 1997 — Meteorological and hydrological conditions of landslides in the Polish Flysch Carpathians, *Stud. Geomorph. Carpatho-Balcan.*, **31**: 143–158.
- GIL E., DŁUGOSZ M., 2006 — Threshold values of rainfalls triggering selected deep-seated landslides in the Polish Flysch Carpathians, *Stud. Geomorph. Carpatho-Balcan.*, **40**: 21–43.
- GUZZETTI F., PERUCCACCI S., ROSSI M., STARK C.P., 2007 — Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe. *Meteorol. Atmos. Phys.*, **98**: 239–267.

---

## OSUWISKO W DOLINIE SZKLARKI W SZYMBARKU, HISTORIA BADAŃ

Eugeniusz GIL<sup>1</sup>, Wojciech RĄCZKOWSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk, Zakład Badań Geośrodowiska, Stacja Naukowo-Badawcza w Szymbarku; e-mail: egil@onet.pl.

<sup>2</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, Kraków; e-mail: wojciech.raczkowski@pgi.gov.pl.

Osuwisko w dolinie Szklarki należy do dużych detruzywnych osuwisk typu złożonego. Jest położone na południowych stokach Maślanej Góry, na wysokości 340–725 m, ma długość ok. 2840 m i średnią szerokość ponad 500 m. Przy powierzchni poślizgu, położonej na głębokości ok. 20 m p.p. terenu, objętość przemieszczonego materiału koluwalnego przekracza 25 mln m<sup>3</sup> (Rączkowski, Zabuski, 2008). Osuwisko powstało w obrębie utworów płaszczowiny magurskiej: glaukonitowych piaskowców magurskich, pstrych łupków, piaskowców z Mutnego i warstw inoceramowych (Świdziński, 1946, 1973; Sikora, 1970; Bober, Oszczytko, 1973; Kopciowski i in., 2014). Badania przeprowadzone na innym osuwisku, położonym na północno-wschodnich stokach Maślanej Góry, wskazują przez analogię na jego holocenijski wiek (Wójcik i in., 2006).

Pierwsze wzmianki na temat omawianego osuwiska pochodzą z książki „Geografia albo dokładne opisanie królestw Galicyi i Lodomeryi” hr. Ewarysta Kuropatnickiego wydanej w 1786 r. w Przemyślu.

W charakterystyce miejscowości Szymbark znajdujemy opis, że „jest to miejscowość sławna uwięzioną górą z lasem, który pokruszony został w roku 1784 [...]”. Osuwisko to odnowiło się ponownie w 1913 roku (Pitułko, 1913), a w 1917 r. ukazała się jego monografia. Autor – Ludomir Sawicki – wykonał badania, plan osuwiska i jego przekroje, które służą jako materiał referencyjny do czasów współczesnych. W części wnioskowej opracowania (Sawicki, 1917) podkreślił, że osuwiska należą do „najpospolitszych zjawisk, do procesów w wysokim stopniu wpływających na krajobraz karpacki, a wyciskających na życiu górali wyraźne piętno [...]”. W obrębie czynników warunkujących powstanie osuwisk wyróżnił „petrograficzną i strukturalną predyspozycję”, a spośród warunków klimatycznych podkreślał, że warunki opadowe są ważniejsze od zmian innych elementów klimatu.

Dokładny opis uwarunkowań powstania osuwiska i jego rozwoju w latach 1913–1914 znajdujemy natomiast w *Liber Memorabilium ab anno 1903 – kronice parafii w Szymbarku*, spisanej przez księdza Ludwika Wachowicza (proboszcza parafii w Szymbarku w latach 1908–1958). W tamtejszej kronice parafialnej jest jeszcze jedna notatka o odnowieniu osuwiska pochodząca z 1962 r. Piszący kronikę zanotował: „na Szklarkach, Górkach, Bartniej Górze, Zalipiu powstały nowe osuwiska, przepowiadano, że powtórzy się rok 1913 – katastrofalny dla Szymbarku”. Kolejne ruchy „w górnej części nad jeziorkiem oraz na prawym zboczu doliny nieco poniżej głównego czoła osuwiska, jako nie bardzo znaczące przesunięcia” obserwował Gil w 1974 r.

Osuwisko w dolinie Szklarki nazwano później od nazwiska pierwszego jego badacza osuwiskiem Sawickiego. We wszystkich późniejszych opracowaniach na temat osuwisk w Karpatach praca Sawickiego należy do podstawowych cytowań.

O odnowieniu ruchu osuwiska w 1918 r. pisał też Adam Wójcik (1959), który dał jego geograficzny opis. W latach 1980–1990 pomiary monitoringowe ruchu osuwiska były prowadzone przez Wachę z Uniwersytetu Śląskiego. Soja w lipcu 1971 r. wykonał pomiar powierzchni, głębokości i objętości wody w jeziorze Morskie Oko na jeziorze osuwiska.

Osuwisko Sawickiego zostało wykartowane w ramach prac SOPO, gdzie w Bazie posiada numer 2 i jest zaznaczone na *Szczegółowej Mapie Geologicznej Polski w skali 1:50 000*, ark. Gorlice (Kopciowski i in., 2014).

Jak wskazują na to późniejsze badania dendrogeomorfologiczne prowadzone po 2000 r., osuwisko to dalej nie jest stabilne, a ruch występuje w różnych jego częściach (Krąpiec, Rączkowski, 2005; Krąpiec i in., 2008). Badania te są kontynuowane przez Nawrocką (2013) i Kiszkę (Kiszka i in., 2015). W zachodniej części osuwiska zanotowano niewielkie odnowienie jego ruchu po opadach w maju i czerwcu 2010 r.

W pracy z 2008 r. Rączkowski i Zabuski podkreślają, że zsuw całego zbocza po powierzchni poślizgu na głębokości kilkunastu lub więcej metrów jest mało prawdopodobny, a przy długotrwale panujących, ekstremalnie niekorzystnych warunkach atmosferycznych mogą się pojawiać zsuwy lokalne o długości nawet do kilkuset metrów. Deformacje w strefie przypowierzchniowej, które obserwuje się w czasie symulacji komputerowej, a których konsekwencją są odchylenia od pionu obiektów znajdujących się na powierzchni (drzewa, zabudowania) można ekstrapolować na procesy zachodzące w przeszłości.

Krąpiec i in. (2008) po przeprowadzeniu badań na próbie 132 drzew podają lata, w których dochodziło do ruchu mas koluwiów na tym osuwisku: 1951–53, 1965, 1971, 1977, 1986, 1988/89, 1996, 1997/98 i 2000–2002. Podkreślają, że w badaniach dendrogeomorfologicznych porównanie okresów rozejścia sekwencji dendrochronologicznych oraz okresów tworzenia drewna reakcyjnego pozwala na bardzo dokładne wyznaczenie początku reakcji drzew na przemieszczenie podłoża i wytrącenie pnia drzewa z pozycji pionowej, a zaprezentowane wyniki badań pokazują, że już nawet niewielkie przemieszczenie gruntu, rzędu kilkunastu cm, powoduje reakcję drzew. Na podstawie badań sformułowali wniosek, że wbrew obiegowym opiniom o znacznej stabilności stoków, większość z nich jest w stanie ruchu, szczególnie w latach wilgotnych.

## LITERATURA

BOBER L., OSZCZYPKO N., 1973 — On geological conditions of structural landslides occurrences in the Polish Flysch Carpathians. Proceedings of the Xth Congress CBGA, Sect. 3, Tectonics: 38–45.



- GIL E., 2014 — Ludomir Sawicki — „Osuwisko ziemne w Szymbarku...” — w stulecie badań procesów osuwiskowych w polskich Karpatach fliszowych. *Prz. Geol.*, **62**, 5: 232–233.
- KISZKA K., CEBULSKI J., TYSZKOWSKI S., 2015 — Rekonstrukcja ruchów masowych dla osuwisk wielkopowierzchniowych z zastosowaniem metody dendrogeomorfologicznej na przykładzie Osuwiska Sawickiego (Beskid Niski). Ogólnopolska konferencja O!suwisko, 19–22 maja 2015, Wieliczka. Materiały konferencyjne, 104.
- KOPCIOWSKI R., ZIMNAL Z., CHRZĄSTOWSKI J., JANKOWSKI L., SZYMAKOWSKA F., 2014 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Gorlice (1037). Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- KRAPIEC M., RĄCZKOWSKI W., 2005 — Dendrogeomorfologiczny monitoring ruchów osuwiskowych na obszarze Beskidu Niskiego. W: Współczesna ewolucja rzeźby Polski (A. Kotarba i in.). VII Zjazd Geomorfologów Polskich, Kraków 19–22 września 2005: 231–240.
- KRAPIEC M., DANEK M., GIL E., KŁUSEK M., RĄCZKOWSKI W., ZABUSKI L., 2008 — Monitoring dendrogeomorfologiczny osuwisk w Beskidzie Niskim. *Prace Komisji Paleogeografii Czwartorzędu PAU*, **6**: 173–184.
- KUROPATNICKI E.A., 1786 — Geografia, albo dokładne opisanie królestw Galicyi i Lodomeryi. Przemysł.
- NAWROCKA N., 2013 — Analiza dendrogeomorfologiczna drzew różnych gatunków z obszaru osuwiska „L. Sawickiego” w Szymbarku, Beskid Niski, Karpaty Zewnętrzne. *Folia Quaternaria*, **81**: 175–188.
- PITUŁKO L., 1913 — Osuwiska Szymbarskie koło Gorlic. *Wszechświat*, **32**, 51: 801–806.
- RĄCZKOWSKI W., ZABUSKI L., 2008 — Numeryczne modelowanie deformacji stoku osuwiskowego – Maślana Góra w Szymbarku koło Gorlic. *Geol. AGH*, **34**, 4: 733–742.
- SAWICKI L., 1917 — Osuwiska ziemne w Szymbarku i inne zsuwy powstałe w roku 1913 w Galicji zachodniej. *Rozprawy Wydziału Matematyczno-Przyrodniczego PAU*, **3**, 13: 227–313.
- SIKORA W., 1970 — Budowa geologiczna płaszczowiny magurskiej między Szymbarkiem Ruskim a Nawojową. *Biul. Inst. Geol.*, **235**: 5–121.
- ŚWIDZIŃSKI H., 1946 — Gazy ziemne w Bieśniku koło Gorlic. *Nafta*, **5**: 158–163.
- ŚWIDZIŃSKI H., 1973 — Budowa geologiczna i roponośność rejonu Szymbarku koło Gorlic. *Pr. Geol. Kom. Nauk. PAN*, **80**: 11–61.
- WÓJCIK A., 1959 — Osuwiska ziemi w Beskidzie Niskim i w Bieszczadach. *Wierchy*, **27**: 189–194.
- WÓJCIK A., MROZEK T., GRANOSZEWSKI W., 2006 — Lithological conditioning of landslides and climatic changes with example from Beskidy Mts., Western Carpathians, Poland. *Geografia Fisica Dinamica Quaternaria*, **29**: 197–209.

## OSUWISKO PRZY DRODZE POWIATOWEJ NR 1439 W MIEJSCOWOŚCI RAJCZA – METODY ROZPOZNANIA I OBLICZENIA STATECZNOŚCI

Krzysztof JAKUBCZYK, Wojciech SCHNABEL, Agata BEDNARSKA

Geokrak Sp. z o.o., Kraków; e-mail: krzysztof.jakubczyk@geokrak.pl, wojciech.schnabel@geokrak.pl, agata.bednarska@geokrak.pl.

W 2013 r. firma Geokrak przeprowadziła badania na terenie osuwiska w miejscowości Rajcza przy drodze powiatowej nr 1439 Kamesznica – Milówka – Rajcza – Ujsoły – granica państwa. Wynikiem prac było opracowanie dokumentacji geologiczno-inżynierskiej.

Osuwisko powstało wiosną 2013 r. i swym zasięgiem objęło głównie pokrywy gliniaste i rumosze, a osunięty materiał był akumulowany w postaci jezora na drodze powiatowej. Wraz z osuniętymi gruntami zostały przemieszczone drzewa. Osuwisko należy do płytkich – nie naruszyło podłoża fliszowego (Wójcik, 2013).

Badane osuwisko znajduje się na obszarze fliszowych Karpat zewnętrznych, w raczańskiej strefie fałdalnej jednostki magurskiej. Najstarszym wydzieleniem stratygraficznym na opisywanym terenie są utwory formacji piaskowców ze Szczawiny (kreda górna), których miąższość szacuje się na ok. 200 m. Powyżej zalega kompleks łupkowo-piaskowcowy o miąższości ok. 400 m formacji z Ropianki (kreda górna–paleocen) – dawniej warstwy inoceramowe (Burtan i in., 1956; Książkiewicz, 1972; Ryłko i in., 1990).

Rozpoznanie geologiczno-inżynierskie przeprowadzono za pomocą kartowania, wiercenia otworów geologiczno-inżynierskich oraz badań laboratoryjnych próbek gruntów i skał. Geometrię osuwiska

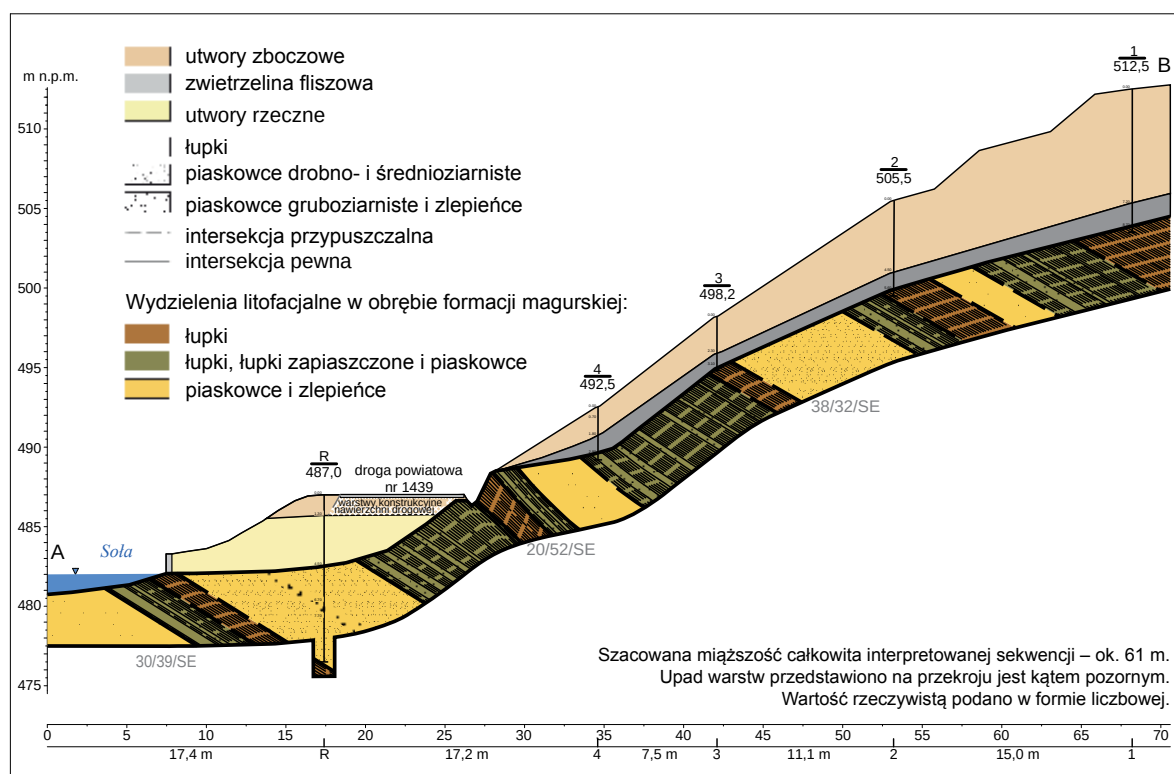
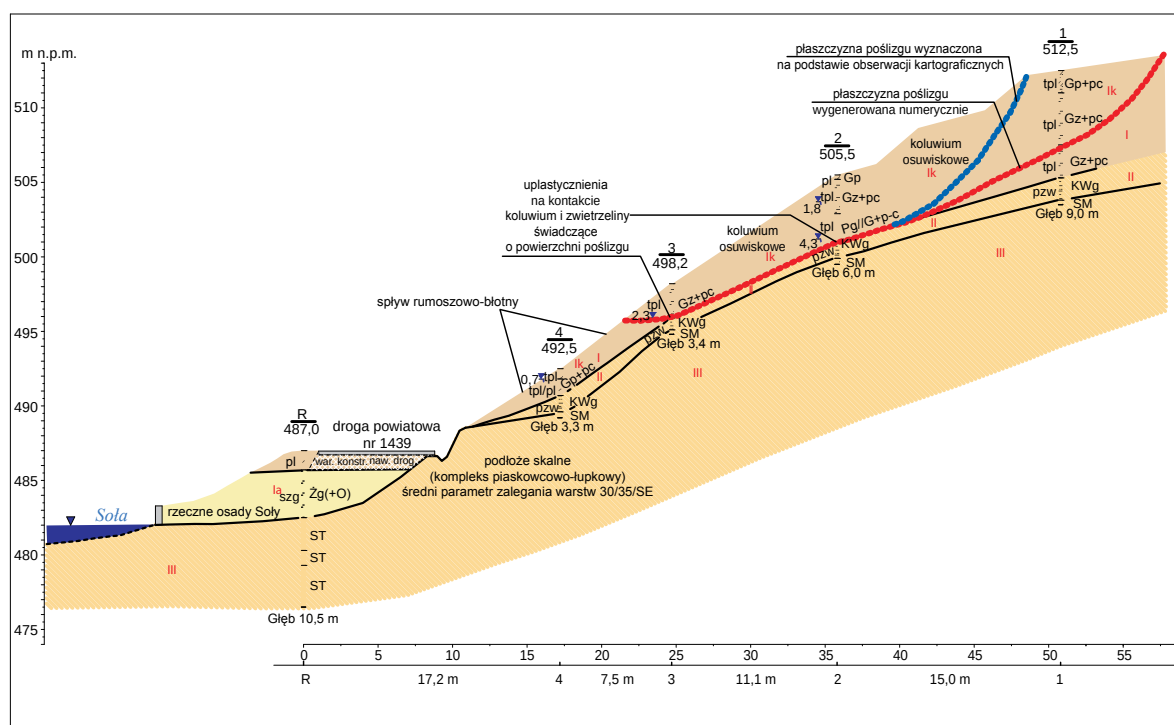


Fig. 1. Przekrój geologiczny poprzeczny do osuwiska

i jego otoczenia określono na podstawie mapy sytuacyjno-wysokościowej oraz karty rejestracyjnej osuwiska. W ramach prac terenowych wykonano 5 otworów o maksymalnej głębokości 10,5 m (Wójcik, 2013).

Osuwisko znajduje się na stoku wypukłym o nachyleniu  $18^\circ$  i o ekspozycji zachodniej. Rozpoczyna się wyraźną skarpą o wysokości do 2,5 m oraz wyraźnymi spękaniami sięgającymi spłaszczenia powyżej skarpy głównej. Podstawa osuwiska jest skierowana w stronę drogi powiatowej nr 1439 w Rajczy.

Osuwisko jest ciągle aktywne, o czym świadczą otwarte szczeliny, zwłaszcza w jego górnej części, przez co zagraża przebiegowi drogi powiatowej numer 1439 na odcinku około 30 m. Podłoże osuwiska (strefa uznana za nienaruszoną) stanowią utwory trzeciorzędowe – fliszowe utwory piaskowcowo łupkowe, w stropowej części silnie zwietrzałe. Materiał koluwalny tworzą głównie gliny i gliny związane z okruskami skalnymi. Stok w obrębie osuwiska pokrywają lasy i zarośla krzewiaste (Wójcik, 2013).

W podłożu gruntowym wydzielono następujące pakiety geotechniczne (fig. 1):

- pakiet geotechniczny I – czwartorzęd:
  - warstwa I – osady zboczowe (deluwialne),
  - warstwa Ik – osady koluwalne,
  - warstwa Ia – osady akumulacji rzecznej;
- pakiet geotechniczny II (grunty zwietrzelinowe) – trzeciorzęd;
- pakiet geotechniczny III (podłoże skalne) – trzeciorzęd.

Podziału na warstwy geotechniczne dokonano z uwzględnieniem wyników badań wytrzymałościowych gruntów i skał. Do obliczeń stateczności użyto programu Flac Slope 6.0. Analizę przeprowadzono w dwóch wariantach (Zabuski i in., 1999):

- wariant I – obliczenia całkowitych parametrów gruntowych, stwierdzonych podczas prac terenowych odpowiadających stopniowi plastyczności  $I_L=0,15$ ;
- wariant II – obliczenia parametrów rezydualnych przy obniżonej wytrzymałości gruntu wzdłuż pierwotnych powierzchni poślizgu; wariant ten modeluje również sytuację spadku wytrzymałości na ścinanie gruntów na zboczu spowodowane np. intensywnym nawodnieniem od wód infiltrujących w podłoże.

Obliczenia wariantu I wykazały, że przy aktualnych parametrach geometrii oraz obserwowanych parametrach warstw geotechnicznych stok jest stateczny z niewielkim zapasem. Wyznaczony współczynnik bezpieczeństwa  $F_{os}=1,21$ .

W wariantcie obliczeniowym II, uwzględniającym rezydualne parametry wytrzymałościowe gruntów, współczynnik bezpieczeństwa maleje –  $F_{os}=0,87$ .

Podstawowe wnioski z przeprowadzonych obliczeń oraz prac terenowych wskazują, że osuwisko występuje w centralnej części stoku i ma zasięg głębokościowy około 4–5 metrów. Wyniki obliczeń wskazują, że za podstawę osuwiska można uznać strop gruntów zwietrzelinowych.

Współczynnik bezpieczeństwa, uwzględniający rezydualne parametry wytrzymałościowe gruntów, wynosi  $F_{os}=0,87$ . Świadczy on o pierwotnej utracie stateczności zbocza oraz możliwości dalszej propagacji osuwiska w przypadku obniżenia się parametrów wytrzymałościowych gruntu.

Insekwentny charakter zapadania warstw, występowanie gruboławicowych piaskowców oraz licznych grubych pakietów fliszu z przewagą piaskowców mogą świadczyć, że podłoże skalne pozostało nienaruszone

Osuwisko jest możliwe do zabezpieczenia. W celu ochrony terenu i zapobiegnięcia dalszej propagacji osuwiska konstrukcje zabezpieczające powinny uwzględniać najgłębszą stwierdzoną powierzchnię poślizgu. Należy uwzględnić odwodnienie i zabezpieczyć zarówno główną bryłę osuwiska, jak i spływ błotny znajdujący się w dolnej części zbocza.

## LITERATURA

- BURTAN J., SOKOŁOWSKI S., SIKORA W., ŻYTKO K., 1956 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Milówka (M-34-87-A), Inst. Geol., Warszawa.
- DOKUMENTACJA geologiczno-inżynierska dla rozpoznania warunków geologiczno-inżynierskich na terenie osuwiska przy drodze powiatowej nr 1439, Geokrak Sp. z o.o.
- KSIAŻKIEWICZ M. (red.), 1972 — Budowa geologiczna Polski, tom. IV Tektonika, część 3 Karpaty; Wydawnictwo Geologiczne.
- RYŁKO W., ŻYTKO K., RĄCZKOWSKI W., WÓJCIK A., 1990 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Ujsoły (M-34-87-C), Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- WÓJCIK A., 2013 — Karta dokumentacyjna osuwiska wraz z opinią, nr ewidencyjny: 24 17 112.
- ZABUSKI L., THIEL K., BOBER L., 1999 — Osuwiska we fliszu Karpat Polskich. Geologia, modelowanie, obliczenia stateczności. IBW PAN.

## **ANALIZA WPLYWU DOKŁADNOŚCI ROZPOZNANIA GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIEGO NA OCENĘ STATECZNOŚCI SKARP I ZBOCZY NA TERENACH ZABURZONYCH GLACITEKTONICZNIE**

Mieczysław M. KANIA

Politechnika Poznańska, Instytut Inżynierii Lądowej, Zakład Geotechniki i Geologii Inżynierskiej;  
e-mail: mieczyslaw.kania@put.poznan.pl.

W wielu regionach zachodniej i centralnej Polski w podłożu gruntowym występują zaburzenia glacytektoniczne przejawiające się silnym sfałdowaniem pierwotnej powierzchni osadów neogenu. Szczególnie intensywnie ślady takich procesów są widoczne na obszarze ziemi lubuskiej. W wielu miejscach strop warstwy plioceńskich ilów serii poznańskiej jest tam pochylony pod kątem przekraczającym 40°, a nawet 70°. Na tak pochylonym stropie warstwy ilów, spoczywają osady czwartorzędowe w postaci gruntów gliniastych lub niespoistych.

Jedną z konsekwencji takiego układu warstw gruntów jest zróżnicowanie warunków infiltracji wód roztopowych i opadowych w podłożu, co skutkuje możliwością powstawania w strefie kontaktowej poszczególnych warstw, dodatkowych, cienkich przewarstwień gruntów o gorszej charakterystyce wytrzymałościowej. Budowa podłoża gruntowego sprzyja więc powstawaniu uprzywilejowanych powierzchni poślizgu i rozwoju procesów osuwiskowych w formie osuwisk konsekwentnych (zsuwów strukturalnych).

W przypadku budowy obiektów liniowych, na terenach z tego typu silnym zróżnicowaniem litologicznym podłoża, istotnym problemem jest ustalenie najbardziej niekorzystnych przekrojów obliczeniowych, dających najmniejsze wartości prognozowanych współczynników stateczności zboczy lub skarp. Poprawny wybór lokalizacji przekrojów zależy od dokładności rozpoznania budowy podłoża w badaniach terenowych. Przy silnych zaburzeniach glacytektonicznych, a w efekcie przy dużej przestrzennej zmienności budowy podłoża, nie jest to łatwe.

W referacie, na przykładzie głębokich wykopów liniowych w obrębie morenowego pasma Wału Zielonogórskiego, pokazano jak rozmieszczenie punktów badań (wierceń i sondowań o stopniowo zmniejszanych odległościach między kolejnymi punktami), wpływa na dokładność identyfikacji ukształtowania fałdów ilu. Pokazano również, jak obserwacja szaty roślinnej terenu (fitoindykacja), może wskazać miejsca wymagające dokładniejszego zbadania. Poddano także dyskusji problem rozpoznania obecności warstw osłabień strukturalnych. Zbudowano numeryczny model 3D terenu i podłoża, stanowiący podstawę do wygenerowania szeregu przekrojów obliczeniowych do analizy stateczności. W badanym terenie istniały aktywne osuwiska strukturalne. Na podstawie precyzyjnej inwentaryzacji położenia rzeczywistych powierzchni poślizgu, metodą wsteczną oszacowano parametry warstwy kontaktowej w przekrojach z potencjalnie możliwym wystąpieniem uprzywilejowanej powierzchni poślizgu w wydzieleniach strukturalnych.

Następnie dla poszczególnych przekrojów dokonano obliczeń stateczności metodą elementów skończonych (porównanie różnych metod obliczeniowych – Kania i in., 2009), uzyskując skrajnie zróżnicowane oceny zapasu bezpieczeństwa na długości analizowanych skarp. Wykazano istnienie ścisłej korelacji między lokalizacją miejsc z występującymi osuwiskami, a ukształtowaniem powierzchni fałdów glacytektonicznych, zidentyfikowanym dopiero po radykalnym zmniejszeniu odległości między punktami badań.

### **LITERATURA**

- KANIA M.M., FLORKIEWICZ A., DUDA A., 2009 — Metody obliczeniowe w analizie stateczności osuwisk strukturalnych, Mat. Seminarium „Problematyka osuwisk w budownictwie komunikacyjnym”, Zakopane, maj 2009, Zeszyty SITK RP Oddział w Krakowie, seria: Materiały i Konferencje, 144, 88: 133–152.



## MODEL POWSTANIA I ROZWOJU OSUWISKA NA PÓŁNOCNO-WSCHODNICH STOKACH LUBOGOSZCZY (BESKID WYSPOWY)

Renata KĘPIŃSKA

Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii; e-mail: r.kepinska@uw.edu.pl.

Znaczną część północno-wschodniego stoku góry Lubogoszcz (Beskid Wyspowy) zajmuje osuwisko o powierzchni 128,2 ha, co pozwala zaliczyć je do grona największych osuwisk karpackich. Zostało ono zaznaczone na wielu mapach, m.in. *Mapie geologicznej*, ark. Rabka (Świderski, 1953), *Szczegółowej Mapie Geologicznej Polski w skali 1:50 000*, ark. Mszana Dolna (Burtan, 1974) oraz najnowszej *Mapie osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi* (Rubinkiewicz i in., 2009). Charakteryzuje się ono nietypowym kształtem – prostoliniową skarpią główną oraz wyraźnie asymetryczną budową. We wschodniej części osuwiska występują duże, linijne formy rzeźby o znacznej rozciągłości, podczas gdy zachodnia część jest zbudowana głównie z owalnych, izolowanych form, przy jednoczesnym znacznym wzroście wysokości skarpy głównej od ok. 2 m w części wschodniej do ponad 50 m w części zachodniej. Badany obszar tektonicznie należy do północnego skrzydła synkliny Lubogoszczy (Burtan, 1974).

Przeprowadzone badania obejmowały: kartowanie geologiczne i geomorfologiczne, analizę strukturalną, interpretację cyfrowego modelu powierzchni terenu DEM oraz analizę form rzeźby wewnątrz-osuwiskowej. Na podstawie otrzymanych wyników stworzono model powstania i rozwoju badanego osuwiska, składający się z pięciu etapów obejmujących: (etap 0) – wpływ czynników biernych na powstanie i rozwój osuwiska; (1) – powstanie osuwiska, pierwszy ruch masowy; (2) – ruch rotacyjny wokół pionowej osi obrotu; (3) – drugi ruch masowy, odmłodzenie wschodniej części osuwiska, powstanie największej skarpy wtórnej; (4) – procesy erozyjno-denudacyjne, obecny wygląd osuwiska (Kępińska, 2013).

W wyniku badań sieci spękań ciosowych występujących w warstwach magurskich, odsłaniających się w obrębie skarpy głównej, zauważono zależność pomiędzy ciosem podłużnym L (118°) a azymutem rozciągłości skarpy głównej (105°). Kilkunastostopniowa różnica biegów nie pozwala jednoznacznie określić jednego ze spękań ciosowych jako klasycznej szczeliny inicjalnej. Najprawdopodobniej poprzez gęstą sieć spękań stabilność piaskowców została osłabiona i w sprzyjających warunkach doszło do przemieszczenia mas skalnych i powstania skarpy głównej wzdłuż ciosu podłużnego L.

Ponadto oszacowano wielkość przemieszczenia na ok. 500 m oraz zaobserwowano skrócenie biegów warstw podatnych łupków pstrych i warstw hieroglifowych odsłaniających się w potoku Ronosówka, które powstało najprawdopodobniej w wyniku przemieszczania się koluwiów.

### LITERATURA

- BURTAN J., 1974 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Mszana Dolna. Wyd. Geol., Warszawa.
- KĘPIŃSKA R., 2013 — Uwarunkowania geologiczne i geomorfologiczne powstania i rozwoju osuwiska na północno-wschodnich stokach Lubogoszczy w Beskidzie Wyspowym [pr. magister.]. Wyd. Geol. UW, Warszawa.
- RUBINKIEWICZ J., OZIMKOWSKI W., ŚMIGIELSKI M., KONON A., JUREWICZ E., KACZOROWSKI J., KLIMKIEWICZ D., LUDWINIAK M., SOBSTYLA., TOMASZCZYK M., 2009 — Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10 000, gmina Mszana Dolna. Państw. Inst. Geol. – PIB, Warszawa.
- ŚWIDERSKI B., 1953 — Mapa geologiczna w skali 1:50 000, ark. Rabka. Wyd. Geol., Warszawa.

## REKONSTRUKCJA RUCHÓW MASOWYCH DLA OSUWISK WIELKOPOWIERZCHNIOWYCH Z ZASTOSOWANIEM METODY DENDROGEOMORFOLOGICZNEJ NA PRZYKŁADZIE OSUWISKA SAWICKIEGO (BESKID NISKI)

Krzysztof KISZKA<sup>1</sup>, Jarosław CEBULSKI<sup>2</sup>, Sebastian TYSZKOWSKI<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk, Stacja Naukowo-Badawcza w Szymbarku; e-mail: kiskak@zg.pan.krakow.pl.

<sup>2</sup> Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk, Zakład Badań Geośrodowiska; e-mail: cebulski@zg.pan.krakow.pl.

<sup>3</sup> Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk, Zakład Zasobów Środowiska i Geozagrożeń; e-mail: sebtys@wp.pl.

Osuwisko Sawickiego (zwane również osuwiskiem Szklarki) jest jednym z największych osuwisk w Polsce (1,62 km<sup>2</sup>). W obrębie form osuwiskowych o dużej powierzchni przemieszczaniu może podlegać całe osuwisko, jednak często zsuwy mas skalno-zwietrzelinowych występują tylko w wybranych częściach osuwiska.

Osuwisko Sawickiego jest zlokalizowane na południowych stokach Maślanej Góry w Beskidzie Niskim (polskie Karpaty fliszowe), w obrębie górnego i środkowego odcinka doliny potoku Szklarki. Osuwisko powstało w holocenie i na skutek ekstremalnych opadów było cyklicznie odmładzane. Jest to osuwisko detruzywne typu złożonego, a objętość przemieszczanego materiału szacuje się na 25 mln m<sup>3</sup>. W podłożu występują utwory płaszczowiny magurskiej, składające się z piaskowców i łupków. Ponad 70% powierzchni osuwiska porasta las, którego skład gatunkowy charakteryzuje się piętrowością. W dolnych partiach dominują grab, brzoza i olsza, nieco wyżej przeważają sosny oraz modrzewie, natomiast najwyższe piętro porasta buczyna karpacka, w której skład wchodzi jodła i buk.

Celem badań jest próba rekonstrukcji ruchów masowych w obrębie osuwiska Sawickiego. Zastosowano metodę dendrogeomorfologiczną, która polega na analizie szerokości przyrostów rocznych drzew. W latach 2013–2014 za pomocą świdra przyrostowego pobrano rdzenie poprzeczne z drzew iglastych, rosnących w dolnej i środkowej części osuwiska. Z każdego drzewa pobierano rdzenie od strony dostkowej oraz odstokowej, w jednej osi, na wysokości piersnicy. Wybierano wyłącznie gatunki drzew iglastych: sosnę pospolitą (*Pinus sylvestris*) oraz jodłę zwyczajną (*Abies alba*). Następnie pod mikroskopem przymocowanym do stolika dendrochronologicznego zmierzono szerokości przyrostów rocznych (z dokładnością do 0,1 mm) i wykreślono krzywe dendrochronologiczne. Na podstawie różnic między krzywymi odpowiadającymi stronom dostkowej i odstokowej obliczono wskaźniki dekoncentryczności przyrostów rocznych, indeks dekoncentryczności oraz wskaźnik zmienności rocznej indeksu dekoncentryczności. Za ich pomocą wydatowano momenty aktywności całego osuwiska, jak i jego poszczególnych fragmentów. Analizie poddano również wyniki uzyskane dla poszczególnych gatunków drzew.

Okresy aktywności osuwiskowej następnie skorelowano z danymi opadowymi ze Stacji Naukowo-Badawczej IGiPZ PAN w Szymbarku. Wyniki pomiarów porównano z innymi badaniami dendrogeomorfologicznymi w obrębie osuwiska Sawickiego.

# AKTYWNOŚĆ PROCESÓW OSUWISKOWYCH W MASYWIE BABIEJ GÓRY W ŚWIEŁIE ANALIZ GEOMORFOLOGICZNYCH, DANYCH LIDAR ORAZ WYNIKÓW TESTU MŁOTKIEM SCHMIDTA

Piotr KŁAPYTA

Uniwersytet Jagielloński, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Kraków; e-mail: piotr.klapyta@uj.edu.pl.

Babia Góra (1725 m n.p.m.) stanowi najwyżej elewowaną część jednostki magurskiej i jednocześnie jeden z najbardziej złożonych obszarów osuwiskowych na terenie zachodnich Karpat fliszowych. Rzeźba północnych stoków tego masywu jest rezultatem uwarunkowanej strukturalnie wielofazowej i wielkoskalowej aktywności procesów osuwiskowych, czego rezultatem jest zespół głębokich nisz osuwiskowych i rozległych jezorów koluwalnych znajdujących się w piętrze leśnym i subalpejskim. Poznanie zasięgu przestrzennego i wzajemnych relacji form osuwiskowych na drodze klasycznego kartowania geomorfologicznego było dotychczas znacznie utrudnione przez rozległość form osuwiskowych oraz gęstą pokrywę roślinną (las, kosodrzewina). Zastosowanie wysokorozdzielczych danych pochodzących z lotniczego skaningu laserowego (LIDAR) pozwoliło po raz pierwszy na szczegółowe przestrzenne odwzorowanie powierzchni stoków Babiej Góry. Unikatową cechą skaningu laserowego jest możliwość przenikania impulsów laserowych przez pokrywę roślinną, w efekcie czego było możliwe skonstruowanie dokładnego numerycznego modelu rzeźby terenu pozbawionego pokrycia roślinnością i wiernie obrazującego nawet drobne formy mikrorzeźby.

Wiek form osuwiskowych na Babiej Górze szacowano do tej pory głównie na podstawie relacji geomorfologicznych (piętrowość form osuwiskowych, różnice w wielkości nisz). Minimalny wiek form

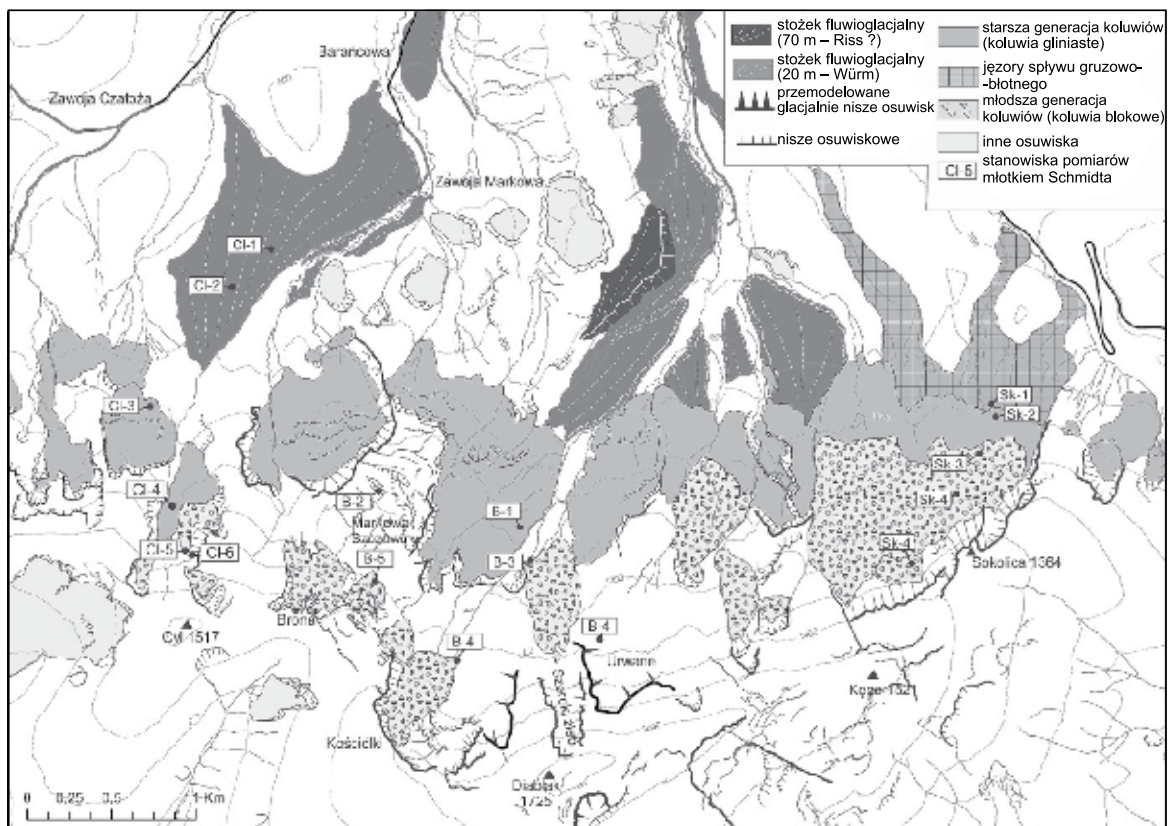


Fig. 1. Mapa geomorfologiczna północnych stoków Babiej Góry

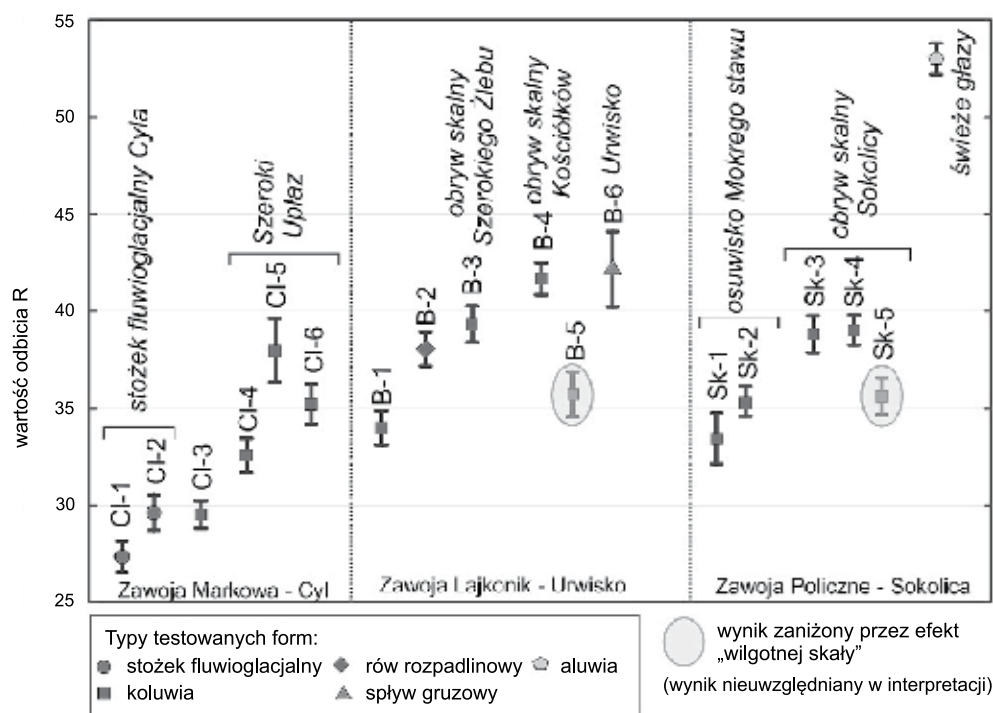


Fig. 2. Wyniki testu młotkiem Schmidta (lokalizacja stanowisk na figurze 1)

osuwiskowych określano także na podstawie badań palinologicznych torfowisk, wiążąc go z atlantycką fazą holocenu (Trela, 1929). W niniejszych badaniach do określenia relacji wiekowych zastosowano test młotkiem Schmidta. Pomiary wykonano w trzech transektach obejmujących północne podnóża i stoki Cyla, Diablaka i Sokolicy (fig. 1). Znaczny udział głazów i bloków skalnych (o średniej długości osi  $a=0,5-0,6$  m) w strukturze pokryw koluwalnych Babiej Góry umożliwił aplikację tej metody do określenia względnego wieku form osuwiskowych na podstawie różnic w ich stopniu zwietrzenia. Wartości stopnia zwietrzenia są wyrażone w postaci współczynnika odbicia  $R$  (*rebound value*), który dla niezwiędzających powierzchni piaskowców magurskich wynosi  $R=52-53$  (fig. 2). Wartość współczynnika  $R$  maleje wraz ze wzrostem stopnia zwietrzenia danej powierzchni skalnej spowodowanym dłuższym czasem ekspozycji na wietrzenie.

Najstarsze formy na północnych stokach Babiej Góry stanowią dwie generacje stożków fluwioglacjalnych zbudowanych z osadów żwirowo-piaszczystych (fig. 1, 2). Starsza generacja żwirów buduje częściowo zdegradowany stożek Sulowej Cyrhli (70 m wys. względnej), młodsza ( $R=27-29$ ), tworzy dwa rozległe stożki Markowej i Słonowa, przechodzące niżej w poziom terasy z ostatniego zlodowacenia (20 m wys. względnej). Formy te były tworzone najprawdopodobniej podczas lokalnego zlodowacenia Babiej Góry podczas odpowiednio przedostatniego (Riss) i ostatniego glaciału (Würm).

Młodszy kompleks form Babiej Góry stanowi zespół osuwisk tworzących dwa piętra wysokościowe (900–1200 i 1300–1600 m) i dwie generacje wiekowe (fig. 1, 2). Starsza generacja osuwisk ( $R=30-35$ ) złożona z gliniasto-piaszczystych koluwiów uformowała się w obrębie lejów źródłiskowych. Młodszy zespół ( $R=39$ ) tworzą głębokie osuwiska i obrywy skalne modelujące najwyższą część stoków Babiej Góry. Jęzory tych osuwisk są zbudowane z grubofrakcyjnego materiału typu *open work*. W stosunku do wcześniejszych badań (Alexandrowicz, 1978) nie znaleziono dowodów geomorfologicznych na pojedynczy katastrofalny obryw skalny na północnych stokach Babiej Góry. Wstępne wyniki badań wskazują, że formy osuwiskowe na Babiej Górze są młodsze od form glacialnych, co potwierdza wcześniejsze poglądy Książkiewicza (1963) i Wójcika i in. (2010).

**Podziękowania.** Badania prowadzono w ramach projektu FORECOM (*Forest cover changes in mountainous regions – drivers, trajectories and implications*, PSRP-008/2010), finansowanego przez grant szwajcarski (*Swiss contribution*).

## LITERATURA

- ALEXANDROWICZ S.W., 1978 — The northern slope of Babia Góra Mt. as huge rock slump. *Stud. Geomorph. Carpatho-Balkan.*, **12**: 131–148.
- KSIĄŻKIEWICZ M., 1963 — Zarys geologii Babiej Góry. Zakł. Ochr. Przyr. PAN, **22**: 69–87.
- TRELA J., 1929 — Wahania górnej granicy lasu na Babiej Górze. *Acta Soc. Botan. Pol.*, **6**, 2.
- WÓJCIK A., RĄCZKOWSKI W., MROZEK T., NESCIERUK P., MARCINIEC P., ZIMNAL Z., 2010 — Babiogórski Park Narodowy. Mapa geologiczno-turystyczna 1:13 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.

## IDENTYFIKACJA FORM OSUWISKOWYCH NA PODSTAWIE DANYCH LIDAR – WYBRANE PRZYKŁADY Z SUDETÓW ŚRODKOWYCH I ZACHODNICH

Piotr MIGOŃ, Milena RÓŻYCKA, Aleksandra MICHNIEWICZ, Marek KASPRZAK

Uniwersytet Wrocławski, Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego; e-mail: piotr.migon@uni.wroc.pl, milena.rozycka@uni.wroc.pl, aleksandra.michniewicz@uni.wroc.pl, marek.kasprzak@uni.wroc.pl.

Sudety, przynajmniej w części polskiej, były przez długi czas uważane za obszar, w którym osuwisk jest niewiele, a zagrożenie osuwiskowe praktycznie nie występuje. Osuwisko z 1598 r. w przełomie Nysy Kłodzkiej koło Barda było przedstawiane jako jedyne większe zdarzenie tego typu w okresie historycznym. Na arkuszach *Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów w skali 1:25 000* oznaczenia osuwisk były nieliczne. Identyfikacji rzeźby osuwiskowej w terenie nie sprzyjało zalesienie stoków i mała dokładność dostępnych map topograficznych. Nowe perspektywy w zakresie identyfikacji form osuwiskowych stworzyło udostępnienie danych wysokościowych o rozdzielczości rzędu  $1 \times 1$  m, pochodzących z lotniczego skaningu laserowego (LIDAR). Na cieniowanych modelach reliefu i mapach przedstawiających różne parametry geomorfometryczne (nachylenia stoku, krzywizna, szorstkość powierzchni, wskaźniki wilgotności) wyraźnie ujawnia się odrębność niektórych fragmentów powierzchni stokowej, a układ przestrzenny form odpowiada różnym typom osuwisk opisywanych w literaturze. Dzięki danym LIDAR było możliwe uściślenie rozmieszczenia i zasięgu znanych wcześniej osuwisk w Górach Kamiennych (Migoń i in., 2014) oraz rozpoznanie nieznanych wcześniej osuwisk w Górach Stołowych (Migoń, Kasprzak, 2011).

Obecność form rzeźby stoku wskazującej na występowanie osuwisk stwierdzono także w Górach Bystrzyckich, Górach Wałbrzyskich, Obniżeniu Noworudzkim (Wzgórza Wyrębińskie) i na Pogórzu Kaczawskim w okolicach Złotoryi. Osuwiska objęły przeważnie stoki zbudowane ze skał osadowych oraz wulkanicznych zalegających na skałach osadowych (Góry Wałbrzyskie), sporadycznie stoki zbudowane ze skał metamorficznych (Pogórze Kaczawskie). Największe z rozpoznanych osuwisk zajmuje powierzchnię ponad 40 ha, a najdłuższe ma blisko 1 km długości. Wybrane parametry morfometryczne obszarów o cechach rzeźby osuwiskowej przedstawiono w tabeli 1.

**Tab. 1. Charakterystyka morfometryczna obszarów wykazujących cechy rzeźby osuwiskowej**

| Lp.              | Osuwisko        | Powierzchnia<br>[ha] | Długość<br>max.<br>(L) [m] | Szerokość<br>max.<br>(W) [m] | L/W  | Wysokość<br>względna<br>(H) [m] | Średnie<br>nachylenie<br>stoku [°] |
|------------------|-----------------|----------------------|----------------------------|------------------------------|------|---------------------------------|------------------------------------|
| Góry Wałbrzyskie |                 |                      |                            |                              |      |                                 |                                    |
| 1                | Jałowiec Mały 1 | 12                   | 443                        | 321                          | 1,38 | 148                             | 32                                 |
| 2                | Jałowiec Mały 2 | 4                    | 379                        | 139                          | 2,72 | 168                             | 25                                 |
| 3                | Małosz          | 3                    | 324                        | 161                          | 2,01 | 113                             | 28                                 |



Tab. 1 cd.

| Lp.                                         | Osuwisko     | Powierzchnia [ha] | Długość max. (L) [m] | Szerokość max. (W) [m] | L/W  | Wysokość względna (H) [m] | Średnie nachylenie stoku [°] |
|---------------------------------------------|--------------|-------------------|----------------------|------------------------|------|---------------------------|------------------------------|
| 4                                           | Sucha 1      | 5                 | 336                  | 210                    | 1,6  | 131                       | 30                           |
| 5                                           | Sucha 2      | 2                 | 275                  | 102                    | 2,7  | 111                       | 25                           |
| 6                                           | Borowa       | 5                 | 352                  | 145                    | 2,42 | 89                        | 15                           |
| Pogórze Kaczawskie                          |              |                   |                      |                        |      |                           |                              |
| 7                                           | Złotoryja    | 4                 | 195                  | 280                    | 0,7  | 77                        | 23                           |
| Góry Bystrzyckie                            |              |                   |                      |                        |      |                           |                              |
| 8                                           | Jagodna      | 28                | 917                  | 598                    | 1,53 | 140                       | 10                           |
| 9                                           | Toczek N     | 10                | 364                  | 410                    | 0,89 | 115                       | 24                           |
| 10                                          | Toczek E     | 43                | 751                  | 765                    | 0,98 | 182                       | 20                           |
| 11                                          | Toczek S     | 12                | 756                  | 305                    | 2,48 | 146                       | 14                           |
| 12                                          | Złota        | 5                 | 213                  | 324                    | 0,66 | 90                        | 30                           |
| Obniżenie Noworudzkie – Wzgórza Wyrębińskie |              |                   |                      |                        |      |                           |                              |
| 13                                          | Sowi Potok 1 | 17                | 490                  | 442                    | 1,11 | 106                       | 18                           |
| 14                                          | Sowi Potok 2 | 6                 | 550                  | 150                    | 3,66 | 125                       | 13                           |
| 15                                          | Sowi Potok 3 | 2                 | 315                  | 104                    | 3,03 | 57                        | 15                           |

Zarówno układ przestrzenny form rzeźby stoku, jak i wtórny parametr L/W, często wykorzystywany w klasyfikacji osuwisk, wskazują na różny charakter ruchów masowych. Część rozpoznanych form cechuje się bardzo wysokimi wartościami L/W (powyżej 2,4), typowymi dla przemieszczeń typu spływowego (*flowslide*, *mudflow*). Niektóre z nich objęły stoki o niewielkim średnim nachyleniu, rzędu 10–15°. Bardzo niskie wartości wskaźnika L/W są związane z osuwiskami rotacyjnymi (Złota, osuwisko w dolinie Kaczawy koło Złotoryi). Dalsze badania obejmą w pierwszej kolejności terenowe kartowanie geomorfologiczne form rozpoznanych na cyfrowych modelach, a następnie badania geofizyczne.

## LITERATURA

- 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 obszarów objętych osuwiskami w Górach Kamiennych (Sudety Środkowe) – porównanie map geologicznych i cyfrowego modelu wysokości z danych LiDAR. *Prz. Geol.*, **62**, 9: 463–471.

## PRZYDATNOŚĆ BADAŃ GEOMORFOLOGICZNYCH W PROJEKTOWANIU ZABEZPIECZEŃ OSUWISK KARPACKICH (NA PRZYKŁADZIE OSUWISKA W TYMBARKU)

Jacek MUCHA

Uniwersytet Jagielloński w Krakowie, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Zakład Geomorfologii;  
e-mail: jacekmucha91@gmail.com.

Południowa część Polski znajdująca się w granicach Karpat fliszowych charakteryzuje się częstym występowaniem osuwisk. Według szacunków Państwowego Instytutu Geologicznego (Chowaniec,

Wójcik, 2012) ich liczba może wynosić ok. 50 000. W związku z licznymi przypadkami zniszczeń m.in. zabudowy oraz infrastruktury komunikacyjnej wywołanych przez procesy osuwania, podejmuje się różnorodne działania mające na celu stabilizację stoków osuwiskowych. W zależności od znaczenia danego miejsca działania zabezpieczające są prowadzone na mniejszą lub większą skalę. Polegają one głównie na usztywnianiu lub sztucznym podtrzymywaniu fragmentu stoku. Skuteczność zastosowanych rozwiązań technicznych jest, jak wskazuje praktyka, bardzo różna, co często wynika z ograniczonych funduszy lub niewystarczającego rozpoznania lokalnych czynników uaktywniających procesy osuwiskowe na konkretnym obszarze.

Przedstawiony na posterze przykład z centrum miejscowości Tymbark w Beskidzie Wyspowym (pow. limanowski) to osuwisko konsekwentno-zwietrzelinowe wykształcone na zboczu doliny Łososiny. Powierzchnia osuwiska wynosi ok. 4,5 ha, uaktywniało się ono w 1997 r. oraz latach 2000–2003. W ramach realizacji projektu SOPO jest prowadzony stały monitoring jego aktywności, ponieważ stwarza ono bezpośrednie zagrożenie dla drogi powiatowej 1632 K przebiegającej przez jego niszę oraz zabudowy ścisłego centrum miejscowości. W celu zlikwidowania niebezpieczeństwa zdecydowano się na wprowadzenie zabezpieczeń konstrukcyjnych w postaci systemu mikropali iniekcyjnych zainstalowanych pod powierzchnią drogi oraz wgłębnego drenażu przyporami filtracyjnymi typu francuskiego i drenażu powierzchniowego na pozostałej części osuwiska. Prace te były prowadzone wg projektu P.U.H PROJECT Kraków z 2005 roku (Salawa, 2005). Mimo pojawiających się nowych, nieznacznych zniekształceń powierzchni drogi na wschodniej granicy niszy osuwiska oraz zniszczenia przez erozję boczną rzeki sączka jednej z przypór, wykonane prace konstrukcyjne należy uznać za przykład skutecznych działań zabezpieczających.

Problem opisywanego osuwiska rozwiązano niewątpliwie w sposób przemyślany, jednak głębsza analiza lokalizacji tej formy w zlewni Łososiny z punktu widzenia geomorfologii wskazuje, że te same problemy mogą wystąpić w przyszłości, jeżeli nie weźmie się pod uwagę procesów działających bezpośrednio w otoczeniu osuwiska. Zabezpieczenia konstrukcyjne są bowiem stosowane miejscowo i nie mogą skutecznie przekształcić funkcjonowania całego systemu dna doliny. Przyczyną powstania osuwiska w Tymbarku była niewątpliwie erozja boczna Łososiny. Jej koryto na odcinku od pierwszego wyraźnego, wyżej położonego zakola do osuwiska ma wskaźnik rozwinięcia równy 1,04 przy długości odcinka 1,8 km, tj. przebiega przez długi odcinek prawie prostolinijnie, a przy osuwisku wykonuje zwrot na północ o prawie 90°. Siła erozyjna rzeki jest skierowana dokładnie pod zbocze, na którym usytuowane jest osuwisko. Zmiana biegu koryta jest uwarunkowana występowaniem w tym miejscu bardziej odpornych niż w wyższej części doliny łupków z wkładkami piaskowców warstw podmagurskich (Burtan, Skoczylas-Ciszewska, 1964; Salawa, 2005). W miejscu przyłożenia siły erozji bocznej udokumentowano przez szczegółowe kartowanie geomorfologiczne odmładzanie osuwiska i wspomniane niszczenie konstrukcji drenażowych. Działanie tych procesów potwierdzono także badaniami inklinometrycznymi prowadzonymi przez PIG (dane niepublikowane). Aby ograniczyć w przyszłości wzrost aktywności omawianego osuwiska w Tymbarku, należałoby przekształcić dno doliny powyżej i na odcinku kontaktu przez wprowadzenie sztucznego bystrza i odsunięcie koryta rzeki od zbocza osuwiskowego. Zaproponowane działania pozwolą na zniwelowanie głównej przyczyny uaktywniania się (odmładzania) tego osuwiska.

## LITERATURA

- BURTAN J., SKOCZYLAS-CISZEWSKA K., 1964 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. M-34-77 D (Limanowa), Inst. Geol., Warszawa
- CHOWANIEC J., WÓJCIK A. (red.), 2012 — Osuwiska w Województwie Małopolskim, atlas – przewodnik. Departament Środowiska, Rolnictwa i Geodezji Urzędu Marszałkowskiego Województwa Małopolskiego, Zespół Geologii, Kraków.
- SALAWA J., 2005 — Projekt techniczny budowy zabezpieczenia osuwiska nr 9 w ciągu drogi powiatowej Tymbark–Grabie nr 25 212, odcinek w Tymbarku HM 0+15.84 – 1+40.72, P.U.H. Project, Kraków.

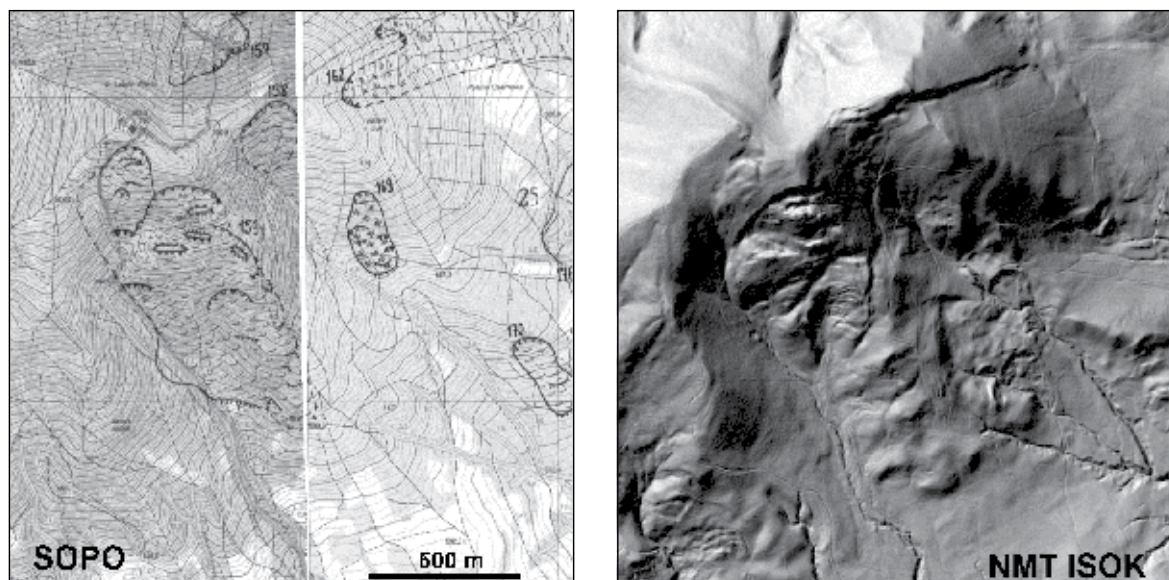
## OSUWISKO NA LUBONIU WIELKIM – PORÓWNANIE WYNIKÓW KLASYCZNEGO KARTOWANIA Z ANALIZĄ NMT

Wojciech OZIMKOWSKI

Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii; e-mail: wojciech.ozimkowski@uw.edu.pl.

Osuwisko na południowych stokach Lubonia Wielkiego, znane z pięknych form wewnątrzsuwiskowych i gołoborza, od dawna było przedstawiane na mapach geologicznych (Świdorski, 1953; Burtan i in., 1976; Paul, Ryłko, 1984), doczekało się szczegółowych opracowań (Margielewski, 2004), a w ramach Projektu SOPO, wraz z całą gminą Mszana Dolna, zostało skartowane w skali 1:10 000 (Jurewicz i in., 2009). Klasyczne prace terenowe na obszarze osuwiska znacznie utrudniało pokrycie lasami. O ile górna jego część, porośnięta przeważnie lasem bukowym, była w terenie dość dobrze czytelna, o tyle dolna – z bardzo gęstymi, nieprzejrzystymi borami świerkowymi – mogła mimo wszelkich starań zostać skartowana z mniejszą dokładnością. Już po zakończeniu prac SOPO w ramach projektu Informatycznego Systemu Osłony Kraju (ISOK) wykonano numeryczny model terenu (NMT) o wysokiej rozdzielczości, umożliwiający szczegółową analizę rzeźby terenu, a więc także i dolnej, mniej czytelnej w terenie części osuwiska. Poster przedstawia porównanie wyników interpretacji NMT ISOK z rezultatami klasycznych kartograficznych prac terenowych przeprowadzonych w ramach projektu SOPO (Jurewicz i in., 2009).

Zgodnie z przewidywaniami zasięg jęzora wyznaczony w terenie (SOPO), w gęstym borze świerkowym, przy bardzo ograniczonej widoczności w poziomie, okazał się za mały, a część form wewnątrzsuwiskowych w jego dolnej części nie została wykryta. Co ciekawe, osuwisko zapewne objęło również grzbiet ciągnący się na południowy wschód od szczytu, sprawiający wrażenie niezaburzonego zarówno w terenie, jak i na mapach topograficznych (fig. 1). Lotniczy skaning laserowy nadspodziewanie dobrze penetrował las świerkowy od góry, dzięki czemu na NMT ISOK nie widać wyraźnych różnic w rozdzielczości przy odwzorowywaniu powierzchni terenów pokrytych różnymi rodzajami lasu.



**Fig. 1. Porównanie wyników kartowania terenowego osuwiska na Luboniu Wielkim (Jurewicz i in., 2009) z NMT ISOK (geoportal.gov.pl)**

## LITERATURA

- BURTAN J., PAUL Z., WATYCHA L., 1976 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Mszana Górna (1033).
- JUREWICZ E., KACZOROWSKI J., KLIMKIEWICZ D., KONON A., LUDWINIAK M., OZIMKOWSKI W., RUBINKIEWICZ J., SOBSTYL A., ŚMIGIELSKI M., TOMASZCZYK M., 2009 — Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi, Gmina Mszana Dolna (skala 1:10 000). Państw. Inst. Geol. – PIB, Warszawa.
- MARGIELEWSKI W., 2004 — Typy przemieszczeń grawitacyjnych mas skalnych w obrębie form osuwiskowych polskich Karpat fliszowych. *Prz. Geol.*, **52**, 7: 603–614.
- PAUL Z., RYLKO W., 1984 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Rabka (1032). Wyd. Geol., Warszawa.
- ŚWIDERSKI B., 1953 — Mapa geologiczna w skali 1:50 000, ark. Rabka. Wyd. Geol., Warszawa.

---

**MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA  
BEZZAŁOGOWYCH PLATFORM LATAJĄCYCH  
DO MONITOROWANIA TERENÓW ZAGROŻONYCH OSUWISKAMI**

Ciechosław PATRZALEK<sup>1</sup>, Bartłomiej ĆMIELEWSKI<sup>2</sup>, Izabela WILCZYŃSKA<sup>3</sup>,  
Paweł DĄBEK<sup>4</sup>, Jan KAZAK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Katedra Gospodarki Przestrzennej;  
e-mail: ciechoslaw.patrzalek@up.wroc.pl, jan.kazak@up.wroc.pl.

<sup>2</sup> Politechnika Wrocławska, Laboratorium Skanowania i Modelowania 3D; e-mail: bartlomiej.cmielewski@pwr.edu.pl.

<sup>3</sup> Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Geodezji i Geoinformatyki; e-mail: izabela.wilczynska@igig.up.wroc.pl.

<sup>4</sup> Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu; e-mail: pawel.dabek@up.wroc.pl.

Jednym z pierwszych widocznych symptomów wystąpienia ruchów osuwiskowych są zmiany mikrorzeźby terenu. Do określenia wielkości tych deformacji stosuje się techniki bezpośrednie i zdalne, w tym fotogrametrię lotniczą.

Wykorzystanie niskopułapowej fotogrametrii przy dużej rozdzielczości terenowej pozwala na opracowanie wysokorozdzielczej ortofotomapy oraz numerycznego modelu terenu (NMT). Zdjęcia wykonane z bezzałogowych statków latających (BSL) (samolotów lub wirnikowców) mają rozdzielczość terenową piksela nawet 2 cm. Na takim materiale kartometrycznym w krótkim czasie można określić zasięg osuwiska oraz prognozować obszar zagrożony ewentualnym dalszym ruchem. NMT pozwala jednocześnie na prowadzenie analiz mikrorzeźby terenu, nachylenia stoków, przewidywanej objętości transportowanego materiału erozyjnego czy tras koncentracji spływu. Wykonanie pomiarów cyklicznych pozwala również na określenie występujących na obiekcie deformacji, jednak należy zaznaczyć, że dokładność zależy od pokrycia terenu szatą roślinną.

Zostaną przedstawione metody wykonywania pomiarów z użyciem BSL oraz analiza porównawcza z innymi technikami: tachimetrią, pomiarami GNSS, naziemnym skanowaniem laserowym, danymi dostępnymi w ramach programu ISOK (zdjęcia, ortofotomapy, numeryczne dane o terenie – chmura punktów ze skanowania lotniczego). Autorzy wskażą również możliwe kierunki rozwoju elementów wspomagających szybkie i dokładne pozyskiwanie informacji o terenach zagrożonych.

---

## IDENTYFIKACJA OBSZARÓW OBJĘTYCH RUCHAMI MASOWYMI NA PODSTAWIE AUTOMATYCZNEJ ANALIZY WYSOKOROZDZIELCZEGO NUMERYCZNEGO MODELU TERENU

Maria PRZYŁUCKA, Marta H. TOMASZCZYK

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa; e-mail: maria.przylucka@pgi.gov.pl; marta.tomaszczyk@pgi.gov.pl.

Podstawowym elementem analizy zagrożenia wynikającego z ruchów masowych jest opracowanie mapy obejmującej istniejące już obszary osuwiskowe (Poprawa, Rączkowski, 2003; Grabowski i in., 2008). Głównym narzędziem rejestracji terenów objętych procesami osuwiskowymi są kartograficzne prace terenowe i powstające w ich wyniku regionalne opracowania, m.in. projekt System Oslony Przeciwośuwiskowej (SOPO). Jednak ze względu na długi okres wegetacji w umiarkowanym klimacie przejściowym (od 100 do 150 dni w roku w górach do ponad 220 w nizinnej części Polski) oraz subiektywną ocenę kartującego (wynikającą m.in. ze złudzeń optycznych) metoda ta, chociaż pozwala uzyskać dużą dokładność, jest czasochłonna. Ważnym etapem zarówno poprzedzającym, jak i umożliwiającym weryfikację danych terenowych jest analiza numerycznych modeli terenu. Dotychczas wykorzystywane modele cechowały się często zbyt małą rozdzielczością i dokładnością w stosunku do wielkości form morfologicznych w obrębie osuwisk. Nową jakość w tego typu badaniach wniosły wysokorozdzielcze dane z lotniczego skaningu laserowego (Wojciechowski i in., 2012; Wójcik i in., 2012), pozyskane m.in. w ramach projektu Informatyczny System Oslony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami (ISOK).

Przedstawione przez autorów badania obejmują wykorzystanie metod automatycznej identyfikacji obszarów objętych ruchami masowymi zaproponowanej przez McKeana i Roeringa (2004) polegającej na ilościowej analizie chropowatości powierzchni terenu. W literaturze można znaleźć różne definicje terminu chropowatość, w niniejszych badaniach przyjęto, że są to małe formy terenu o niejednostajnym spadku (Wysocki, 1979; Hejmanowska i in., 2008), rozumiane jako efekt występowania ruchów grawitacyjnych, a nie źródła błędów. Metoda wykorzystuje założenie, że w obrębie stoku niezaburzonego procesami osuwiskowymi zmienność dwóch podstawowych parametrów definiujących powierzchnię terenu – azymutu i kąta nachylenia – zachodzi w sposób ciągły, natomiast w obrębie osuwiska jest to rozkład nierównomierny (McKean, Roering, 2004).

Do analizy wytypowano dwa poligony badawcze o powierzchni ok. 6 km<sup>2</sup> każdy, zróżnicowane pod względem ukształtowania powierzchni terenu, budowy geologicznej oraz charakterystyki osuwisk. Pierwszy obszar znajduje się na obszarze Karpat i obejmuje północny fragment zlewni rzeki Ochotnicy. Geologicznie jest to fragment płaszczowiny magurskiej, czyli najbardziej południowej części pasma fałdowo-nasunięciowego Karpat zewnętrznych. Drugi obszar jest zlokalizowany w obrębie skarpy wysokiego brzegu Wisły między Płockiem i Dobrzyniem i obejmuje fragment Pradoliny Toruńsko-Eberswaldzkiej i Wysoczyzny Płockiej. Poligony badawcze dobrane w taki sposób, aby wewnętrznie różniły się pokryciem terenu oraz obejmowały obszary zarówno objęte ruchami masowymi, jak i niezaburzone.

Pozyskane z bazy ISOK dane laserowe w postaci siatki GRID o oczku jednego metra zostają przekonwertowane na siatkę trójkątów TIN. Następnie dla każdego trójkąta jest wyznaczany wektor normalny do jego powierzchni. Jednocześnie obszar badań zostaje podzielony na siatkę kwadratów o zadanym boku. Dla każdego kwadratu siatki zostaje stworzona macierz orientacji T wektorów normalnych do powierzchni trójkątów znajdujących się w polu danego kwadratu. Wzajemny stosunek wartości własnych macierzy opisuje zakres i rodzaj grupowania orientacji wektorów normalnych. Oznacza to, że dla oczka siatki, w którym występuje duże zróżnicowanie terenu (wektory normalne do powierzchni trójkątów siatki TIN są bardzo rozbieżne), wartość analizowanego stosunku będzie niska, w przeciwieństwie do obszaru o gładziej powierzchni. Analizy wykonano dla różnych parametrów przewyższenia siatki TIN oraz oczka wynikowej siatki kwadratów. Powyższe badania opracowano przy użyciu oprogramowania ArcGIS, GRASS GIS oraz w środowisku R.



## LITERATURA

- GRABOWSKI D., MARCINIEC P., MROZEK T., NESCIERUK P., RĄCZKOWSKI W., WÓJCIK A., ZIMNAL Z., 2008 — Instrukcja opracowania Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10 000. Państw. Inst. Geol. – PIB, Warszawa.
- HEJMANOWSKA B., DRZEWIECKI W., KULESZA Ł., 2008 — Zagadnienia jakości numerycznych modeli terenu. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, **18**: 163–175.
- McKEAN J., ROERING J., 2004 — Objective landslide detection and surface morphology mapping using high-resolution airborne laser altimetry. *Geomorphology*, **57**: 331–351.
- POPRAWA D., RĄCZKOWSKI W., 2003 — Osuwiska Karpat. *Prz. Geol.*, **51**, 8: 685–692.
- WOJCIECHOWSKI T., BORKOWSKI A., PERSKI Z., WÓJCIK A., 2012 — Dane lotniczego skaningu laserowego w badaniu osuwisk – przykład osuwiska w Zbyszycach (Karpaty zewnętrzne). *Prz. Geol.*, **60**, 2: 95–102.
- WÓJCIK A., WĘŻYK P., WOJCIECHOWSKI T., PERSKI Z., MACZUGA S., 2012 — Geologiczna i geomorfologiczna interpretacja danych z lotniczego skaningu laserowego (ALS) rejonu Kasprowego Wierchu (Tatry). *Prz. Geol.*, **61**, 4: 234–241.
- WYSOCKI J., 1979 — Analiza dokładności opracowań warstwicowych do projektowania drenowania użytków rolnych. *Zeszyty Naukowe SGGW-AR, Melioracje Rolne*, **18**.

## ZAGROŻENIA I PROBLEMY BADAWCZE OSUWISK NA GÓRNYM ŚLĄSKU

Rafał SIKORA, Andrzej PIOTROWSKI

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Górnośląski, Sosnowiec, Program Geozagrożenia; e-mail: rafal.sikora@pgi.gov.pl; andrzej.piotrowski2@pgi.gov.pl.

Poza Karpatami problem osuwisk dotyczy także Górnego Śląska. Zagadnienie ruchów masowych stanowi nowy obszar badawczy na tym terenie. Wyznaczanie osuwisk odbywa się tu głównie na podstawie prac kartograficznych wykonywanych dla starostw powiatowych w celu opracowania „Rejestrów osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi”. Rejestry tego typu powstały m.in. dla powiatów mikołowskiego (Chmura i in., 2010), pszczyńskiego (Sikora i in., 2011b) i raciborskiego (Sikora i in., 2011a). Pracami objęto więc obszary znajdujące się w centralnej, południowej i zachodniej części regionu, położone w obrębie różnych makroregionów: Wyżyny Śląskiej, Niziny Śląskiej, Kotliny Oświęcimskiej i Kotliny Ostrawskiej (Kondracki, 2002). Zróżnicowanie geologiczne i geomorfologiczne regionu wpływa na stopień osuwiskowości w poszczególnych jego rejonach oraz na charakter stwierdzonych osuwisk.

W obrębie Zrębu Mikołowskiego położonego na Wyżynie Katowickiej istnieje stosunkowo małe zagrożenie osuwiskowe. Utwory karbonu górnego i triasu, odsłaniające się na powierzchni lub zalegające płytko pod osadami kenozoicznymi, nie wykazują zwiększonego prawdopodobieństwa wystąpienia osuwiskowości. 130 niewielkich zarejestrowanych osuwisk występuje na stokach dolin cieków rozcinających Zrąb Mikołowski. Ma to związek z lokalnym wzrostem miąższości utworów czwartorzędowych. Zagrożone są nieliczne posesje i obiekty w dolinach rzek: Promnej, Jasienicy i Ornontówki. Tereny położone na południe i południowy zachód od Zrębu Mikołowskiego znajdują się w obrębie zapadliska przedkarpackiego. Występowanie na tym obszarze miąższych, mało zwięzłych i luźnych osadów neogeńskich i plejstocentrycznych sprzyja rozwojowi osuwisk. Ruchy masowe nasilają się na stokach dolin rzecznych rozcinających Płaskowyż Rybnicki (Wyżyna Śląska) na jego granicy z Kotliną Raciborską (Nizina Śląska) i Wysoczyzną Kończycką (Kotlina Ostrawska). Osuwiska rozpoznano także w obrębie Płaskowyżu Głubczyckiego. Procesy osuwiskowe szczególnie zaznaczają się w najbliższym otoczeniu doliny Odry, gdzie na pobliskich stokach rozpoznano kilkadziesiąt osuwisk. Mają one wyraźną, często skomplikowaną morfologię (skarpy wtórne, rowy rozpadlinowe) i niekiedy osiągają duże powierzchnie (do 35 ha). Na osuwiskowość południowego skraju Płaskowyżu Rybnickiego na granicy z Wysoczyzną Kończycką zwrócił uwagę Wójcik (2007), a w wyniku własnych badań autorzy zarejestrowali ponad

150 osuwisk. Zdecydowana większość wyznaczonych osuwisk wykazuje różny stopień aktywności. Występują one głównie w dolinach Pielgrzymówki i jej dopływów.

Pokrywa osadowa w powyższych rejonach, wśród której duży udział mają lessy oraz utwory piaszczyste, jest podatna na ruchy masowe. Należy sądzić, że powierzchnie poślizgu największych osuwisk znajdują się głębiej niż miąższość osadów plejstocenских. Z pewnością przebiegają one w podścielających je utworach neogeńskich (Nescieruk, 2013). Istotna jest informacja, że większość osuwisk wykazuje okresową lub ciągłą aktywność, a część z nich stwarza zagrożenie dla obiektów mieszkalnych i infrastruktury. W celu zminimalizowania zagrożeń i skutków ich aktywności konieczne jest szczegółowe rozpoznanie obszarów przyległych o podobnych uwarunkowaniach geologicznych i morfologicznych oraz przeprowadzenie badań umożliwiających rozpoznanie wglębnej struktury koluwiów osuwiskowych. W wielu przypadkach istnieje konieczność prowadzenia monitoringu wglębnego. W powiecie raciborskim kilkanaście osuwisk jest objętych okresowym monitoringiem obserwacyjnym, a cztery z nich wymagały podjęcia prac interwencyjnych. Kolejnym problemem badawczym jest określenie wpływu budowanego zbiornika retencyjnego Racibórz II na osuwiska znajdujące się na pobliskich stokach. Tereny w dolinie Pielgrzymówki są w dużym stopniu zabudowane, a poszczególne osuwiska często sąsiadują ze sobą. Wielkość osuwisk jest zróżnicowana, największe z nich osiąga 23 ha. Współczynnik osuwiskowości badanej doliny wynosi 6,4%. Z tego względu dla tego obszaru należy właściwie oszacować istniejące zagrożenie. Ponadto do tej pory nie określono możliwości wpływu wstrząsów i deformacji górnictwa na wzrost zagrożenia osuwiskowego na obszarach objętych podziemną eksploatacją złóż węgla kamiennego.

## LITERATURA

- CHMURA A., SIKORA R., STACHURA A., WILANOWSKI S., 2010 — Rejestr zawierający informacje o terenach zagrożonych ruchami masowymi ziemi oraz terenach, na których występują te ruchy na obszarze powiatu mikołowskiego. Starostwo Powiatowe Mikołów.
- KONDRACKI J., 2002 — Geologia regionalna Polski. PWN, Warszawa.
- NESCIERUK P., 2013 — Raport z monitoringu osuwiska w Zebrzydowicach. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- SIKORA R., PIOTROWSKI A., WILANOWSKI S., 2011a — Rejestr osuwisk na obszarze powiatu raciborskiego. Etap II. Starostwo Powiatowe w Raciborzu.
- SIKORA R., PIOTROWSKI A., WILANOWSKI S., STACHURA A., 2011b — Rejestr osuwisk na obszarze Powiatu Pszczyńskiego. Etap II. Starostwo Powiatowe w Pszczynie.
- WÓJCIK A., 2007 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Zebrzydowice (991). Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.

---

## GEODEZYJNY MONITORING WYBRANYCH OSUWISK ZLOKALIZOWANYCH NA TERENIE POWIATU KRAKOWSKIEGO JAKO PRZYKŁAD SPEŁNIENIA ZADAŃ USTAWOWYCH STAROSTY

Anna SZAFARCZYK, Rafał GAWAŁKIEWICZ

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Katedra Ochrony Terenów Górniczych, Geoinformatyki i Geodezji Górniczej; e-mail: szafarcz@agh.edu.pl, rgawal@wp.pl.

Prowadzenie rejestru terenów zagrożonych ruchami masowymi oraz monitorowanie osuwisk jest obowiązkiem starosty wynikającym z zapisów ustawy Prawo ochrony środowiska (2001) oraz rozporządzenia Ministra Środowiska (2007). Zgodnie z ustawą starosta jest zobligowany do obserwowania terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi oraz terenów, na których występują te ruchy.

Zgodnie z zapisami rozporządzenia „dla terenów zagrożonych ruchami masowymi oraz terenów, na których wystąpiły te ruchy prowadzi się monitoring polegający na pomiarach powierzchniowego ruchu

mas ziemnych w celu określenia prędkości i charakteru tego przemieszczenia przy zastosowaniu w szczególności metod geodezyjnych”. „Monitoring prowadzi się co najmniej dwa razy w roku (w okresach: marzec–kwiecień oraz wrzesień–październik) oraz każdorazowo po wystąpieniu ekstremalnych zjawisk przyrodniczych, które mogą spowodować ruchy masowe ziemi”.

Wypełniając ten obowiązek, starosta powiatu krakowskiego prowadzi monitoring osuwisk stwarzających potencjalne zagrożenie dla zabudowań lub infrastruktury. Osuwiska te zostały zgłoszone przez gminy powiatu krakowskiego: Czernichów, Jerzmanowice-Przeginia, Kocmyrzów-Luborzyca, Krzeszowice, Mogilany, Skała, Skawina, Świątniki Górne, Zabierzów, Zielonki. Przyczyną ich powstania lub uaktywnienia się były długotrwałe i intensywne opady deszczu w maju i czerwcu 2010 r.

Dla 49 osuwisk sporządzono karty rejestracyjne osuwisk oraz mapy zgodnie z instrukcją, a następnie dla 9 wytypowanych wprowadzono monitoring geodezyjny, prowadzony przy wykorzystaniu technologii GPS w nawiązaniu do ASG Eupos.

Prowadzenie monitoringu z wykorzystaniem tej technologii pozwala na stwierdzenie ruchów gruntu, mogących stanowić zagrożenie dla istniejących obiektów budowlanych i elementów uzbrojenia terenu, jednocześnie przy krótkim czasie trwania pomiaru, zaangażowaniu zaledwie jednej osoby w jego wykonanie, łatwej interpretacji wyników i maksymalnie niskich kosztach. Wynikiem pomiaru są współrzędne sytuacyjne  $x, y$  w układzie PLN 2000 oraz współrzędne wysokościowe  $H$  w układzie Kronsztadt 86. Wyznaczenia współrzędnych dokonuje się na punktach kontrolowanych. Na terenie 9 monitorowanych osuwisk zastabilizowano łącznie 168 takich punktów, których położenie jest i będzie wyznaczane cyklicznie. Na podstawie wykonywanych pomiarów możliwe jest wyznaczenie wartości:

- przemieszczeń poziomych wraz z kierunkiem występowania,
- obniżeń,
- prędkości przemieszczeń poziomych,
- prędkości obniżeń.

Wszystkie wymienione wartości są podawane z granicą błędu, która jest niezbędna do oceny istotności uzyskanych wyników. Wartości, które mieszczą się w tej granicy, są uznawane za nieistotne i nie są wykazywane jako deformacje.

## LITERATURA

ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 20 czerwca 2007 r. w sprawie informacji dotyczących ruchów masowych ziemi (DzU Nr 121, poz. 840).

USTAWA Prawo ochrony środowiska z dnia 27 kwietnia 2001 r. (DzU Nr 62 poz. 627 z późn. zm.) Art. 110a ust. 1.

---

## OSUWISKA A ZAGOSPODAROWANIE PRZESTRZENNE – GMINA PLEŚNA

Dariusz WIECZOREK

Geoconsult Sp. z o.o. w Kielcach; e-mail: wieczorek@geoconsult.kie.pl.

Gmina Pleśna obejmuje 11 sołectw, zamieszkuje ją 12 000 mieszkańców, a jej powierzchnia wynosi 82,99 km<sup>2</sup>. Na obszarze gminy rozpoznano 735 osuwisk (Dąbrowski i in., 2011). Wskaźnik osuwiskości powierzchniowej wynosi tutaj ok. 23,3% (po odjęciu powierzchni płaskich terenów den dużych dolin). Do monitoringu instrumentalnego wskazano 15 osuwisk, a do obserwacji – 180, co wskazuje na wagę problemu (Wieczorek i in., 2011). Wyznaczono tutaj ponadto 11 terenów zagrożonych ruchami masowymi, tj. miejsc, gdzie w przyszłości można spodziewać się powstania osuwisk.

W latach 2010–2011 wykonano 41 kart dokumentacyjnych osuwisk w ramach tzw. prac interwencyjnych. W 2010 r. uchwałą Rady Gminy (Nr XXXVIII/325/10) wyznaczono 36 obszarów, na których nastąpiło zniszczenie lub uszkodzenie obiektów budowlanych w wyniku osunięcia ziemi. Obszary te

obejmowały łącznie 498,3 ha. Zaznaczono, że w ich obrębie nie stosuje się ustaleń miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego gminy. Działania te wyłączały tereny osuwisk z zabudowy, co wywołało duży oddźwięk społeczny, zwłaszcza, że w 2010 r. odbyły się wybory samorządowe.

Prawie cały obszar gminy Pleśna jest narażony na powstawanie nowych osuwisk oraz dalszy rozwój już zarejestrowanych. Wynika to ze zróżnicowania litologicznego skał podłoża (fliszu) oraz dużego ich zaangażowania tektonicznego. Ponadto na części obszaru gminy występują (miejscami dość miększe), pokrywy lessu karpackiego. Jak pokazują obserwacje z innych gmin, np. Czchów (Wieczorek i in., 2010), oraz prace naukowe (m.in. Borecka, Kaczmarczyk, 2007), lessy w pewnych warunkach mogą być niestabilne i są podatne na powstawanie osuwisk. Mniejsze zagrożenie osuwiskowe występuje tylko w południowo-wschodniej części obszaru gminy, w sołectwie Lichwin, gdzie występuje jednostka śląska z przewagą warstw krośnieńskich.

W pracach projektu SOPO przyjęto, że tereny osuwisk aktywnych (ruchy koluwiów w ciągu 5 lat, licząc od daty rejestracji osuwiska) i okresowo aktywnych (5–50 lat) oraz aktywne i okresowo aktywne fragmenty osuwisk powinny być z zasady wyłączone z planowanej zabudowy. W przypadkach koniecznych, np. budowy lub remontu dróg na tych obszarach, należy przewidzieć specjalne badania geologiczno-inżynierskie poprzedzające etap projektowania. Badania te powinny określać warunki podłoża w kontekście ewentualnego ruchu mas ziemnych lub skalnych. Osuwiska nieaktywne (oraz nieaktywne fragmenty osuwisk) obejmują tereny objęte ruchami koluwiów ponad 50 lat temu. Nie oznacza to jednak, że tereny te nie mogą w przyszłości podlegać procesom przemieszczania koluwiów. Przykładem są obserwacje z 2010 r., np. Tubendza – gm. Pleśna; Piaski Drużków – gm. Czchów; Kłodne – gm. Limanowa. Dlatego sugeruje się, aby również na obszarach nieaktywnych ograniczać budownictwo. Dla planowanych obiektów powinna zostać wcześniej wykonana dokumentacja geologiczno-inżynierska określająca warunki podłoża w kontekście ewentualnego ruchu koluwiów.

Wokół każdego osuwiska należy też wyznaczyć tzw. strefę buforową. Jej szerokość można w przybliżeniu określić jako 3–5-krotną wysokość skarpy głównej. W większości osuwisk z terenu gminy strefa ta będzie miała szerokość około 20–50 m od górnych i 20–30 m od bocznych granic. Zadaniem tej strefy będzie ograniczanie prac budowlanych w bezpośrednim sąsiedztwie granic osuwisk.

Jednym z celów projektu SOPO jest wykorzystanie wyników prac w procesie planowania zagospodarowania przestrzennego gminy (ustawa z dnia 27 marca 2003 r.), tak aby w przyszłości nie dochodziło do sytuacji takich jak np. w Tubendzy (Szczepanowicach), gdzie zniszczeniu lub uszkodzeniu uległy budynki w kilku gospodarstwach, dwie drogi gminne oraz linie energetyczne WN i NN.

Gmina Pleśna ma aktualny plan zagospodarowania przestrzennego uchwalony w 2008 r. W momencie jego zmian trzeba będzie wprowadzić dane dotyczące wszystkich osuwisk. Należy wtedy liczyć się z dużymi protestami społecznymi.

## LITERATURA

- BORECKA A., KACZMARCZYK R., 2007 — Geologiczno-inżynierska ocena zagrożeń osuwiskowych w utworach lessowych południowo-wschodniej Polski. *Geologos*, 11: 347–356.
- DĄBROWSKI R., WIECZOREK D., STOŃSKI A., 2011 — Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10 000, gm. Pleśna, pow. tarnowski, woj. małopolskie. <http://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/SOPO> [dostęp 27 stycznia 2015].
- MIEJSCOWY plan zagospodarowania przestrzennego Gminy Pleśna (przyjęty w 2008 r. uchwałą Nr XVII/120/08 Rady Gminy Pleśna).
- UCHWAŁA NR XXXVIII/325/10 Rady Gminy Pleśna z dnia 10 listopada 2010 r. w sprawie: wyznaczenia na terenie gminy Pleśna obszarów, na których nastąpiło zniszczenie lub uszkodzenie obiektów budowlanych w wyniku osunięcia ziemi i zasad ich odbudowy. *Dziennik Urzędowy Woj. Małopolskiego* nr 683 z dnia 15 grudnia 2010 r.
- USTAWA z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym, tekst jedn. DzU z 2012 r., poz. 647 (z późn. zm.).
- WIECZOREK D., STOŃSKI A., DĄBROWSKI R., 2010 — Tekst objaśniający do Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10 000, gm. Czchów, pow. brzeski, woj. małopolskie. <http://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/SOPO> [dostęp 27 stycznia 2015].
- WIECZOREK D., STOŃSKI A., DĄBROWSKI R., 2011 — Tekst objaśniający do Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10 000, gm. Pleśna, pow. tarnowski, woj. małopolskie. <http://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/SOPO> [dostęp 27 stycznia 2015].

## OSUWISKA NA TERENIE GMINY PLEŚNA

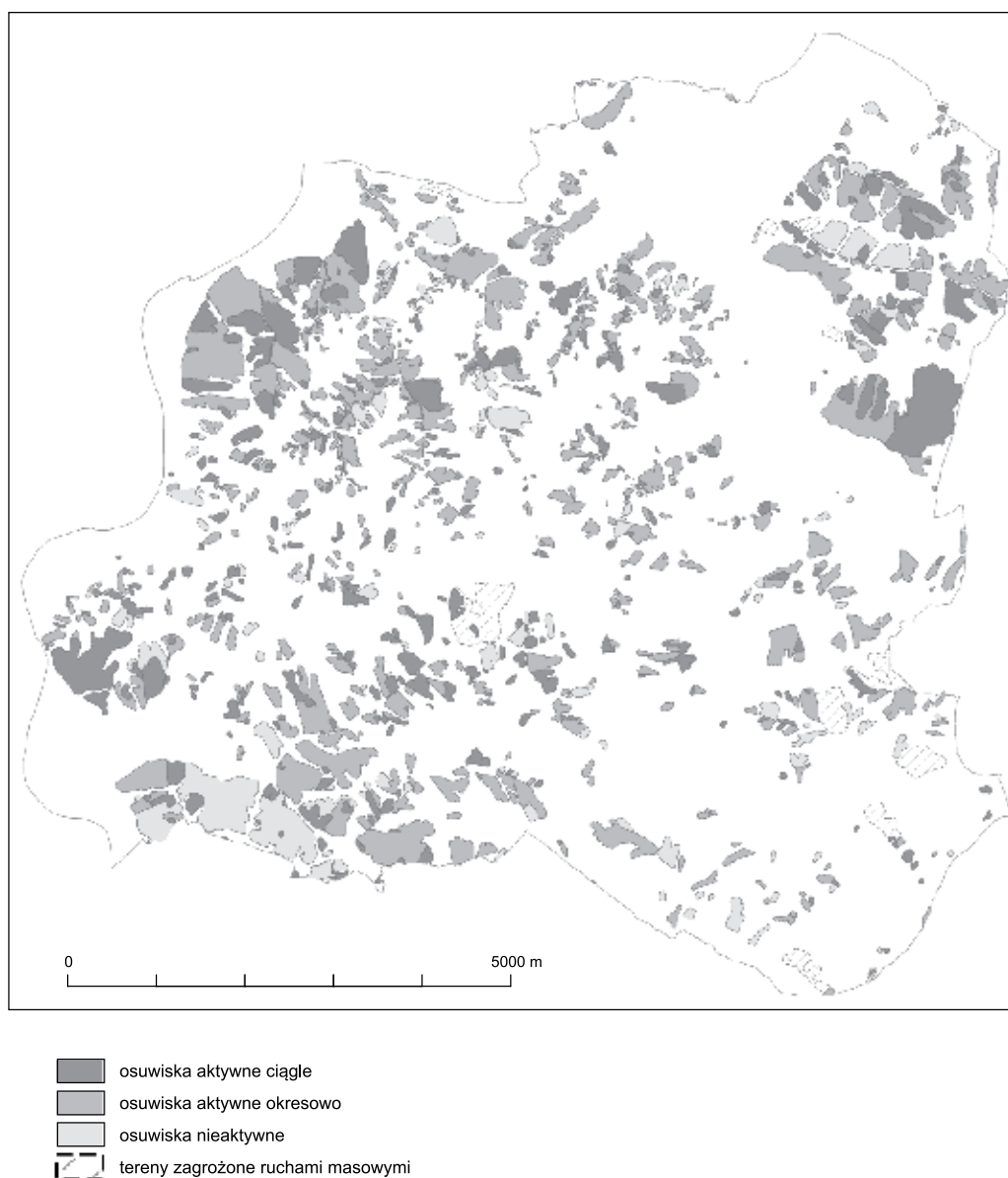
Dariusz WIECZOREK<sup>1</sup>, Marcin KUŁAK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Geoconsult Sp. z o.o. w Kielcach; e-mail: wieczorek@geoconsult.kie.pl.

<sup>2</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa; e-mail: marcin.kulak@pgi.gov.pl.

W latach 2010–2011 na obszarze gminy Pleśna wykonano prace kartograficzne (Dąbrowski i in., 2011; Wieczorek i in., 2011) według „Instrukcji opracowania ...” (Grabowski i in., 2008). Prace prowadzono w ramach projektu SOPO (System Osłony Przeciwosuwiskowej).

Z zebranych materiałów wynika, że na powstawanie i rozwój osuwisk w rejonie badań mają wpływ: złożona budowa geologiczna podłoża osuwisk (flisz), pokrywa lessowa, rzeźba terenu oraz wielkość opadów.



**Fig. 1. Osuwiska na terenie gminy Pleśna**



Obszar badań jest położony na pograniczu Karpat zewnętrznych i zapadliska przedkarpackiego i charakteryzuje się dużą zmiennością w budowie podłoża (m.in. Marciniak i in., 2006). Jest ono dodatkowo sfaldowane i złuskowane, co wpływa na jego osłabienie oraz zmienność orientacji przestrzennej warstw skalnych. Kompleks fliszu jest też przecięty szeregiem stref uskoku. Obszar badań jest położony w strefie podnoszonej neotektonicznie (Zuchiewicz, 2001). Starsze utwory są w wielu miejscach przykryte przez osady czwartorzędowe, w obrębie dolin – rzeczne, a na stokach – lessy. Deniwelacje między grzbietami a dnami dolin sięgają do 150 m, najczęściej 50–100 m. Roczna suma opadów w rejonie Tarnowa w latach 1971–2000 wynosiła 700–800 mm (dane IMGW). W 2010 r. wystąpiły dwie fale silnych opadów (maj, maj/czerwiec) po ok. 150 mm każda, a roczna suma opadów wyniosła tutaj 1100–1200 mm. Wcześniej równie duże opady wystąpiły w lipcu 1997 r., kiedy w ciągu kilku dni spadło ok. 100–225 mm deszczu, a suma miesięczna opadów wyniosła 240–280 mm (dane IMGW). Lata 1997 i 2010 zapisały się tutaj jako lata szczególnego nasilenia ruchów osuwiskowych (Poprawa i in., 1997; Wieczorek i in., 2011).

W trakcie prac kartograficznych rozpoznano 735 osuwisk, ok. 8,8 osuwiska na 1 km<sup>2</sup> (fig. 1). Ze względu na stopień aktywności osuwiska podzielono na: aktywne – 157 (21,4%), okresowo aktywne – 276 (37,6%), nieaktywne – 78 (10,6%) oraz osuwiska o dwóch – 198 (26,9%) lub trzech stopniach aktywności – 26 (3,5%). W rejonie Szczepanowic zarejestrowano 141 osuwisk (19,2% całości), Dąbrówki Szczepanowskiej – 133 (18,1%), Janowic – 108 (14,7%), Pleśnej – 81 (11%), Lichwina – 61, Rychwałdu – 58, Lubinki – 42, Świebodzina – 34, Rzechowej – 30, Woźnicznej – 26 i Łowczówka – 21 osuwisk. Większość z nich jest położona na obszarze płaszczowiny skolskiej.

Powierzchnia osuwisk wynosi 1836,56 ha, a wskaźnik osuwiskowości powierzchniowej wynosi 22,1%. Po odjęciu powierzchni terenów płaskich teras rzecznych w dnach dolin Dunajca i Białej (ok. 4,3 km<sup>2</sup>) wzrasta on do 23,3%. Osuwiska aktywne lub aktywne części zajmują 563,0 ha (30,7%); okresowo aktywne – 980,0 ha (53,4%); a nieaktywne – 293,56 ha. Najmniejsze z zarejestrowanych osuwisk mają około 0,05 ha, a największe: 100,55 ha (Łowczówek), 64,16 ha (Janowice–Zagórze), 49,20 ha (Dąbrówka Szczepanowska–Skarcowy).

Liczne osuwiska znajdują się na stokach o ekspozycji północnej lub zachodniej, podcinanych przez ciek, w obrębie lejów źródłowych, na podłożu o zmiennej litologii lub zaangażowanym tektonicznie oraz są rozwinięte na podłożu lessowym.

Miąższość koluwiów jest zmienna, od kilku metrów w małych osuwiskach do 20–30 m w dużych. Wiele osuwisk może mieć kilka powierzchni poślizgu. Dotychczas żadne z osuwisk nie zostało poddane pracom inżynierskim mającym na celu jego stabilizację w całości. Na osuwisku w Szczepanowicach w rejonie szkoły podjęto stabilizację części jego terenu, wbijając pale Larsena.

Do monitoringu instrumentalnego wskazano 15 osuwisk. Na osuwiskach w Lubince (od 2009 r.) i w Łowczówku (od 2010 r.) jest prowadzony monitoring przez geologów z Oddziału Karpackiego PIG-PIB.

## LITERATURA

- DĄBROWSKI R., WIECZOREK D., STOŃSKI A., 2011 — Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10 000, gm. Pleśna, pow. tarnowski, woj. małopolskie. <http://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/SOPO> [dostęp 27 stycznia 2015].
- GRABOWSKI D., MARCINIEC P., MROZEK T., NESCIERUK P., RĄCZKOWSKI W., WÓJCIK A., ZIMNAL Z., 2008 — Instrukcja opracowania Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MARCINIEC P., ZIMNAL Z., NESCIERUK P., 2006 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Wojnicz (1000) wraz z objaśnieniami. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- POPRAWA D., RĄCZKOWSKI W., DZIEPAK P., KOPCIOWSKI R., MROZEK T., NESCIERUK P., ZIMNAL Z., 1997 — Rejestracja osuwisk i innych zjawisk geodynamicznych na terenie województwa nowosądeckiego i tarnowskiego, powstałych w wyniku katastrofalnych opadów i powodzi w 1997 r. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- WIECZOREK D., STOŃSKI A., DĄBROWSKI R., 2011 — Tekst objaśniający do Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10 000, gm. Pleśna, pow. tarnowski, woj. małopolskie. <http://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/SOPO> [dostęp 27 stycznia 2015].
- ZUCHIEWICZ W., 2001 — Geodynamika i neotektonika polskich Karpat zewnętrznych. *Prz. Geol.*, **8**: 710–716.

## PODATNOŚĆ OSUWISKOWA POLSKI

Tomasz WOJCIECHOWSKI<sup>1</sup>, Teresa MROZEK<sup>1</sup>, Izabela LASKOWICZ<sup>1</sup>, Marcin KUŁAK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, Kraków;  
e-mail: tomasz.wojciechowski@pgi.gov.pl, teresa.mrozek@pgi.gov.pl, izabela.laskowicz@pgi.gov.pl.

<sup>2</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa; e-mail: marcin.kulak@pgi.gov.pl.

Podatność osuwiskowa, rozumiana jako możliwość wystąpienia osuwiska na danym obszarze ze względu na istniejące tam uwarunkowania środowiskowe (Varnes, 1984; Mrozek, 2013), została obliczona dla obszaru Polski. Proces analityczny wykorzystuje zasoby bazy danych SOPO (Systemu Osłony Przeciwosuwiskowej), uzupełnione o osuwiska, które opracowano w trakcie różnych prac kartograficznych. Zasięg osuwisk został porównany z litologią i tektoniką ujętą na *Mapie geologicznej Polski w skali 1:500 000* (Marks i in., 2006) oraz z parametrami morfometrycznymi (spadki, ekspozycja, wysokość), które obliczono z danych wysokościowych DTED-2. Informacje o wzajemnym współwystępowaniu poszczególnych czynników w obszarach osuwiskowych ekstrapolowano na pozostały obszar Polski. Głównym produktem analitycznym jest mapa, która w 5-stopniowej skali prezentuje przestrzenny rozkład podatności osuwiskowej (fig. 1).

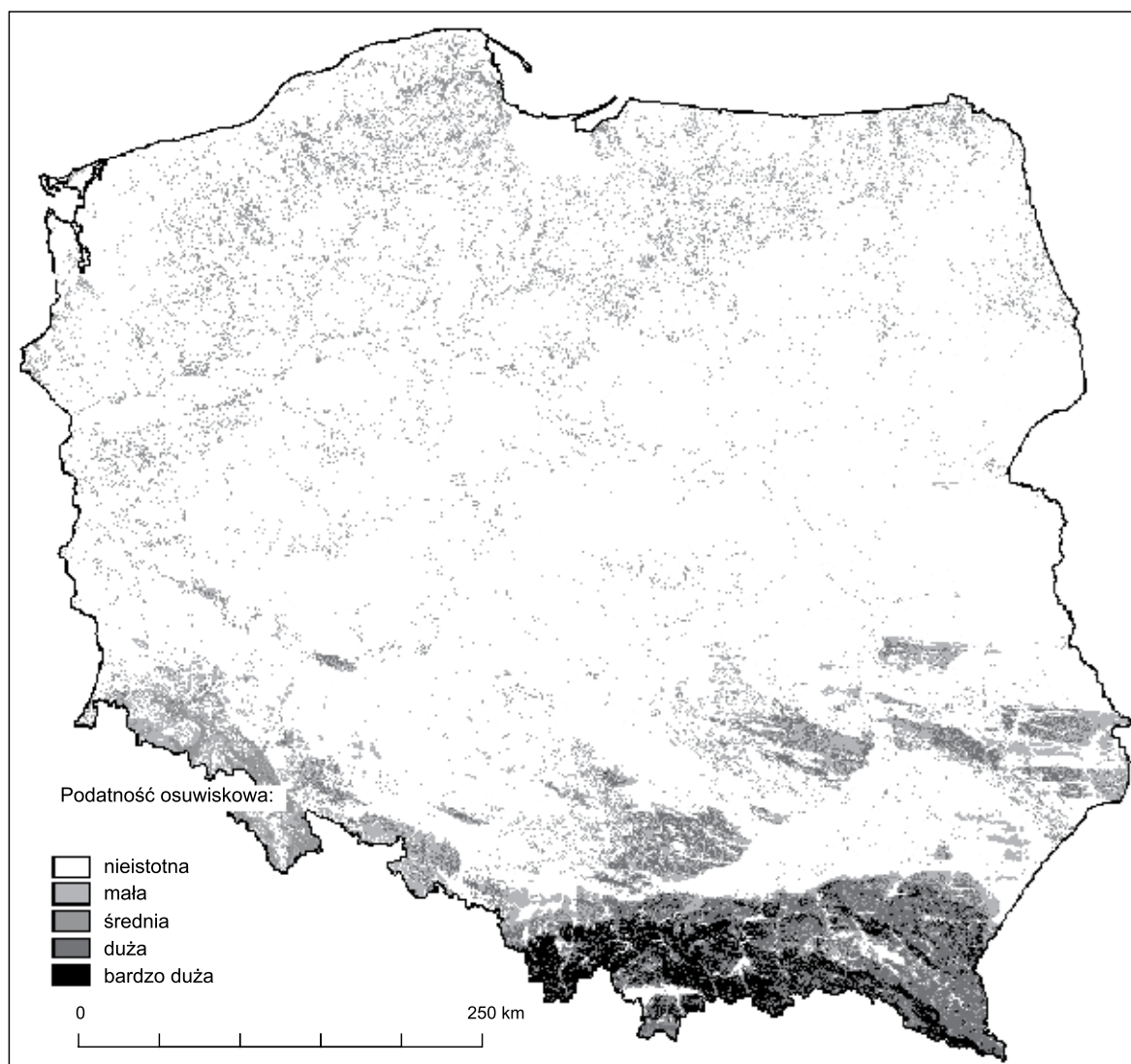


Fig. 1. Podatność osuwiskowa Polski

Obliczenia w 50-metrowej komórce rozdzielczości przeprowadzono metodą wag przesłanek (WoE – *Weights of Evidence*; Bonham-Carter i in., 1989; Mrozek, 2013). Po obliczeniu wag dla poszczególnych czynników pasywnych, do budowy mapy podatności osuwiskowej wykorzystano litologię, spadki terenu oraz tektonikę. Ekspozycja stoków ze względu na brak zależności z lokalizacją osuwisk oraz wysokości z powodu zbyt silnej zależności warunkowej w stosunku do spadków, nie zostały uwzględnione.

Przy przyjętej klasyfikacji na stopnie podatności obszar o bardzo dużej podatności osuwiskowej obejmuje niespełna 2% obszaru Polski i w całości znajduje się w Karpatach zewnętrznych. Wpływ na to ma powszechność występowania litologicznych wydzielen fliszowych, które w przedziale nachylenia stoków zawartym między 6° a 30° są podatne na osunięcia. Nie bez znaczenia w regionie karpacim są dyslokacje tektoniczne, wzdłuż których licznie grupują się osuwiska. Dużą podatnością osuwiskową (4% obszaru Polski) charakteryzują się znaczne obszary Karpat oraz część wyżyn: Śląsko-Krakowskiej, Małopolskiej i Lubelskiej, głównie w miejscach występowania pokryw lessowych, a także niektóre rejony Sudetów. Mała i średnia podatność osuwiskowa obejmuje 11,5% powierzchni Polski i występuje we wszystkich regionach górskich (najwięcej w Sudetach), na wyżynach oraz we wszystkich szerokich strefach przykorytowych większych rzek.

Ponad 82% obszaru Polski można uznać za nieistotne z punktu widzenia podatności osuwiskowej. Należy mieć jednak na względzie, że lokalnie osuwiska mogą tworzyć się również w tej strefie, zwłaszcza w miejscach przeobrażonych antropogenicznie.

Mapa podatności na osuwanie ma duże implikacje praktyczne. Jako mapa obrazująca zagrożenie przestrzenne stanowi ona punkt odniesienia do oceny potencjalnego ryzyka związanego z ruchami masowymi. Zabudowania czy infrastruktura liniowa zlokalizowane na terenach o dużej i bardzo dużej podatności są szczególnie narażone na potencjalne zniszczenie. Przykładem może tu być wskaźnik obciążenia budynkami osuwisk lub terenów podatnych. W Małopolsce największa liczba budynków na terenach osuwiskowych znajduje się w powiatach nowosądeckim (7,2 tys. budynków) i limanowskim (5,2 tys. budynków).

## LITERATURA

- BONHAM-CARTER G.F., AGTERBERG F.P., WRIGHT D.F., 1989 — Weight of evidence modelling: a new approach to mapping mineral potential. W: *Statistical Applications in the Earth Sciences* (red. F.P. Agterberg, G.F. Bonham-Carter). *Geological Survey of Canada, Paper*, **89**, 9: 171–183.
- MARKS L., BER A., GOGOLEK W., PIOTROWSKA K. (red.), 2006 — Mapa geologiczna Polski w skali 1:500 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MROZEK T., 2013 — Zagrożenie i ryzyko osuwiskowe w rejonie Szymbarku (Beskid Niski), PIG-PIB Warszawa. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, **199**: 40.
- VARNES D.J., 1984 — Landslide hazard zonation: a review of principles and practices. International Association of Engineering Geology, Commission on Landslides and Other Mass Movements on Slopes, UNESCO, Paris, **3**.

---

## OSUWISKO W CIĄGU DROGI WOJEWÓDZKIEJ 894 W MIEJSCOWOŚCI WOŁKOWYJA – METODY ROZPOZNANIA I OBLICZENIA STATECZNOŚCI

Krzysztof WOJDYŁA, Krzysztof STARZEC, Krzysztof JAKUBCZYK

Geokrak Sp. z o.o., Kraków; e-mail: krzysztof.wojdyla@geokrak.pl, krzysztof.starzec@geokrak.pl, krzysztof.jakubczyk@geokrak.pl.

Przedmiotem prezentacji jest obszar objęty czynnymi powierzchniowymi ruchami masowymi znajdujący się w miejscowości Wołkowyja, powiat Lesko. Droga wojewódzka nr 894 Hoczew–Czarna na

odcinku około 200 metrów znajduje się na terenie osuwiska i jest częściowo uszkodzona w wyniku procesów osuwiskowych.

Zadanie geologiczne polegało na rozpoznaniu budowy geologicznej terenu, warunków hydrogeologicznych i hydrologicznych oraz określeniu zasięgów głębokościowego i powierzchniowego osuwiska. Celem badań było również określenie parametrów mechaniczno-wytrzymałościowych poszczególnych warstw podłoża gruntowego, określenie przyczyn powstania osuwiska, jego mechanizmu i przewidywanego dalszego rozwoju procesu osuwiskowego.

Pod względem geologicznym teren, na którym występuje osuwisko, znajduje się w obrębie wschodniej części płaszczowiny śląskiej polskich Karpat fliszowych. Osuwisko leży w części synkliny Nowosiółek, tuż przy jej południowej granicy z nasunięciem Otrytu. Synklina jest głęboka, miejscami drugorzędnie sfałdowana, wypełniona łupkowo-piaskowcowymi warstwami krośnieńskimi. Warstwy te w rejonie Wołkowyi mają rozciągłość taką, jak cała synklina Nowosiółek, tj. NW–SE, natomiast kierunki upadów wskazują na silne sfałdowanie tych warstw – na przemian: na NW i na SE (Borysławski i in., 1980; Malata i in., 1997).

Rozpoznanie geologiczno-inżynierskie przeprowadzono przez kartowanie, wiercenie otworów i badania mikrosejsmiczne. Geometrię osuwiska i jego otoczenia określono, sporządzając mapę sytuacyjno-wysokościową. W ramach prac laboratoryjnych wykonano m.in. badania wytrzymałościowe gruntów i skał oraz badania mikrofaunistyczne gruntów fliszowych.

Zasięg głębokościowy otworów rdzeniowych wyniósł od 12,0 do 25,5 m p.p.t. Ponadto wykonano płytkie otwory w celu rozpoznania strefy przypowierzchniowej do głębokości około 5 m p.p.t.

Stok objęty procesem osuwiskowym jest eksponowany na południowy wschód – azymut osi osuwiska wynosi  $115^\circ$ . Jest to rozległy stok o długości około 400 m i szerokości około 130 m. Wschodnią granicę stoku stanowi wypłaszczenie stanowiące brzeg Jeziora Solińskiego. W części centralnej stoku przebiega droga, która została uformowana przez wcięcie w pierwotną, naturalną morfologię stoku. Dolna część stoku, poniżej korpusu drogi, jest aktywnym osuwiskiem. Widoczne w morfologii są dwie wyraźne nisze osuwiskowe, które bezpośrednio zagrażają przebiegowi drogi wojewódzkiej (Borysławski i in., 1980).

Górna część stoku, powyżej korpusu drogi w kierunku zachodnim, ma długość 60–70 m i przewyższenia rzędu 30 m. Ten fragment stoku nie wykazuje przejawów osuwiskowości. Zakwalifikowano go jako obszar o zwiększonym prawdopodobieństwie wystąpienia procesów geodynamicznych.

Bieg warstw układu się w kierunku NW–SE, natomiast kierunek zapadania jest zróżnicowany. Warstwy są pofałdowane z kątami zapadania od  $35^\circ$  do blisko pionowych. Najczęściej zapadają normalnie, ale obserwowano również warstwy odwrócone, wskazujące na istnienie fałdów obalonych.

W podłożu gruntowym wydzielono następujące pakiety geotechniczne (fig. 1):

- grunty nasypowe z podziałem na warstwy N1, N2;
- koluwium osuwiskowe: warstwy: k Ia, k Ib;
- grunty pokrywowo-zwietrzelinowe z podziałem na warstwy: Ia, Ib, Ib<sub>1</sub>;
- podłoże fliszowe – warstwa IIa (pakiet geotechniczny II).

Podziału na warstwy geotechniczne dokonano z uwzględnieniem wyników badań wytrzymałościowych gruntów i skał. Do obliczeń stateczności użyto programu Flac Slope 6.0. Analizę przeprowadzono w dwóch wariantach: stateczność części aktywnej osuwiska oraz stateczność całego stoku, łącznie z fragmentem o zwiększonym prawdopodobieństwie wystąpienia procesów geodynamicznych (Zabuski i in., 1999).

W części aktywnej w stanie obserwowanym współczynniki bezpieczeństwa ( $F_{\min}$ ) dla różnych przekrojów obliczeniowych wynoszą: 1,56 i 1,10. Ich wartości maleją do 0,89 z uwzględnieniem nawodnienia przestrzeni porowej i założenia obciążenia od ruchu kołowego. Najgłębsza udokumentowana powierzchnia poślizgu osuwiska aktywnego występuje na głębokości 7,7 m p.p.t.

Analiza globalna całego stoku dała wartość współczynnika bezpieczeństwa  $F_{\min} > 1,80$ . Bryła odłamu obejmuje obszar w odległości około 70 m w górę stoku – na zachód do osi drogi oraz około 50 m w dół stoku – na wschód od osi drogi. Maksymalny zasięg głębokościowy bryły odłamu osiąga poziom około 408 m n.p.m. (tj. około 30 m poniżej korpusu drogi).

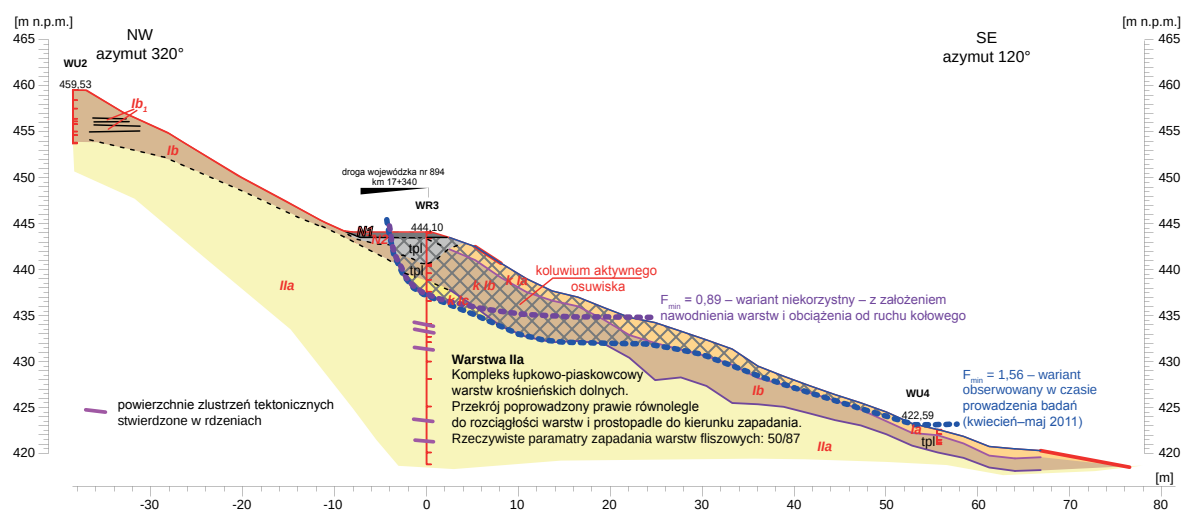


Fig. 1. Przekrój geologiczno-inżynierski wraz z wynikami obliczeń stateczności części aktywnej osuwiska

- W wyniku analiz, obliczeń i obserwacji wydzielono na badanym terenie dwie kategorie osuwiskowości:
- osuwisko aktywne, które obejmuje fragment drogi wojewódzkiej 894, rozciąga się od pasa drogowego w dół stoku; jest to osuwisko, które swoim zasięgiem głębokościowym obejmuje grunty pokrywowo-zwietrzelinowe oraz stropową część skały;
  - obszar o zwiększonym prawdopodobieństwie wystąpienia procesów geodynamicznych, na którym nie stwierdzono przejawów osuwiskowości; z uwagi na uwarunkowania morfologiczne i budowę geologiczną terenu nie wyklucza się dalszej propagacji procesu, zwłaszcza w obrębie potencjalnej powierzchni poślizgu obejmującej głębsze podłoże fliszowe.

#### LITERATURA:

- BORYSLAWSKI A., GUCIK S., PAUL Z., ŚLĄCZKA A., WÓJCIK A., ŻYTKO K., 1980 — Mapa Geologiczna Polski 1:200 000, ark. Przemyśl Kalników.
- GEOKRAK Sp. z o.o., 2011 — Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla potrzeb stabilizacji osuwiska występującego w ciągu drogi wojewódzkiej nr 894 Hoczew-Czarna w miejscowości Wołkowyja, gmina Solina.
- MALATA T., MARCINIEC P., STARKEL L., 1997 — Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1:50 000, ark. Lesko. Narod. Arch. Geol. PIB-PIB, Warszawa.
- ZABUSKI L., THIEL K., BOBER L., 1999 — Osuwiska we fliszu Karpat Polskich. Geologia, modelowanie, obliczenia stateczności. IBW PAN, Kraków.

## OSUWISKA PÓŁNOCNYCH STOKÓW BABIEJ GÓRY – INTERPRETACJA NUMERYCZNEGO MODELU TERENU WYGENEROWANEGO Z CHMURY PUNKTÓW LOTNICZEGO SKANOWANIA LASEROWEGO

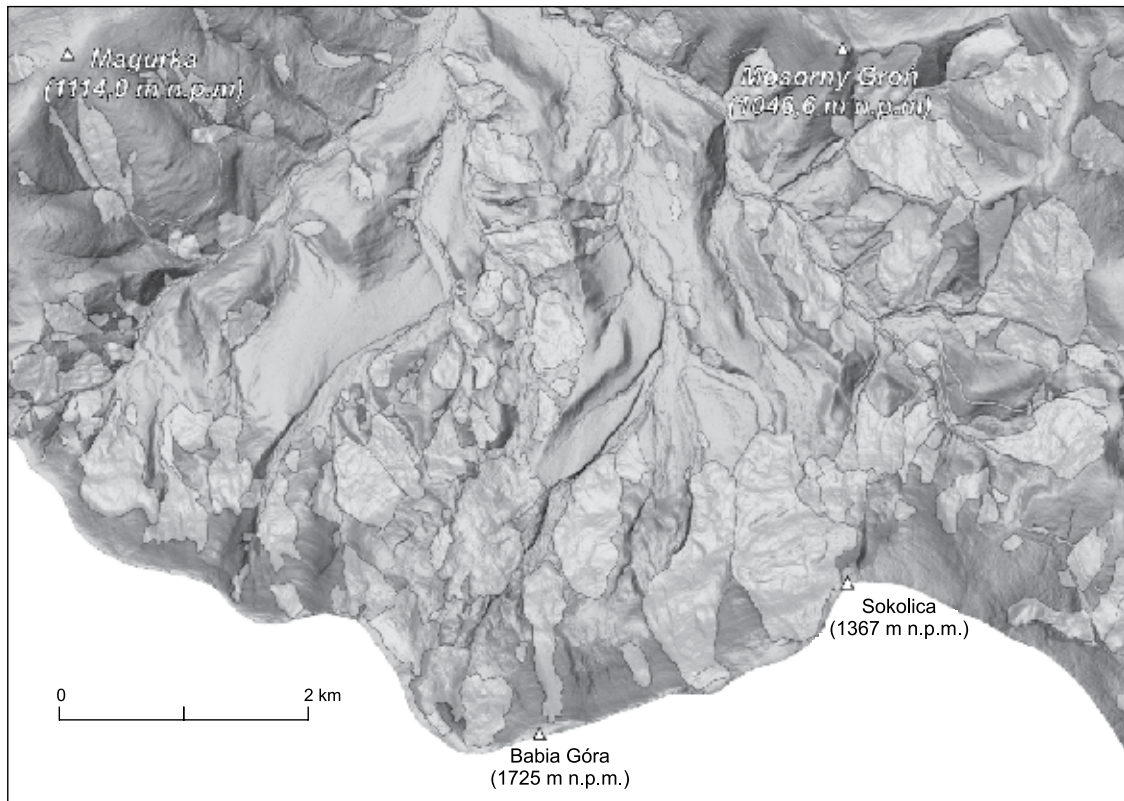
Antoni WÓJCIK<sup>1</sup>, Tomasz WOJCIECHOWSKI<sup>1</sup>, Zbigniew PERSKI<sup>1</sup>, Piotr WĘŻYK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, Kraków;  
e-mail: antoni.wojcik@pgi.gov.pl, tomasz.wojciechowski@pgi.gov.pl, zbigniew.perski@pgi.gov.pl.

<sup>2</sup> Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Leśny, Instytut Zarządzania Zasobami Leśnymi, Laboratorium Geomatyki;  
e-mail: rlwezyk@cyf-kr.edu.pl.

Badania rozwoju północnego stoku Babiej Góry (1725 m n.p.m.) z pierwszej połowy XX w. skłaniały do poglądów o znaczącym udziale form i utworów lodowcowych (Sawicki, 1913). Druga połowa





**Fig. 1. Interpretacja osuwisk na podstawie NMT ALS**

XX w. to dominacja poglądów o osuwiskowym charakterze północnych stoków Babiej Góry (Ziętara, Ziętara, 1958; Alexandrowicz, 1978), choć niektórzy badacze uważają, że pewna część form może mieć pochodzenie glacialne, ale przeważają formy pochodzenia osuwiskowego (Klimaszewski, 1948; Książkiewicz, 1971).

Rzeźba terenu masywu Babiej Góry jest uwarunkowana budową geologiczną i wynika ona z procesów tektonicznych związanych głównie z orogenezą alpejską oraz procesów powierzchniowych zachodzących głównie w plejstocenie, zwłaszcza w czasie zlodowaceń (Wójcik i in., 2010). Utwory i formy lodowcowe współwystępują z osuwiskami, z których większą część należy klasyfikować jako osuwiska skalne złożone (Varnes, 1978; Cruden, Varnes, 1996).

Dane pochodzące z lotniczego skanowania laserowego (ang. *Airborne Laser Scanning*) przeprowadzonego w lipcu 2012 r. na zlecenie Babiogórskiego Parku Narodowego pozwalają dokładniej opisać masyw Babiej Góry. Chmura punktów ALS miała gęstość min. 4 punkty na metr kwadratowy i została sklasyfikowana zgodnie z wytycznymi ISOK. Możliwość odfiltrowania ech sygnału będących odbiciami wiązki lasera od roślinności pozwoliła wyróżnić grunty występujące na powierzchni i wygenerować dla całego obszaru numeryczny model terenu w postaci siatki TIN (Axelsson, 1999, 2000) skonwertowany do formy rastrowej o rozmiarze siatki 0,5 m. Dokładność wysokościowa NMT wygenerowanego w oprogramowaniu TerraScan (Terrasolid) nie była gorsza niż RMSE 0,3 m. Analiza NMT w połączeniu z badaniami terenowymi stała się bardzo dobrą i sprawdzoną metodą badań geologicznych, w tym osuwiskowych (Wojciechowski i in., 2012; Wójcik i in., 2012).

Interpretacja cieniowanego reliefu NMT północnych stoków masywu Babiej Góry pozwoliła wyznaczyć rejony występowania osuwisk na obszarach trudno dostępnych. Określono zasięg aż 218 osuwisk o różnej wielkości (fig. 1), obok których znajdują się formy o innej genezie.

Chmurę punktów ALS uzyskano do badań naukowych dzięki uprzejmości Dyrekcji Babiogórskiego Parku Narodowego w Zawoi.

## LITERATURA

- ALEKSANDROWICZ S.W., 1978 — The northern slope of Babia Góra Mt. as a huge rock slump. *Stud. Geomorph. Carpatho-Balcan*, **12**: 133–148.
- AXELSSON P., 1999 — Processing of laser scanner data – algorithms and applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, **54**: 138–147.
- AXELSSON P., 2000 — DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, **35**, B4/1: 236–241.
- CRUDEN D.M., VARNES D.J., 1996 — Landslides Types and Processes. W: *Landslides: Investigations and Mitigation*, Transportation Research Board (red. A.K. Turner, R. Schuster), NRC Washington D.C., Special Report **247**, 36–75.
- KLIMASZEWSKI M., 1948 — Polskie Karpaty Zachodnie w okresie dyluwialnym. *Acta Geogr. Univ. Vratislaviensis, Pr. Wrocl. Tow. Nauk*, Ser. B, **7**: 1–225.
- KSIĄŻKIEWICZ M., 1971 — Objąsnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1:50 000, ark. Zawoja. Inst. Geol., Warszawa.
- SAWICKI L., 1913 — Krajobrazy lodowcowe Zachodniego Beskidu. *Rozprawy Polskiej Akademii Umiejętności*. S. A. 53/ser. III, 13.
- VARNES D.J., 1978 — Slope movement types and processes. W: *Landslides – Analysis and control* (red. R. Schuster, R. Krizek), Transportation Research Board, NRC Washington, D.C., Special Report **176**: 12–33.
- WOJCIECHOWSKI T., BORKOWSKI A., PERSKI Z., WÓJCIK A., 2012 — Dane lotniczego skaningu laserowego w badaniu osuwisk – przykład osuwiska w Zbyszycach (Karpaty zewnętrzne). *Prz. Geol.*, **60**, 2: 95–102.
- WÓJCIK A., RĄCZKOWSKI W., MROZEK T., NESCIERUK P., MARCINIEC P., ZIMNAL Z., 2010 — Mapa geologiczno-turystyczna, Babiogórski Park Narodowy. Państw. Inst. Geol. – PIB, Warszawa.
- WÓJCIK A., WĘŻYK P., WOJCIECHOWSKI T., PERSKI Z., MACZUGA S., 2012 — Geologiczna i geomorfologiczna interpretacja danych z lotniczego skaningu laserowego (ALS) rejonu Kasprowego Wierchu (Tatry). *Prz. Geol.*, **61**, 4: 234–241.
- ZIĘTARA K., ZIĘTARA T., 1958 — O rzekomej glacialnej rzeźbie Babiej Góry. *Rocz. naukowo-dydaktyczny. Wyższa Szkoła Pedagogiczna w Krakowie*, z. 8.

# WYCIECZKA TERENOWA





## OSUWISKO JUST

(prowadzą: A. Wójcik, P. Nescieruk)

Zespół osuwisk skalno-zwietrzelinowych Just (fig. 1) występujących poniżej przełęczy św. Justa jest położony w gminie Łososina Dolna (pow. nowosądecki). Przez osuwiska przebiega droga krajowa (DK 75), która w wielu miejscach jest niszczona od lat. Zespół osuwisk rozpoczyna się skarpą główną o wysokości ok. 10 m i jest położony na stokach o ekspozycji południowo-wschodniej i południowej (fig. 2). Osuwiska są aktywne w całości, czynne od ponad 50 lat. Jest to udokumentowane regularnymi zniszczeniami na drodze krajowej oraz badaniami monitoringowymi. Osuwisko wykazuje najmniejszą aktywność w najwyższej części. Ruchom masowym ulegają gliny o różnej genezie oraz utwory podłoża należące do brzeżnej części płaszczowiny magurskiej. Górna część kompleksu obejmuje wychodnie piaskowców magurskich, a dolna – łupkowo-piaskowcowe warstwy podmagurskie oraz pstre łupki. Ze względu na bliskość nasunięcia magurskiego, jest to silnie zaburzony górotwór. Przebieg skarp głównych i wtórnych ma charakterystyczny zarys kolisty. Powierzchnia osuwiska jest nierówna, w jej obrębie zaznaczają się spłaszczenia, różnej wielkości skarpy, progi i spiętrzenia wewnątrz osuwiskowe.

W 2009 r. w środkowej i dolnej części kompleksu osuwisk założono monitoring wgłębnny. W czerwcu 2010 r. doszło do dużych ruchów grawitacyjnych w wyniku nałożenia się opadów burzowych na wcześniejsze długotrwałe opady rozlewne. W różnych częściach osuwiska pojawiło się wiele deformacji nieciągłych. Została odmłodzona skarpa w południowo-zachodniej części, która przesunęła się w kierunku zabudowań. Uszkodzeniom uległ budynek mieszkalny (taras widokowy) i gospodarczy. Przemieszczenia zaobserwowano również na kręgach studni (6–7 krąg) obok domu. Poniżej powstały liczne skarpy z przemieszczeniami pionowymi do 2,5 m oraz liczne szczeliny z rozciągania, zarówno poprzeczne, jak i podłużne. W wyniku deformacji utworzyły się wypukłości i obniżenia terenu okresowo wypełnione wodą. Napór uruchomionych mas skalnych doprowadził do uszkodzeń zabudowy posadowionej na terenie osuwiska. W zachodniej części osuwiska na posesjach w Świdniku, zostały uszkodzone budynki mieszkalne i gospodarcze (spękane ściany i fundamenty, pęknięcia i wybrzuszenia posadzek oraz deformacje ościeżnic). Uszkodzone były również fundamenty budynków gospodarczych. Osuwisko ma tendencję do dalszego rozwoju i zwiększenia aktywności na znacznej powierzchni.

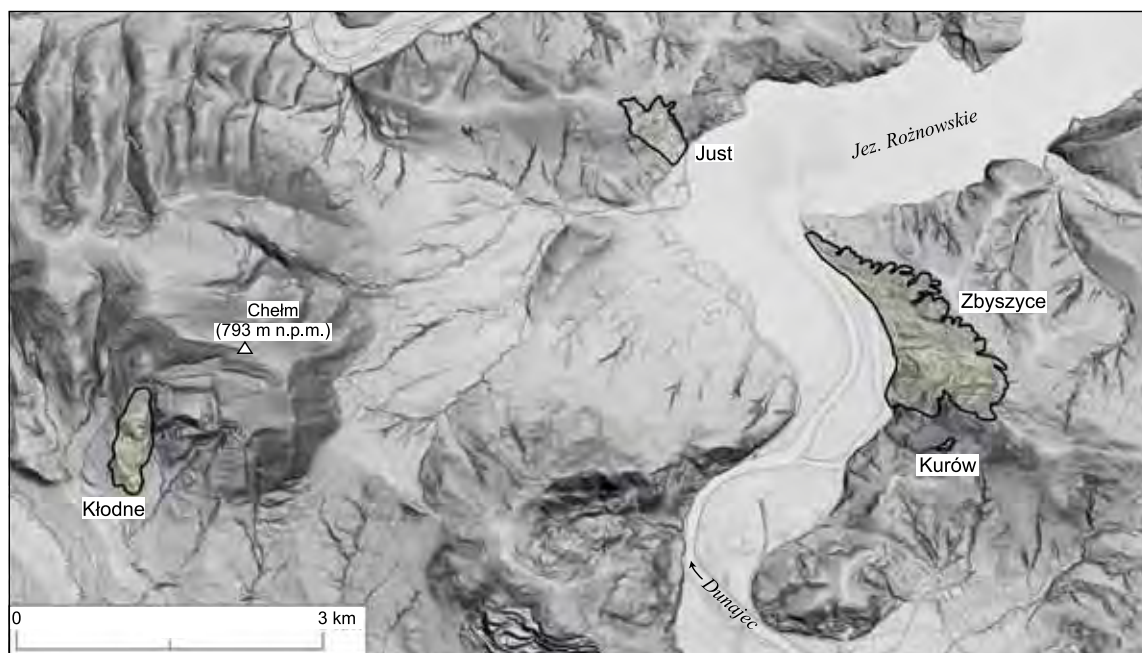


Fig. 1. Lokalizacja osuwisk na tle NMT LIDAR





**Fig. 2. Osuwisko Just na tle NMT LIDAR**

Ze względu na aktywność i znaczną miąższość koluwiów oraz występowanie w podłożu pstrych łupków osuwisko jest trudne do stabilizacji. Grunty oraz masy skalne na terenie osuwiska są niestabilne i podlegają wolnym, lecz ciągłym przemieszczeniom. Rezultaty monitoringu wgłębnego (od 2009 r.) pokazują, że przemieszczenia mają miejsce już na głębokości około 33,5 m, a intensywniejsze ruchy zachodzą na głębokości 12,5 m (w środkowej części osuwiska).

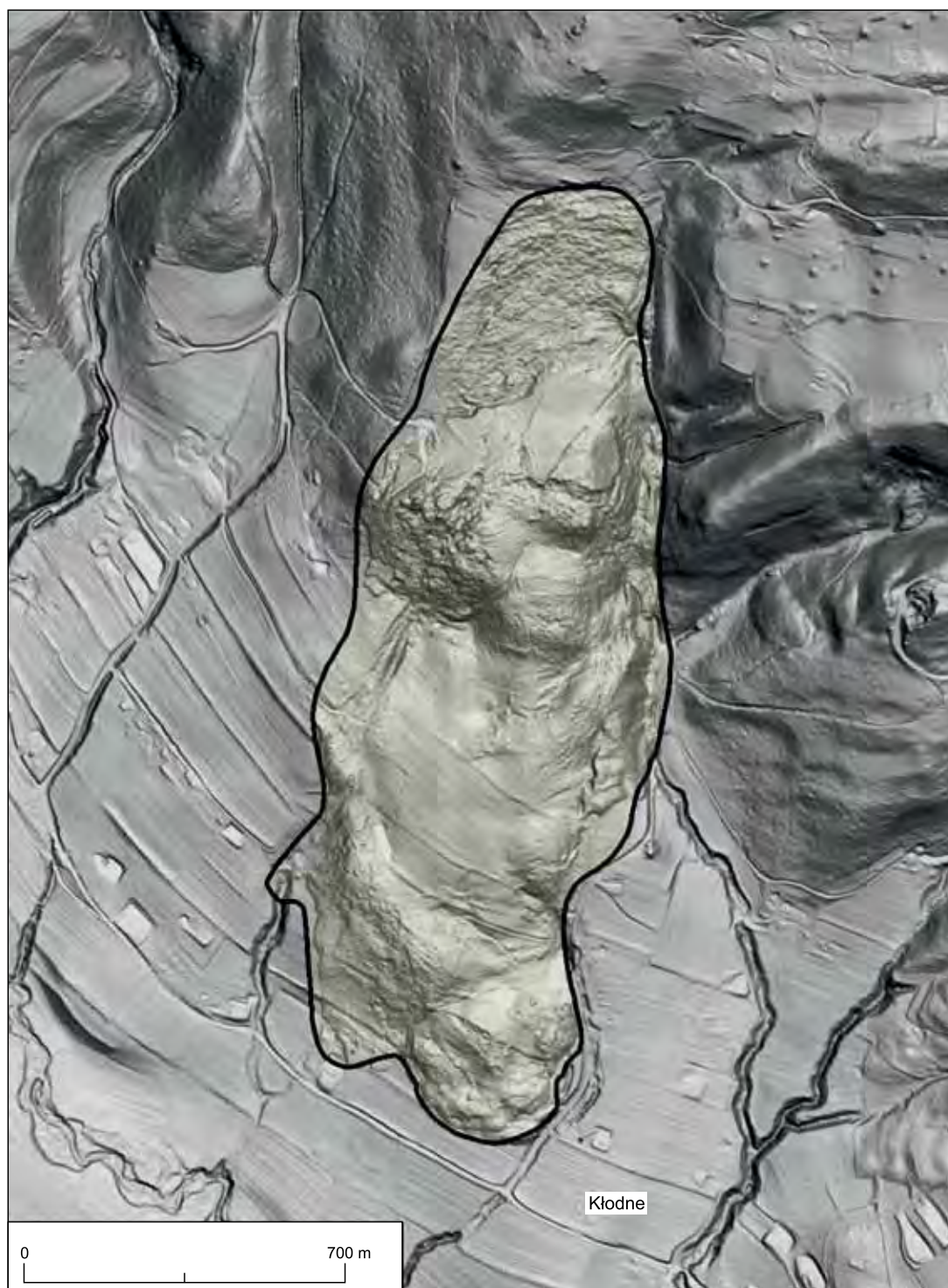
Podjęto również prace nad uzyskaniem danych o deformacjach powierzchniowych, wykorzystując satelitarną interferometrię radarową (Perski i in., 2015). Wyniki wstępnych opracowań z zarejestrowanych scen obszaru osuwiska Just pokazały ich duży potencjał do szczegółowego modelowania deformacji osuwiska.

Prawdopodobnie na aktywność osuwiska ma także wpływ natężenie ruchu drogowego oraz ciężki sprzęt wywołujący drgania.

## **OSUWISKO W KŁODNEM**

(prowadzą: Z. Perski, T. Wojciechowski, A. Wójcik)

Osuwisko w Kłodnem k. Limanowej (fig. 3) jest nowe – zostało utworzone po opadach w maju 2010 r. Analiza zdjęć lotniczych wykonanych w różnym czasie do 2009 r. nie potwierdziła istnienia wcześniej osuwiska w tym rejonie. Rozwinęło się ono na południowych stokach góry Chełm, będącej fragmentem południowo-wschodniej części Grzbietu Jaworza. W rzeźbie Beskidu Wyspowego grzbiet ten wyróżnia się wyraźnie jako izolowane wzniesienie o asymetrycznym kształcie. Stoki północne są strome, a stoki południowe mają mniejsze nachylenia i są dłuższe. Teren, na którym występuje osuwisko, znajduje się na obszarze płaszczowiny magurskiej. Zbudowany jest z pstrych łupków, warstw hieroglifowych (eocen) i piaskowców magurskich (eocen–oligocen). Ułożenie warstw na stoku, na którym rozwinęło się osuwisko, wskazuje, że jest ono typu obsekwentnego. Szczegółowe analizowanie poszczególnych części terenu, ze względu na lokalne zmiany w położeniu warstw, pokazuje natomiast, że układ jest bardziej złożony. Synklinalny układ warstw, gdzie górną część grzbietu budują warstwy o przewadze piaskowców, podścielone warstwami z dużym udziałem łupków, sprzyja rozwojowi osu-



**Fig. 3. Osuwisko w Kłodnem na tle NMT LIDAR**

wisk. Dodatkowym czynnikiem sprzyjającym tego typu zjawiskom jest występowanie uskoków zrzutowo-przesuwczych o kierunku zbliżonym do południkowego. Ruchy grawitacyjne w Kłodnem rozpoczęły się 1 czerwca 2010 r., a ich największą intensywność obserwowano przez kilka pierwszych dni, zarówno w strefie skarpy głównej, jak i czoła osuwiska. Prawdopodobnie (według obserwacji miejscowej ludności) pierwsze ruchy związane z dezintegracją i spękaniem górotworu miały miejsce 31 maja. Związane jest to z zanikiem spływu powierzchniowego w godzinach popołudniowych. W godzinach nocnych 1 czerwca ruchy były już na tyle intensywne, że spowodowały uszkodzenia budynków miesz-

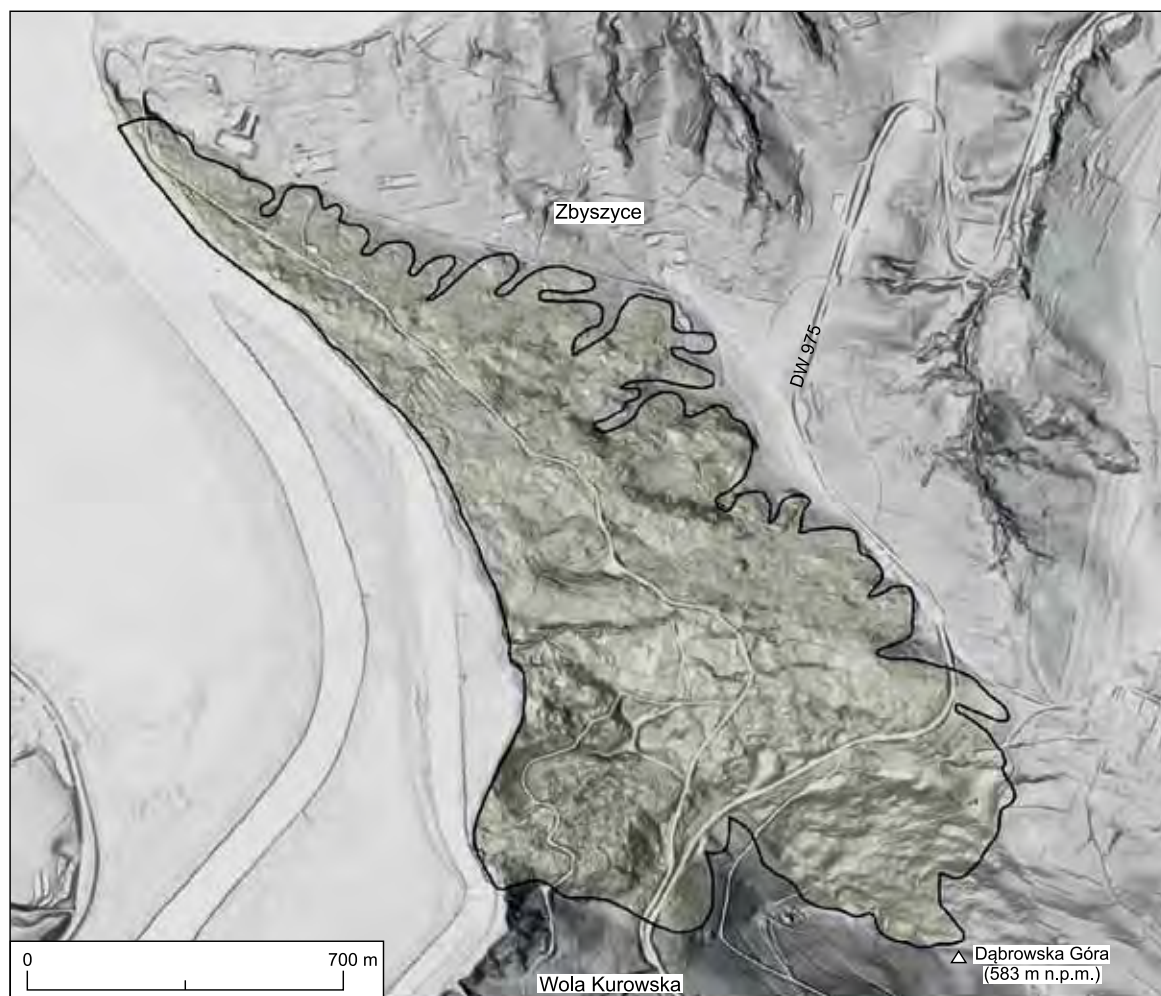
kalnych oraz zabudowań gospodarczych, w efekcie czego konieczne okazało się wykwaterowanie mieszkańców. W ciągu doby całkowitemu zniszczeniu uległo 17 budynków zamieszkałych stale. Dodatkowo zostały zniszczone budynki letniskowe oraz budynki gospodarcze i kapliczka. Przemieszczenia mas skalnych w górnej części wyniosły w pierwszych dniach od kilku do ponad 40 m. Intensywne ruchy trwały do końca 2010 roku, a przemieszczenia niektórych części terenu osuwiska wyniosły 80 m. Skarpa główna osuwiska, założona na wychodniach gruboławicowych piaskowców na wysokości 595–597 m n.p.m., w ciągu miesiąca uległa przesunięciu w górę stoku do wysokości blisko 610 m n.p.m. Poniżej znajdował się rów rozpadlinowy o głębokości 5 m i szerokości 30 m, w którego dnie w pierwszym dniu były widoczne zlustrowane powierzchnie poślizgu. W następnych dniach, w wyniku dalszych osunięć, powierzchnia ta została pokryta koluwiami, a jesienią pokazały się otwarte szczeliny ukazujące występowanie jaskiń szczelinowych w obrębie koluwiów. W części środkowej osuwiska, na powierzchni terenu, koluwia są zbudowane głównie z bloków i głazów. Niżej przemieszczenia były jeszcze głębsze, na co wskazują zagłębienia bezodpływowe. W górnej części osiedla Kłodne, gdzie wcześniej były formy wypukłe, utworzyły się zagłębienia i rowy wewnątrz osuwiskowe, a w środkowej występowały okresowe jeziora osuwiskowe. W części południowej występuje jezioro koluwalne, który wyraźnym czołem o wysokości 3–5 m nasunął się na stok nienaruszony. Osuwisko to jest nadal badane i monitorowane. Współczesne systemy teledetekcyjne umożliwiają śledzenie zmian powierzchni terenu z bardzo dużą dokładnością i wysoką rozdzielczością przestrzenną. Na przykładzie rejonu miejscowości Kłodne przedstawiono rozwój osuwiska w czasie, odtworzony przy użyciu danych z lotniczego skaningu laserowego (ASL), cyfrowych obrazów lotniczych oraz wysokorozdzielczej satelitarnej interferometrii radarowej (InSAR) (Perski i in., 2014). Dane ASL i cyfrowe obrazowania lotnicze zarejestrowano w lipcu 2010 r., tuż po katastrofalnym uruchomieniu się osuwiska. Dane te umożliwiły szczegółową inwentaryzację zniszczeń oraz deformacji. Ich porównanie z danymi fotogrametrycznymi z wcześniejszych opracowań pozwoliło na dokonanie wstępnych analiz ilościowych przemieszczonych mas koluwalnych. Dane InSAR, pozyskane na podstawie satelitarnych obrazów radarowych zarejestrowanych w październiku i listopadzie 2010 r., pozwoliły na śledzenie zmiany dynamiki przemieszczeń rzędu kilku centymetrów na miesiąc. Po wystąpieniu aktywności osuwiska podjęto działania w celu pozyskania nowych danych. Na zlecenie Państwowego Instytutu Geologicznego Małopolska Grupa Geodezyjno-Projektowa (MGGP-Aero) 2 lipca 2010 r. wykonała lotniczy skaningu laserowy za pomocą skanera RIEGL LMS-Q680i (Full Waveform, 400kHz) o gęstości 4 punkty na metr kwadratowy. Równolegle ze skanowaniem zarejestrowano cyfrowe obrazowania barwne o rozdzielczości 10 cm. Dodatkowo dla obszaru badań, w ramach projektu badawczego (N N526 146037 i GEO0772 Niemieckiej Agencji Kosmicznej) w październiku i listopadzie 2010 r. zarejestrowano wysokorozdzielcze, satelitarne obrazowania radarowe SAR (Synthetic Aperture Radar). Obrazowania lotnicze i dane laserowe posłużyły do ilościowej oceny przemieszczeń, obrazowania radarowe wykorzystano natomiast do pomiarów dalszej aktywności osuwiska. Wielkość przemieszczeń poziomych oszacowano dla obiektów terenowych, które można było jednoznacznie zidentyfikować na archiwalnych zdjęciach lotniczych, wykonanych w lipcu 2010 r. Były to narożniki budynków, skrzyżowania dróg, granice lasów itp. Największe zanotowane przemieszczenia poziome określono na 85,6 m. Miały one miejsce w górnej części osuwiska, poniżej skarpy głównej. Przestrzenny obraz przemieszczeń pionowych otrzymano przez porównanie numerycznych modeli terenu: fotogrametrycznego i LIDARowego. Największe obniżenia (ok. 20 m) zarejestrowano poniżej skarpy głównej. W dolnej części jeziora osuwiska wypiętrzanie spowodowane ruchem mas koluwalnych osiągnęły 8 m. Po wystąpieniu w czerwcu 2010 r. największych ruchów o skutkach katastrofalnych, osuwisko pozostaje nadal w stanie aktywności.

## OSUWISKA W ZBYSZYCACH I KUROWIE

(prowadzą: A. Wójcik, T. Wojciechowski, Z. Perski, P. Nescieruk)

Osuwisko w Zbyszycach (fig. 4) należy do osuwisk aktywnych co najmniej od 60 lat. W wyniku jego działalności zostało uszkodzonych 65 budynków mieszkalnych i gospodarczych. W ciągły sposób niszczone jest droga gminna przecinająca osuwisko w środkowej i dolnej jego części. Zagrożona jest również droga wojewódzka przebiegająca na południowych stokach Góry Dąbrowskiej. Osuwisko znajduje się we wsi Zbyszycy w gminie Gródek nad Dunajcem, na północno-zachodnich stokach Góry





**Fig. 4. Osuwisko w Zbyszycach na tle NMT LIDAR**

Dąbrowskiej (581 m n.p.m.). Obejmuje ono cały stok wzniesienia aż do dna doliny Dunajca, która w tej części jest miejscem formowania się delty w strefie ujścia rzeki do zbiornika.

Osuwisko jest zlokalizowane w strefie nasunięcia magurskiego na jednostkę dukielską. Utwory należące do jednostki magurskiej zajmują największy obszar pod osadami koluwalnymi i są reprezentowane przez dominujące piaskowce cienko- i średnioławicowe oraz łupki ilaste i mułowcowe warstw z Jaworzynki należących do warstw inoceramowych (santon–paleocen). Ponad nimi, w partiach grzbietowych, występują łupki pstre przeławiczone cienkoławicowymi piaskowcami (paleocen–eocen). W kierunku południowym oraz południowo-wschodnim osady te są płasko nasunięte na utwory należące do jednostki dukielskiej. Pod osadami koluwalnymi w południowej części osuwiska występują gruboławicowe piaskowce cergowskie (oligocen), a w części wschodniej – piaskowce i łupki warstw krośnieńskich dolnych.

Oprócz nieciągłości związanych z nasunięciami, w budowie geologicznej podłoża osuwiska zaznaczają się uskoki zorientowane poprzecznie do grzbietu. W strefach uskokowych pojawiają się silne zaburzenia związane z tektoniką (silne spękania).

Badane osuwisko (o powierzchni 1,4 km<sup>2</sup>) ma 1150 m długości, a jego szerokość osiąga 2000 m. Górna krawędź osuwiska w najwyższym punkcie sięga ok. 560 m n.p.m. Stok, w którego obrębie rozwinięte jest osuwisko, ma zachodnią ekspozycję, a nachylenie powierzchni jest zmienne od 8 do 40°. Górną krawędź osuwiska ogranicza zespół półkolistych nisz różnej skali podchodzących pod oś grzbietu. W północnej części są to struktury o szerokości sięgającej 100 m, natomiast w części południowej, na stokach Dąbrowskiej Góry, ich szerokość wzrasta dwukrotnie. Podobna tendencja dotyczy wysokości skarp

(5–15 m). Ściany te układają się w skiby rozdzielone rozpadlinami, co świadczy o obrotowym charakterze osuwiska. Ponieważ osuwisko często odnawiało się przez tworzenie się mniejszych form w obrębie koluwiów, można zaobserwować kilka generacji struktur osuwiskowych. Progi osuwiskowe osiągają miejscami kilkanaście metrów wysokości. W obrębie osuwiska występują pagóry i wały osuwiskowe, szczeliny i nierówności. Wały osuwiskowe są efektem przemieszczeń i rotacji całych pakietów skalnych ze stref leżących wyżej. O postępującym ruchu osuwiskowym świadczą młode struktury (Wojciechowski, 2007, Wojciechowski i in., 2012a).

W obrębie osuwiska we wsi Zbyszyce znajduje się 89 budynków, w tym 27 zamieszkałych całorocznie i 17 zamieszkałych sezonowo. Pozostałe są budynkami gospodarczymi. W czasie obserwacji terenowych stwierdzono, że na skutek działalności osuwiska zostało uszkodzonych 65 budynków, z których 28 – znacznie. Większość właścicieli na bieżąco próbuje naprawiać szkody. Ich działania jednak nie zabezpieczają budynków przed dalszymi procesami osuwiskowymi.

Pod wpływem osuwania się mas skalnych po stoku zniszczeniu uległa również infrastruktura drogowa. Stwierdzono zniszczenia drogi na 28–30 odcinkach o łącznej długości 1200 m. Jest to 52% całkowitej długości dróg występujących w obrębie osuwiska.

Ze względu na dużą powierzchnię osuwiska, głęboką powierzchnię poślizgu (co najmniej 18 m w obserwowanych inklinometrach), dużą miąższość koluwiów, charakter struktur oraz na podstawie dotychczas obserwowanych zniszczeń, osuwisko w Zbyszycach uznano za niemożliwe do stabilizacji. Z tego też względu wszelkie prace mające na celu jego stabilizację wydają się niecelowe i nieopłacalne pod względem finansowym. Dokładne rozpoznanie osuwiska i podłoża geologicznego pozwala wysnuć wniosek, że w przyszłości mogą uaktywniać się obszary o mniejszej dynamice przemieszczeń osuwiskowych oraz mogą tworzyć się nowe formy w obrębie koluwiów, zwiększając zagrożenia budowlane.

Na zachodnich stokach Dąbrowskiej Góry jedno z występujących osuwisk uaktywniło się 19–20 maja 2010 r. i zniszczyło drogę wojewódzką na całej szerokości i na długości około 40 m, co w efekcie doprowadziło do jej zamknięcia. Częściowe upłynnienie materiału spowodowało przemieszczenie około 7820 m<sup>3</sup> (Wojciechowski i in., 2012b). Osuwisko w Kurowie (fig. 5) w stosunku do innych form (występujących na obszarze przyległym) należy do osuwisk małych, ale jak na warunki polskie jest



**Fig. 5. Osuwisko w Kurowie na tle NMT LIDAR**



osuwiskiem o szybkim przemieszczeniu materiału skalnego. Sporządzono tam kilka opinii i dokumentacji geologicznych (Jurczak i in., 2010, 2011; Grzywacz, 2012; Kos i in., 2014), które wskazywały, że osuwisko jest proste do zabezpieczenia. Zagadnienie to okazało się jednak bardziej skomplikowane i trudniejsze, niż wynikało z początkowego etapu badań. Zamontowane inklinometry pokazały przemieszczanie się na głębokościach około 6, 13 i 15 m p.p.t., a najgłębsza powierzchnia poślizgu sięga 28,0 m p.p.t. W czasie ostatnich badań zauważono wyraźne zwiększenie się intensywności ruchu w dolnym inklinometrze. Przyczyny tego są nieznane, szczególnie przy stosunkowo małych opadach. Nasuwa się także pytanie, czy nie istnieją jeszcze głębsze powierzchnie poślizgu, zlokalizowane poniżej wykonanych inklinometrów.

## LITERATURA

- GRZYWACZ W., 2012 — Raport z monitoringu stateczności osuwiska metodą inklinometryczną. Chemkop-Laborgeo. Kraków, październik 2012 r.
- JURCZAK S., RUSSOCKI M., BANEK-GAŁKA I., 2010 — Ekspertyza geologiczna dla koncepcji zabezpieczenia oraz opracowania P.F.U. uszkodzonego odcinka drogi wojewódzkiej nr 975 odc. 290 od km 4+175 do 4+230 w miejscowości Kurów. Chemkop-Laborgeo. Kraków, listopad 2010 r.
- JURCZAK S., RUSSOCKI M., BANEK-GAŁKA I., 2011 — Dokumentacja geologiczna dla określenia warunków geologiczno-inżynierskich zabezpieczenia osuwiska oraz odbudowę drogi wojewódzkiej nr 975 w miejscowości Kurów. Chemkop-Laborgeo. Kraków, listopad 2011 r.
- KOS J., SZYMONIK L., JĘDRZEJOWSKA M., 2014 — Szczegółowy Raport z monitoringu osuwiska w Kurowie. Przedsiębiorstwo Geologiczne S.A., Kraków.
- 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.
- PERSKI Z., WOJCIECHOWSKI T., MARINKOVIC P., MICHALSKI A., CHOWANIEC-TOBIARZ K., NESCIERUK P., 2015 — Retrieving 3D deformation pattern of a landslide with hi-resolution InSAR and in-situ measurements: “Just landslide” case-study. Fringe 2015 Workshop. 23–27 March 2015, Frascati, Italy.
- WOJCIECHOWSKI T., 2007 — Osuwisko w Zbyszycach. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej*, 120, 49: 315–324.
- WOJCIECHOWSKI T., BORKOWSKI A., PERSKI Z., WÓJCIK A., 2012a — Dane lotniczego skaningu laserowego w badaniu osuwisk – przykład osuwiska w Zbyszycach (Karpaty zewnętrzne). *Prz. Geol.*, 60, 2: 95–102.
- WOJCIECHOWSKI T., BORKOWSKI A., PERSKI Z., WÓJCIK A., NESCIERUK P., RĄCZKOWSKI W., 2012b — Zastosowanie lotniczego i naziemnego skaningu laserowego do badania osuwisk. II Polski Kongres Geologiczny. 17–19 września 2012, Warszawa: 91–92.

