



Działanie ruchów masowych prowadzi do utworzenia się specyficznych form morfologicznych. W wyniku obrywania zdefragmentowany materiał gromadzi się u stóp zbocza, tworząc stożek lub hałdę usypiskową (usypisko, piarg). W wyniku spływu gruzowego również tworzą się stożki, a wzdłuż drogi, którą spływ gruzowy przebył powstają wały, znane jako levee. Efektem spływów ziemnych i błotnych są zwykle wały i loby. Natomiast zsuwanie prowadzi do powstania osuwisk, co wyraża się bardzo często specyficznym, schodkowym kształtem zbocza.

Osuwisko i jego elementy

Niezależnie od wyróżnionego typu ruchu masowego, to we wszystkich formach utworzonych przez te ruchy, wyróżnić można obszar oderwania, drogę i obszar akumulacji. W odniesieniu do obszaru oderwania bywa też używana nazwa obszar niszczenia, natomiast w stosunku do obszaru akumulacji - obszar złożenia. Nie we wszystkich formach poszczególne obszary są równie wyraźnie rozwinięte lub widoczne. Przemieszczany w dół stoku materiał (skalny i grunty) określany jest jako kolumwium.

Podobnie jak w przypadku pojęcia osuwisko, tak i w przypadku określania jego elementów geometrycznych nie udało się uniknąć niejednoznaczności terminologicznych. O ile jezior osuwiska i jego czoło nie są raczej kontrowersyjne, to niejasności pojawiają się przy pojęciach nisza i skarpa. W kolokwialnym użyciu słowa skarpa główna i nisza są często traktowane jako synonimy, co wynika najprawdopodobniej ze sposobu definiowania elementów nie tylko osuwiska, ale i stoku, na którym takie osuwisko powstaje. Być może jest to też skutek niezręczności w tłumaczeniu tych nazw z języków obcych. Przez niszę rozumie się zwykle amfiteatralne, nieckowate zagłębienie powstałe w wyniku oderwania i osunięcia się

mas skalnych. Przy takim określeniu nisza rozumiana jest przez jednych jako skarpa główna, a przez innych jako obszar skarpy głównej i górny fragment koluwiów. Ze względu na powstającą niejednoznaczność tego pojęcia sugeruje się ograniczenie używania pojęcia niszy do niezbędnego minimum.

Stroma ściana rozpoczynająca się na skraju górnej nienaruszonej powierzchni stoku w miejscu odślonięcia części powierzchni oderwania (odkłucia) stanowi tzw. główną skarpe osuwiskową. W przypadku sukcesywnych przemieszczeń w obrębie tego osuwiska, powstają kolejne skarpy tzw. wtórne, również o stromych ścianach. Ich obecność sprawia, że osuwisko ma specyficzny „schodkowy” układ, dzięki któremu jest łatwo rozpoznawalne w terenie.

Nie wydaje się, że zastosowany przez M. Granicznego i W. Mizerskiego (2007) termin krawędź główna mógłby stanowić satysfakcjonującą alternatywę dla pojęcia główna skarpa osuwiskowa, gdyż w zamian prowadzi do innych dwuznaczności. W instrukcji stabilizacji skarp Wysokińskiego (2006) w odniesieniu do omawianego elementu stosowany jest termin główny próg osuwiska, natomiast główna krawędź odnosi się do całej skarpy utożsamianej ze stokiem czy zboczem i jest to linia przecięcia korony i skłonu, czyli pojęcie określające miejsce górnego załamania, tam gdzie prawie horyzontalna część gwałtownie zmienia nachylenie.

Rozpoznawanie osuwisk i potencjalne zagrożenia

Przedstawione tu elementy osuwiska są stosunkowo łatwe do zidentyfikowania w przypadku, gdy osuwisko jest młode i małe oraz ma wyraźne odcinające się detale morfologiczne. Znacznie trudniej jest tego dokonać, gdy formy ulegną zatarciu. To jest zwykle najczęstszą przyczyną niedokładnego rozpoznania osuwisk w terenie, a następnie nie naniesienia ich na mapę. Dokładna inwentaryzacja osuwisk jest pierwszym krokiem do wyznaczenia obszarów potencjalnego zagrożenia dla infrastruktury.

Państwowy Instytut Geologiczny, będący służbą geologiczną, na mocy prawa geologicznego jest odpowiedzialny za zbieranie danych na temat aktualnego zasięgu i rozmieszczenia osuwisk oraz terenów zagrożonych. Dlatego prowadzona jest inwentaryzacja wszystkich ruchów masowych na obszarze Polski.

W Polsce jest stosunkowo mniej spektakularnych katastrof związanych z osunięciami ziemi niż w innych krajach, nie mniej jednak jest to bardzo poważne zagrożenie, jeżeli spojrzeć na nie w ujęciu regionalnym.

Na wybrzeżu Bałtyku osuwiska tworzą się przede wszystkim na klifowych odcinkach brzegu morskiego. Na obszarze pojezierzy występowanie osuwisk wiąże się z obecnością w podłożu iłów warwowych i glin zwałowych w obszarze rzeźby młodoglacjalnej. W Polsce centralnej osuwiska występują w dolinach dużych rzek. W przypadku doliny Wisły predysponowane są obszary zbudowane z glin zwałowych i iłów warwowych, a w dolinie Noteci i Warty - z iłów mioceńskich, plioceńskich i warwowych pokrytych glinami zwałowymi. Ze względu na erozję rzeczną osuwiska

mogą powstawać w wielu różnych miejscach, choć oczywiście biorąc pod uwagę wielkość i głębokość wcięcia dolin poszczególnych cieków są one zróżnicowane. W obszarze zapadliska przedkarpackiego osuwiska występują zwykle na stromych skarpach wzdłuż dolin rzecznych w miejscach kontaktu utworów czwartorzędowych z łami neogeńskimi.

Na tym tle Karpaty fliszowe wyróżniają się w szczególny sposób. Na stosunkowo niewielkim obszarze tych gór (zaledwie 6% powierzchni kraju), osuwiska i inne formy powierzchniowych ruchów masowych zajmują nawet 30-40% powierzchni terenu (Bober 1984, Wójcik 1997). Sprzyja temu budowa geologiczna, w tym utwory fliszowe -naprzemianległe warstwy wodoprzepuszczalnych piaskowców i słabo przepuszczalnych łupków, iłowców i margli, a także ułożenie skał, spękania i uskoki. Dodatkowym czynnikiem jest też energia rzeźby, związana z dużymi wysokościami względnymi i nachyleniem stoków. To sprawia, że w Karpatach osuwiska mogą zajmować bardzo różne położenie w stosunku do innych form morfologicznych. Mogą więc obejmować całe stoki naturalne lub też tylko ich część (osuwiska zboczowe i dolinne), jak też mogą występować w lejach źródłowych potoków. To sprawia, że bardzo często zabudowa i towarzysząca jej infrastruktura wkraczają na tereny osuwiskowe.

Dotychczas wykonane mapy geologiczne oraz rejestracje osuwisk w Karpatach pozwoliły na oszacowanie liczby osuwisk na 15 000 - 22 000 (Poprawa, Rączkowski, 2003; Rybicki i in., 2004). Na podstawie rejestracji osuwisk rozpoczętej w ramach projektu SOPO już po pierwszym roku prac można wnosić, że jest ich znacznie więcej. Są to osuwiska o różnej wielkości i różnym stopniu aktywności. W przeważającej części rozwijają się one na stokach o nachyleniu 6-14°, co sugeruje ich związek z litologią skał podłoża. Podstawowym elementem wpływającym na rozmieszczenie osuwisk jest tektonika. W okolicach Wieliczki duże osuwiska związane są z nasunięciem Karpat na zapadlisko przedkarpackie. Drugim takim obszarem jest strefa nasunięcia magurskiego.

Oddziaływanie ruchów grawitacyjnych polega na generowaniu nowych i odmładzaniu dawnych osuwisk. Nie jest jednak ograniczone jedynie do stref, gdzie aktualnie występują osuwiska. Często zdarza się, że ruch jest na tyle intensywny, iż przemieszczony materiał wykracza poza podstawę stoku, na którym ruch został wygenerowany i nasuwa się na wypłaszczenie przy dolnym załomie stoku. Niejednokrotnie nawet nasuwa się głęboko w dna dolin rzecznych. Nowe osuwiska mogą powstać w innych lokalizacjach, zwłaszcza tam gdzie istnieją sprzyjające warunki środowiskowe.

Z poszczególnymi typami ruchów masowych i ich intensywnością wiąże się bezpośrednio wielkość zniszczeń. Istnieje wiele przykładów niszczenia infrastruktury komunikacyjnej przez ruchy masowe. Do typowego oddziaływania ruchów masowych można zaliczyć sytuację, gdy:

- infrastruktura sama nie wkracza na stoki, na których występują osuwiska, ale znajduje się w strefie „wybiegu” ruchu masowego, tj. w terenie, na który

może nasunąć się jezior lub w której zatrzyma się spływ; nawet jeżeli nie dojdzie do przerwania pasa drogowego, to może on zostać przynajmniej zasypany materiałem koluwalnym,

- infrastruktura jest posadowiona na koluwiach i ulega nagłemu lub powolnemu niszczeniu, gdy osuwisko ulega przemieszczeniu; klasycznym przykładem z polskich Karpat jest lokalizacja drogi krajowej na stokach góry Just (nad Jeziorem Rożnowskim) czy stosunkowo niedawne osuwisko na drodze miejskiej w Falkowej, dzielnicy Nowego Sącza,
- infrastruktura była zbudowana na względnie stabilnym stoku, ale na skutek retrogresji skarpy głównej osuwiska (progu osuwisk) znajdzie się w strefie niestabilności.

Dlatego bardzo ważne jest dobre rozpoznanie osuwisk, precyzyjne wyznaczenie granic poszczególnych form oraz inwentaryzacja. W tym miejscu należy jednak podkreślić, że trzeba odróżnić naturalne oddziaływanie ruchów masowych (osuwisk) na infrastrukturę, od tych spowodowanych działalnością człowieka. Osunięcia w skarpach nasypów i wcięć szlaków komunikacyjnych mogą być skumulowanym efektem tych obu czynników. Również eksploatacja koluwiów może doprowadzić do uruchomienia osuwiska, czego przykładem może być droga z Muszyny do Leluchowa. Jednak tam, gdzie szlaki komunikacyjne nie znajdują się w obszarze potencjalnych ruchów masowych, niestabilność skarp nasypów i wcięć wynika raczej z błędów w sztuce geotechnicznej (projektowaniu i wykonawstwie). Dlatego każdego osiadania drogi, zaspania jej czy przerwania nie należy uznawać za wywołane ruchami masowymi, czyli osuwiskami w tzw. szerszym (kolokwialnym) znaczeniu.

Uwagi końcowe

Niedokładne rozpoznanie zasięgu osuwisk często prowadzi do zignorowania potencjalnego niebezpieczeństwa. Przykładem może być niedostateczne rozpoznanie występowania osuwisk przy projektowaniu trasy drogi ekspresowej Żywiec-Zwardoń w miejscowości Szare. Dopiero po szczegółowym kartowaniu geologicznym, wykonanym przez PIG, wprowadzono zmiany do projektu inżynierskiego (zmiana nasypu na wiadukt). Innym przykładem mogą być niezadowalające wyniki stabilizacji osuwisk zgłaszanych przez samorządy i zarządy dróg.

Z geologicznego punktu widzenia najważniejszymi kwestiami, które powinno się uwzględnić przed przystąpieniem do projektu stabilizacji jest wyznaczenie: skarpy głównej, zasięgu osuwiska, przebiegu powierzchni poślizgu. Brak tych informacji spowodował, że zabezpieczenia osuwisk, np. w rejonie Wieliczki i wzdłuż wschodniego obrzeżenia Jeziora Rożnowskiego, okazały się nieskuteczne. Droga na osuwisku w Sierczy (koło klasztoru w Wieliczce) była dwukrotnie zabezpieczana, a mimo to ulegała nadal degradacji. Dopiero ostatnie rozpoznanie, wskazujące na większy zasięg osuwiska i głębiej przebiegającą powierzchnię poślizgu pozwoliły wypracować rozwiązanie, dające satysfakcjonującą stabilizację.

Znane jest też zjawisko odmładzania osuwisk, a to oznacza ponowne uaktywnienie

ruchów w tym samym lub blisko sąsiadującym rejonie. Stąd wywodzi się potrzeba sporządzania map zagrożeń ruchami masowymi, na którą zwracano uwagę już w latach 80. XX wieku (Brabb 1984). W wielu krajach, m.in. w Wielkiej Brytanii sporządza się mapy ryzyka, gdzie poza strefami zagrożenia wskazuje się lokalizację dróg jako elementów eksponowanych na to zagrożenie. Prowadzi się też ocenę ryzyka, która obejmuje nie tylko szacowanie strat powstałych w efekcie samych zniszczeń substancji drogowej, ale także tzw. kosztów pośrednich wynikających z konieczności objazdów i zaburzeń w funkcjonowaniu ekonomicznym danego rejonu. Zêzere i in. (2007) podaje, że koszty pośrednie wynikające z zamknięcia na 6 miesięcy autostrady A9 koło Lizbony, zniszczonej przez osuwisko, są nawet 23-24 większe niż koszty bezpośrednie. W Polsce pod tym względem pozostaje jeszcze wiele do zrobienia.

doc. dr hab. Antoni Wójcik, Państwowy Instytut Geologiczny, prof. Uniwersytetu Śląskiego w Sosnowcu, Wydział Nauk o Ziemi, Katedra Geologii Podstawowej
mgr Teresa Mrozek, Państwowy Instytut Geologiczny, Oddział Karpacki

Referat był prezentowany podczas Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej „Problematyka osuwisk w budownictwie komunikacyjnym”, która odbyła się w Zakopanem w dniach 27-29 maja 2009 r. (Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK O/Kraków, Materiały Konferencyjne nr 88/zeszyt 144)

Literatura:

1. Banach M., 1977, Rozwój osuwisk na prawym zboczu doliny Wisły między Dobrzyniem a Włocławkiem, *Prace Geograficzne*, nr 124, s. 101.
2. Bober L., 1984, Rejony osuwiskowe w polskich Karpatach fliszowych i ich związek z budową geologiczną *Biuletyn Instytutu Geologicznego*, 340, Z badań geologicznych w Karpatach, t. XXIII, 115-153.
3. Brabb E.E., 1984, Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping, *Proceedings of the IV International Symposium on Landslides*, Toronto, 1,307-323.
4. Chudziński B., 1929, Obsuwiska itp. zjawiska w dolinie środkowej i dolnej Warty, *Badania Geogr. nad polską Północno-Zachodnią*, z. 4-5.
5. Carrara A., Guzzetti F., Cardinali M., Reichenbach P., 1999, Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scaled, Central Italy, *Geomorphology*, 31 (1-4), 181-216.
6. Cornforth D.H., 2005, *Landslides in Practice: Investigation, Analysis and Remedial/Preventive Options in Soils*, Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, s. 596.
7. Cruden D.M., Varnes D.J., 1996, *Landslides Types and Processes*, [w:] Turner A.K., Schuster R. (eds.), *Landslides: Investigations and Mitigation*, Transportation Research Board, NRC Washington D.C., Special Report 247,36-75.
8. Furtak K, Sala A., 2005, Stabilizacja osuwisk komunikacyjnych metodami konstrukcyjnymi, *Geoinżynieria, drogi, mosty, tunele*, 3 (6), 12-22.
9. Gelinek K, 1929, *Osuwiska nad Wisłą. Przyczynek do fizjografii wysokich brzegów nadwiślańskich* [w:] *Pamiętnik II zjazdu geografów i Etnografów Słowiańskich w Polsce w 1927 roku*. T.1., Kraków.
10. Grabowski D. Marciniec P., Mrozek T., Nescieruk P., Rączkowski W., Wójcik A., Zimnal Z., 2008, *Instrukcja opracowania Mapy osuwisk i terenów zagrożonych*

ruchami masowymi, PIG Warszawa, s. 92.

11. Graniczny M., Mizerski W., 2007, Katastrofy przyrodnicze, PWN, Warszawa, s. 198.
12. Grubecki J., Sysak J., 1960. Geologia inżynierska, Arkady, Warszawa.
13. Kleczkowski A., 1955, Osuwiska i zjawiska pokrewne, Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa, s. 94.
14. Kowalski W.C., 1988, Geologia inżynierska, Wydawnictwa Geologiczne, s. 550.
15. Margielewski W., 2004, Typy przemieszczeń grawitacyjnych mas skalnych w obrębie form osuwiskowych polskich Karpat fliszowych, Przegląd Geologiczny, 52 (7), 603-614.
16. Nemčok A., Pašek J., Rybář J., 1972, Classification of landslides and other mass movements. Rock Mechanics, 4 (2), 71-78.
17. Piątkowski R., Czarnota-Bojarski R., 1964, Mechanika gruntów, Warszawa.
18. Plummer C.C., Carlson D.H., McGeary D., 2007, Physical Geology, McGraw Hill, New York, 222-246.
19. Poprawa D., Rączkowski W., 2003, Osuwiska Karpat, Przegląd Geologiczny, 51 (8).
20. Rybicki S., Rączkowski W., Wójcik A., 2004, Zjawiska osuwiskowe w Karpatach zagrożeniem dla budownictwa komunikacyjnego, [w:] Budownictwo tunelowe w Karpatach i jego ekologiczne uwarunkowania, Seminarium naukowo-techniczne, Krynica 7-8 czerwca 2004, Uczelniane wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, 27-36.
21. Shroder J. F. Jr., Cvercková L., Mulhern K. L., 2005, Slope failure analysis and classification: Review of a century of effort, Physical Geography, v. 26, no. 3, 163-247
22. Varnes D.J., 1978, Slope movement types and processes, [in:] Schuster R., Krizek R. (eds.) Landslides - Analysis and control, Transportation Research Board, NRC Washington, D.C., Special Report 176, 12-33.
23. Wójcik A., 1997, Osuwiska w dorzeczu Koszarawy - strukturalne i geomorfologiczne ich uwarunkowania. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, 376, 5-42.
24. Wysokiński L., 2006, Ocena stateczności skarp i zboczy, Instrukcje, Wytyczne, Poradniki, nr 24/2006, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa.
25. Zêzere J.L., Oliveira S.C., Garda R.A.C., Reis E., 2007, Landslide risk analysis in the area North of Lisbon (Portugal): evaluation of direct and indirect costs resulting from a motorway disruption by slope movements, Landslides, 4, 123-136.
26. Zuber R., Blauth J., 1907, Katastrofa w Duszatynie, Czasopismo Techniczne, 25, 218-221.