

Elżbieta Pilecka¹
Tomasz Manterys²

MOŻLIWOŚCI MONITOROWANIA OSUWISK WZDŁUŻ TRAS KOLEJOWYCH Z WYKORZYSTANIEM SKANINGU LASEROWEGO

Streszczenie

W artykule przedstawiono nowe możliwości monitorowania osuwisk wzdłuż tras kolejowych z wykorzystaniem metod teledetekcyjnych. Osuwiska są dużym zagrożeniem dla tras kolejowych i powodują szkody, w szczególności na obszarze Karpat polskich. Przedstawiono przyczyny powstawania osuwisk i aktualne metody monitorowania tego zagrożenia. Zaproponowano rozwinięcie monitorowania osuwisk o metody teledetekcji satelitarnej, lotniczej i naziemnej. W szczególności zwrócono uwagę, na to, iż najlepszą, a przy tym szybką i dokładną metodą pomiarową jest naziemny skaning laserowy.

Słowa kluczowe: osuwiska, trasa kolejowa, teledetekcja

1. Wprowadzenie

Artykuł ma na celu zwrócenie uwagi na potrzebę doskonalenia metod monitorowania osuwisk wzdłuż tras kolejowych, z zastosowaniem najnowocześniejszej technologii teledetekcji naziemnej.

W 2011 i 2010 roku osuwiska spowodowały katastrofalne zniszczenia na trasach transportowych szczególnie na południu Polski. Nałożyły się na ten stan bardzo duże opady deszczu, które spowodowały uaktywnienie się ruchów masowych. Z powodu osuwisk było dużo utrudnień na drogach krajowych, a niektóre były okresowo wyłączone z ruchu (np. droga krajowa nr 7 w miejscowości Krzeczów i Tenczyn,

¹ dr hab. inż.; Politechnika Krakowska, e-mail: epilecka@pk.edu.pl

² mgr inż., doktorant, Politechnika Krakowska, e-mail: tomasz.manterys@mota-engil-ce.eu

nr 28 w miejscowości Radocza). W 2010 roku wiele dróg wojewódzkich (w Kurowie droga nr 975 całkowicie osunęła się do jeziora Rożnowskiego) i powiatowych było nieprzejezdnych, zablokowany został szlak kolejowy Tarnów-Muszyna-Krynica. Spektakularnym przykładem szkód w wyniku osuwisk były miejscowości Lancorona i Kłodne koło Limanowej. Problem osuwisk istnieje w wielu krajach. Dotyczy to także Słowacji, gdzie w 2010 roku w pobliżu Koszyc uaktywniły się osuwiska na skarpach linii kolejowych (rys. 1).



Rys. 1. Osuwisko na torach (<http://korzar.sme.sk/c/5406435/katastrofalne-zosuvy-postihli-niznu-myslu-i-malu-lodinu.html>)

Osuwiska na trasach kolejowych są szczególnie groźne, gdyż mogą doprowadzić do groźnych wypadków kolejowych. W 2010 roku osuwisko w gminie Tuchów doprowadziło do wykolejenia pociągu. Uaktywnione osuwisko w 2010 r. na linii kolejowej Kraków – Warszawa w km 299,650 – 299,800 na odcinku Niedźwiedź – Zastów powoduje ogromne trudności przewozowe. Aktualnie prowadzone są tam prace zabezpieczające. Uaktywnione w 2011 roku osuwisko na starosądeckiej Górze Miejskiej stworzyło realne zagrożenie dla budynków i infrastruktury powierzchniowej (rys. 2).

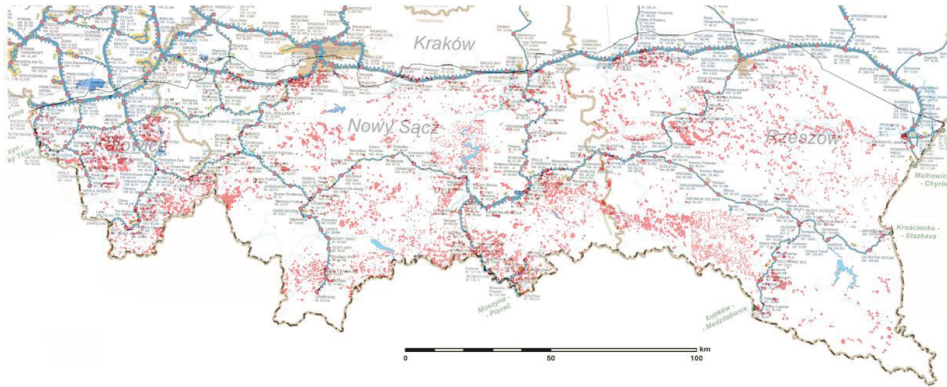


Rys. 2. Osuwisko na Górze Miejskiej w Starym Sączu.
(<http://sadczanin.info/aktualnosci-najnowsze/art/13341>)

Osuwiska i tereny zagrożone osuwiskami występują przede wszystkim na obszarze Karpat (osuwiska karpackie stanowią 95% wszystkich osuwisk i terenów zagrożonych w Polsce), w strefie brzegowej Bałtyku oraz na stokach dolin rzek nizinnych. W 2005 r. liczbę osuwisk i terenów zagrożonych osuwiskami w Karpatach oceniano wstępnie na ponad 20 000. Prace prowadzone w latach 2008-2010 w ramach Projektu SOPO (System Osłony Przeciwośuwiskowej) pozwoliły te dane uszczegółowić na terenie wybranych gmin karpackich i dane te ekstrapolować na pozostały obszar Karpat. Obecnie szacuje się, że liczba osuwisk w Karpatach może zawierać się w przedziale 50-60 tys. „Wskaźnik osuwiskowości” wyrażający wielkość obszaru objętego i zagrożonego osuwiskami w stosunku do powierzchni terenu ogółem jest w Karpatach szacowany na 30-40%. W utworach fliszowych ryzyko powstania osuwiska związane jest z ułożeniem warstw na przemian piaskowca i łatwo rozmakalnego łupka ilastego oraz długotrwałym nawodnieniem tych utworów. Straty spowodowane działaniem żywio-

łu w okresie maj/czerwiec 2010 r. - wg danych Ministerstwa Spraw Wewnętrznych i Administracji - wyniosły 2,9 mld euro.

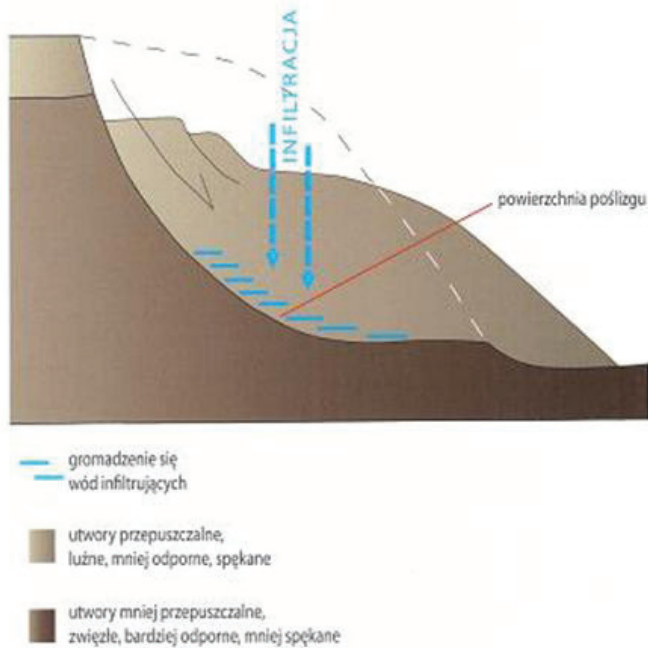
Dalszy rozwój, a także utrzymanie istniejących linii kolejowych powoduje potrzebę poszukiwań nowych i doskonalszych metod pomiarowych umożliwiających monitorowanie zagrożenia wystąpienia ruchów osuwiskowych i określenia ich dynamiki. W przypadku osuwisk z liniami kolejowymi działania powodujące podcięcie stoku, wykonanie wykopu lub obciążenie nasypem podnoszą ryzyko zagrożenia osuwiskiem. Na rysunku 3 pokazano osuwiska w Karpatach na tle aktualnie istniejącej infrastruktury kolejowej.



Rys. 3. Mapa osuwisk w Karpatach na tle infrastruktury kolejowej (osuwiska wg Grabowski, Bagińska 2010)

2. Przyczyny powstawania osuwisk

Przyczyną powstawania wszelkich ruchów osuwiskowych jest działanie siły grawitacji. Osuwiska powstają poprzez utratę stateczności mas gruntu na zboczach i skarpach. Występują one najczęściej na zboczach dolin rzecznych, wybrzeżach morskich i zboczach górskich; osuwiska skarp mogą towarzyszyć wykonywaniu głębszych wykopów, przekopów i wysokich nasypów. Utrata stateczności skarp i zboczy, będąca przyczyną osuwania się mas ziemnych, następuje w wyniku przekroczenia wytrzymałości gruntu na ścinanie wzdłuż dowolnej (ale ciągłej) powierzchni zwanej powierzchnią poślizgu (rys. 4). W przypadkach gruntów sypkich, wytrzymałość determinowana jest oporami sił tarcia wewnętrznego. W ośrodkach spoistych, o ich wytrzymałości decydują zarówno siły tarcia wewnętrznego jak i siły spójności.



Rys. 4. Schemat powstawania powierzchni poślizgu (Grabowski, Bagińska 2010)

W pracy Zabuski i in. (1999) podaje się, że zagrożonych osuwiskiem było 625 odcinków dróg (statystycznie daje to jedno osuwisko na 5 km dróg publicznych) i 86 odcinków torów kolejowych (statystycznie jedno osuwisko na 10 km linii kolejowej). Obecnie sytuacja jest poważniejsza, co związane jest z lepszym rozpoznaniem osuwisk i zmianami klimatycznymi.

Czynniki, które powodują powstawanie osuwisk można podzielić na aktywne czyli takie, które ulegają zmianom w czasie (wody opadowe, podziemne i powierzchniowe, zmiany temperatury, zmiany wysokości i nachylenia zbocza lub skarpy, statyczne i dynamiczne obciążenia, sposób użytkowania terenu itp.) oraz pasywne, czyli takie, które w zasadzie nie ulegają zmianom (budowa geologiczna, nachylenie warstw, uskoki, spękania itp.) (Kleczkowski 1955). Budowa geologiczna jest ważnym czynnikiem warunkującym powstanie osuwiska (Pilecka 2001). Z punktu widzenia sposobu oddziaływania na stateczność osuwiska czynniki można podzielić na:

1. zewnętrzne – związane z siłami (naprężeniami) wywołującymi ruch osuwiskowy; siły te mogą wzrastać przy braku zmian wytrzymałości gruntu (np. zwiększenie kąta nachylenia lub wysokości zbocza lub skarpy, dodatkowe obciążenie zbocza lub skarpy – statyczne lub/i dynamiczne itp.);
2. wewnętrzne – związane ze zmianami wytrzymałości gruntu zbocza lub skarpy bez zmian sił (naprężeń) wywołujących ruch osuwiskowy (zmiany cech fizyczno-mechanicznych wskutek np. wzrostu zawilgocenia, procesów wietrzenia, wypłukiwania i rozpuszczania składników itp.).

Jednym z bardzo istotnych czynników wywołujących osuwisko jest woda. Należy jednak rozumieć to w szerszym znaczeniu, czyli infiltracja wód opadowych, zawodnienie wskutek naturalnego lub sztucznego spiętrzenia wód, uszkodzenia lub złego działania kanałów, kanalizacji, wodociągów, systemów drenarskich itp.). Woda jest tym czynnikiem, który z jednej strony powoduje obniżenie wytrzymałości na ścinanie skał i gruntów, a z drugiej strony powoduje wzrost ciężaru gruntu i wzrost sił dążących do utraty stateczności zbocza lub skarpy. Woda może powodować pojawienie się dodatkowych sił hydrodynamicznych przy przepływie przez ośrodek skalny. W polskich warunkach klimatycznych szczególną rolę przypisuje się opadom atmosferycznym. Stwierdzono, że osuwiska powstają, jeżeli wysokość miesięcznych opadów atmosferycznych przekracza 200 mm lub intensywności opadu dobowego przekraczającej 7 mm/dobę (Zabuski i in. 1999). Zależy to prawdopodobnie bardziej od intensywności opadu dobowego np. osuwisko na górze Palenica powstało przy średniej intensywności opadu 37 mm/dobę i wysokości opadu 111 mm przez trzy dni poprzedzające wystąpienie osuwiska (Rybicki i in., 1998).

Wiele osuwisk powstaje w wyniku nałożenia się czynników naturalnych i antropogenicznych. W warunkach polskich trzy czynniki przyczyniają się głównie do powstawania osuwisk. Są to: budowa geologiczna i rzeźba terenu, intensywne i/lub długotrwałe opady atmosferyczne oraz działalność człowieka (prowadząca m.in. do rozcinania i podcinania stoków oraz nadmiernego obciążenia stoku przez wznieszone obiekty budowlane). Czynnikiem sprzyjającym uruchamianiu procesów osuwiskowych wskutek działalności człowieka są również wibracje powodowane przez prace ziemne i ruch pojazdów oraz eksploatacja zasobów kopalni.

3. Aktualne metody monitorowania osuwisk ze szlakami transportowymi

Aktualnie w Polsce stosuje się do monitoringu osuwisk odpowiednie metody zgodnie z obowiązującym prawem i instrukcjami. Metody monitoringu głównie oparte są na „Instrukcji obserwacji i badań osuwisk drogowych” Generalnej Dyrekcji Dróg Publicznych z 1999. Drugim aktualnie dokumentem, według którego należy projektować i wykonywać monitoring osuwisk jest „Instrukcja opracowania Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi” wydana w 2008 roku przez Państwowy Instytut Geologiczny.

W obydwu Instrukcjach metody monitorowania dzielą się tak samo: na powierzchniowe i wgłębne. Różnice wynikają z zalecanej częstotliwości pomiarów oraz z zaleceń zastosowania metody GPS oraz obliczeń numerycznych w Instrukcji z 2008 roku wydanej przez PIG.

Przeglądowe zestawienie metod zwartych w „Instrukcji obserwacji i badań osuwisk drogowych” zawiera poniższa tablica. Dobór metod trzeba uzależnić od możliwości ekonomicznych i wymagań, co do szczególności rozpoznania, wielkości i rodzaju osuwiska, wartości przemieszczeń, ich prędkości i położenia powierzchni poślizgu oraz warunków klimatycznych.

Tablica 1. Zestawienie dotychczasowych metod obserwacji ruchu osuwisk

Sposoby obserwacji	Zastosowanie przyrządów	Wynik obserwacji
Powierzchniowe	Poziomica mikrometryczna	Wykrycie ruchu Powierzchniowe określenie zasięgu osuwiska
	Przyrządy geodezyjne	Wykrycie ruchu Powierzchniowe określenie zasięgu osuwiska Określenie wielkości i kierunku ruchu
Wgłębne	Rury deformacyjne podatne	Stwierdzenie głębokości ruchu
	Studnie deformacyjne	Stwierdzenie głębokości ruchu
	Inklinometry	Precyzyjne określenie głębokości, wielkości, szybkości i kierunku ruchu
	Piezometry otwarte	Obserwacje wahań zwierciadła wód gruntowych
	Piezometry zamknięte	Pomiary ciśnień porowych <i>in situ</i>

Wstępnej oceny stopnia aktywności można dokonać w czasie wizji terenowej w oparciu o analizę form geomorfologicznych, szaty roślinnej, stanu technicznego istniejących budowli naziemnych, studni oraz wywiad środowiskowy. Częstotliwość obserwacji należy ustalać indywidualnie – w zależności od aktywności osuwiska, dokładności przyjętej metody pomiarowej, stopnia zagrożenia i rangi obiektu.

W początkowej fazie obserwacji częstotliwość pomiarów powinna być tak dobrana, aby można było określić nasilenie zmian i w konsekwencji ustalić zasady dalszych obserwacji. Należy je ustalać na podstawie wyników cyklu obejmującego, co najmniej 3 pomiary. Odpowiednie decyzje podejmuje jednostka geologiczna w porozumieniu z inwestorem. Zwykle odstęp między pomiarami wynosi od około 2 tygodni do 3 miesięcy. Zgodnie z instrukcją przy analizowaniu problemów geologiczno-inżynierskich związanych z osuwiskami każdorazowo należy indywidualnie rozpatrywać sposób ich rozwiązania.

Drugim aktualnie kluczowym dokumentem, według którego należy projektować i wykonywać monitoring osuwisk, jest „Instrukcja opracowania Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi” wydana w 2008 roku przez Państwowy Instytut Geologiczny. W Instrukcji szczegółowo są opisane zasady postępowania i metody stosowane przy monitoringu osuwisk. Monitoring prowadzi się metodami powierzchniowymi i wgłębny. Monitoring powierzchniowy to pomiary prowadzone geodezją klasyczną opartą na sieci zastabilizowanych punktów i pomiary aparaturą GPS, nie mniej niż 3 razy w roku. Monitoring wgłębny to pomiary sondą inklinometryczną i pomiary piezometryczne. Badania laboratoryjne właściwości ośrodka wykonuje się zgodnie z normą PN-B-04451:2002 (ENV1997-3:1992) i zaleceniami określonymi w projekcie prac w stopniu niezbędnym do prawidłowego obliczenia stateczności stoku. Zebrane wyniki badań muszą zapewnić w spójny i jednolity sposób wszechstronną charakterystykę fizyczno-mechaniczną właściwości koluwiów i utworów podłoża osuwiska. Zalecane jest wykonanie obliczeń numerycznych stateczności stoków. Opracowanie wyników monitoringu powinno być w formie umożliwiającej ich wczytanie do bazy realizowanego obecnie w Państwowym Instytucie Geologicznym – PIB Systemu Osłony Przeciwosuwiskowej. Baza ta ma na celu szczegółową inwentaryzację osuwisk w Polsce.

4. Możliwości monitorowania osuwisk metodami teledetekcyjnymi

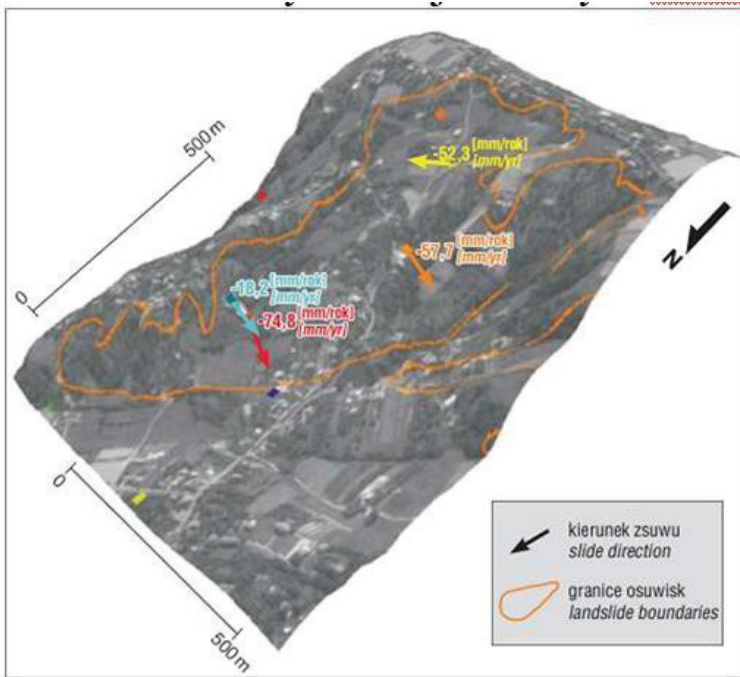
Jedną z najszybciej rozwijających się obecnie dziedzin nauki jest teledetekcja. Teledetekcja (ang. remote sensing), to pozyskiwanie, przetwarzanie i interpretowanie danych będących wynikiem rejestra-

cji promieniowania elektromagnetycznego. Badania teledetekcyjne można wykonywać z satelitów, samolotów lub z powierzchni ziemi. Metody teledetekcyjne dzielą się na aktywne i pasywne. Teledetekcja pasywna rejestruje promieniowanie odbite od powierzchni Ziemi, a teledetekcja aktywna to wysyłanie sygnału elektromagnetycznego przez sensor i rejestracja tego sygnału odbitego od powierzchni Ziemi. Przykładami aktywnej teledetekcji jest radar, w którym wysyłane są mikrofały, lidar - w tym przypadku wysyłane jest światło, czy sodar - wtedy wysyłane są fale akustyczne. Pasywnymi metodami teledetekcji są metody oparte na analizie sygnału wysyланego od obserwowanego obiektu. Ich przykładem jest zdjęcie fotograficzne.

Teledetekcja aktywna stosowana jest przede wszystkim do obszarów, które podlegają ruchom masowym naturalnym i antropogenicznym. Znalazła ona zastosowanie do obserwacji terenów górniczych w aspekcie niecek osiadań (Graniczny i in. 2006); (Popiołek i in. 2006), sejsmiczności (Pilecka 2008), obserwacji wulkanów, trzęsień Ziemi, topnienia lodowców.

Teledetekcja satelitarna stosowana jest również w kontekście badań osuwisk. Satelitarna metoda interferometrii radarowej pozwala na określenie z dokładnością milimetrową przemieszczeń zachodzących na powierzchni zbocza. W Polsce zostały przeprowadzone badania przydatności metody interferometrii radarowej InSAR na obszarze środkowej części polskich Karpat. Wstępnie przeanalizowano także przydatność metody PS InSAR na obszarze okolic Wieliczki i Nowego Sącza. Uzyskane dotychczas wyniki badań polegających na wykazaniu przydatności satelitarnej interferometrii radarowej w analizach osuwisk pokazały trudności metody InSAR związane z koherencją oraz z geometrii systemu satelitarnego danych SAR. Zastosowanie metody PSInSAR dla obszarów badawczych dało satysfakcjonujące rezultaty (Wojciechowski, Perski, Wójcik, 2008).

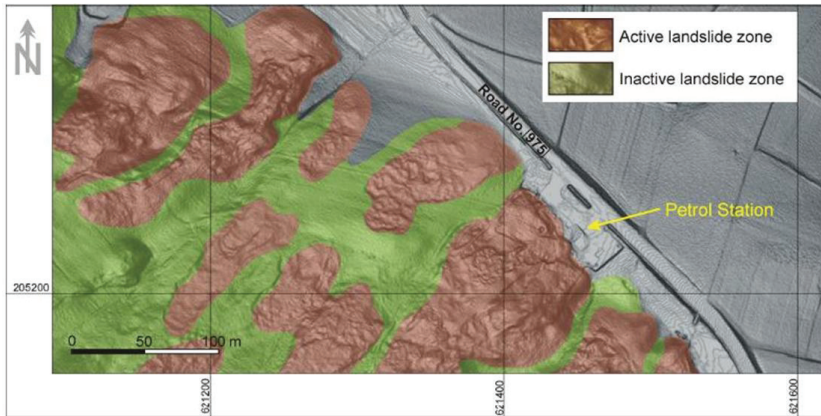
Uzyskano dane o kilkudziesięciu stabilnych rozpraszaczach. Obszar Wieliczki poddano szczegółowym analizom, z których wynika, że 44 punkty PS wykazują aktywność, a 27 z nich występuje na terenie osuwisk. Najwięcej takich obiektów rozpoznano w obrębie osuwisk w Lednicy Górnej i Chorągwicy, które są zaliczane do aktywnych. Prędkości zsuwu, osiągające 74,8 mm/rok, udało się określić dla 11 punktów PS w obszarze Wieliczka (rys. 5). Uzyskane wyniki pozwalają z optymizmem patrzeć na dalszy rozwój metodyki PSInSAR w badaniu osuwisk.



Rys.5. Dynamika zsuwu w punktach PS obliczona dla osuwiska w Lednicy Górnej (Wojciechowski, Perski, Wójcik, 2008)

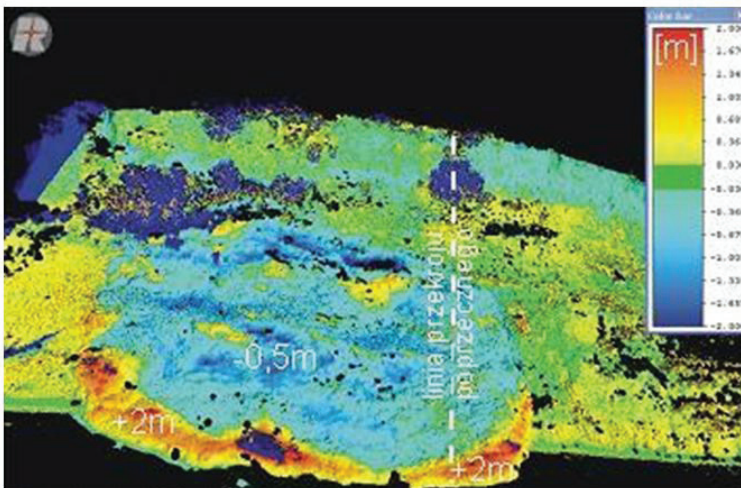
Monitorowanie osuwisk z trasami kolejowymi można wesprzeć metodą teledetekcyjną laserowego skanowania lotniczego zwaną LIDAR, wykorzystująca najnowszy skaner LiteMapper 6800i, przenoszony na pokładzie lekkiego samolotu Cessna. Zasada skaningu laserowego oparta jest na wyznaczeniu odległości od skanera na pokładzie samolotu do badanej powierzchni, poprzez pomiar czasu pomiędzy wysłaniem a odbiorem impulsu laserowego. Impuls laserowy dzięki właściwości przenikania przez pokrywę roślinną potrafi zarejestrować informacje o rzeczywistym ukształtowaniu terenu. Jest to bardzo cenna dla geologów cecha, zwłaszcza w górach, gdzie pokrywa lasów często maskuje drobne zmiany rzeźby terenu. Możliwe jest prawie natychmiastowe sformułowanie prognozy rozwoju osuwiska i określenie stopnia zagrożenia. Metoda laserowego skanowania lotniczego osuwisk (rzadko stosowana głównie ze względu na wysokie koszty), okazała się niezwykle przydatna w sytuacji awaryjnej i umożliwiła sformułowanie szybkiej i dokładnej prognozy rozwoju zjawiska. W artykule (Borkowski i in. 2011) opisano metodykę i wyniki dynamiki osuwiska w Zbyszycach, które w 2010 roku wyrządziło duże straty na drodze nr 975 w rejonie

Jeziora Rożnowskiego. Na rysunku 6 przedstawiono wyniki tych prac. Metoda LIDAR pozwala na szybkie pomiary i podjęcie szybkich działań naprawczych we właściwych miejscach osuwiska.

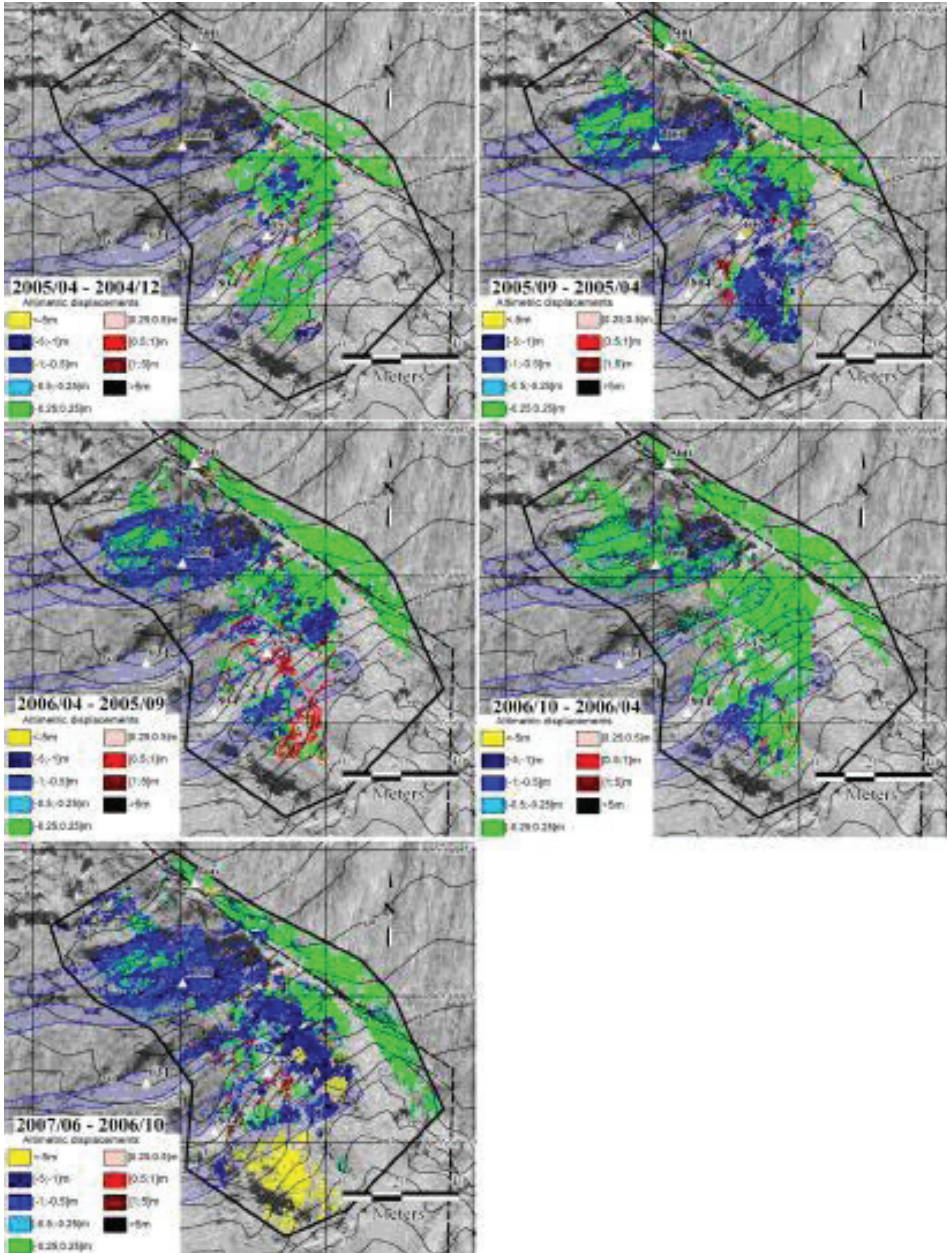


Rys. 6. Dynamika osuwiska w Zbyszycach - interpretacja wyników z zastosowania metody LIDAR (nalot: 1.04.2010)

Naziemną odmianą metody LIDAR jest naziemny skanowanie laserowe. Pierwsze próby zastosowania tej technologii na osuwisku na klifie w Jastrzębiej Górze wykonywał Państwowy Instytut Geologiczny - Instytut Badawczy z bardzo dobrym rezultatem. Badania przeprowadzone skanerem laserowym wykazały maksymalne przesunięcia rzędu 0,5 m; maksymalne przesunięcie czoła osuwiska wyniosło 8 m a jego wysokość osiągnęła maksymalnie 2 m (rys. 7).



Rys.7. Dynamika osuwiska w Jastrzębiej Górze (30.04 - 30.06.2010 r.)
(R.Kramarska, www.pgi.gov.pl/attachments/article/2812/monitoring.pdf)

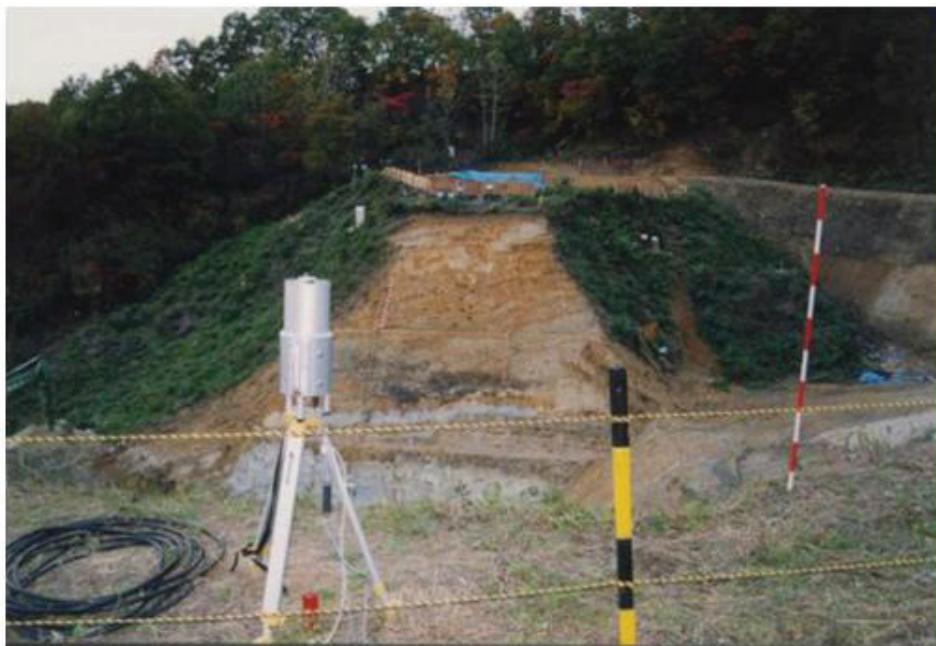


Rys. 8. Dynamika zsuwu osuwiska Séchillienne (Kasparsky i in. 2010)

W literaturze światowej zastosowanie naziemnego skanera laserowego do monitorowania osuwisk jest szeroko opisywane zarówno do monitorowania typowych skarp i zboczy oraz do zboczy zagrożonych kombinacją ruchów masowych np. zsuwu i obrywów skalnych. Skanowanie laser-

we jest możliwe w miejscach niedostępnych. W artykule J. Kaspersky i in. (2010) pokazano możliwości zastosowania skaningu laserowego do monitoringu aktywnego osuwiska Séchilienne we francuskich Alpach. Osuwisko to stanowi zagrożenie dla ludzi i dla drogi RD1091. Monitoring objął lata 2004 – 2007 a wyniki pokazano na rysunku 8.

Podobne wyniki zastosowania skaningu laserowego przedstawiono w artykule chińskich uczonych, którzy określili ryzyko powstania osuwiska na przykładzie osuwiska w Jingyang, prowincja Shaanxi (Lichun SUIa i in. 2008 \). Metodyka skanowania osuwisk naziemnym laserem jest szeroko rozwijana w wielu państwach w tym także we Włoszech, Holandii, USA, Japonii, która ma bardzo dużo aktywnych osuwisk, w tym po trzęsieniach Ziemi (rys. 9).



Rys. 9. Przykład stanowiska ze skanerem laserowym przygotowanym do skanowania osuwiska (ASANO, Hiroki)

5. Podsumowanie

Przedstawione metody teledetekcyjne monitorowania osuwisk mogą być doskonałym rozwinięciem dotychczas stosowanych metod. Podstawową zaletą metod teledetekcji jest możliwość ich stosowania bez

jakichkolwiek prac inwazyjnych w gruntach. Pomiary wykonuje się w sposób zdalny. Nie ma ograniczeń pomiarów w czasie za wyjątkiem teledetekcji satelitarnej, gdzie pomiar związany jest z częstotliwością obecności satelity w tym samym punkcie (np. ERS 1, 2, Envisat - 35 dni, Alos - 46 dni). Jeżeli jednak planowane pomiary są z jednakową częstotliwością można to uznać za zaletę. W przypadku metody LIDAR oraz skanera laserowego naziemnego, pomiary wykonywane są w zależności od potrzeb. Następną zaletą pomiarów teledetekcyjnych jest szybkość wykonania pomiaru. Skanowanie przeprowadzane jest metodą aktywną i uzyskuje się kilka tysięcy pomiarów punktowych na sekundę. Otrzymuje się „chmurę punktów” w przestrzeni trójwymiarowej. Aktualnie najbardziej przekonującą zaletą teledetekcji jest dokładność pomiarów. Rozdzielczość ruchów pionowych w obrazach satelitarnych jest ok. 2,5 cm. System LIDAR mierzy z dokładnością ok. 15 cm współrzędną wysokościową. W przypadku naziemnego skanera laserowego jest to precyzja ok. 5 mm. Analizując możliwości zastosowania teledetekcji do monitorowania osuwisk wzdłuż tras kolejowych wydaje się, że najlepszym i najdokładniejszym oraz najtańszym rozwiązaniem jest naziemny skaner laserowy. Teledetekcja satelitarna oraz LIDAR mogłyby służyć jako metody wspomagające przy dużych osuwiskach, na których usytuowana byłaby trasa kolejowa. W przypadkach osuwisk na skarpach, w wykopach oraz nasypach kolejowych monitorowanie stanu naziemnym skanerem laserowym wydaje się wystarczające.

Porównując proponowaną metodykę opartą o najnowszą i dynamicznie rozwijającą się technologię skanowania laserowego naziemnego oraz wykorzystując technologię lotniczą i satelitarną do monitorowania ruchów osuwiskowych na trasach kolejowych można stwierdzić, że będzie to unowocześnieniem dotychczas stosowanych metod. Zwiększy precyzję oceny zagrożenia i pozwoli na wyprzedzające podjęcie środków profilaktycznych dla ochrony tras kolejowych przed zniszczeniem.

Bibliografia

- [1] ASANO, Hiroki, prezentacja: *Measurement of Landslide Movement with 3D Laser Scanner*. Erosion and Sediment Control Research Group Public Works Research Institute; <http://linux01.crystalgraphics.com/view/>.

- [2] Borkowski A., Perski Z., Wojciechowski T., Józków G., Wójcik A.: *Lansalides mapping in Roznow Lake vicinity, Poland using airborne aser scanning data*. Acta Geodyn. Geomater., Vol. 8, No. 3 (163), 325–333, 2011.
- [3] Instrukcja obserwacji i badań osuwisk drogowych. GDDP. Opr. "GEODROM", Kraków 1999.
- [4] Instrukcja opracowania *Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi*. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa 2008.
- [5] Grabowski D., Bagińska A., 2010: *Uwaga zagrożenie osuwiskiem*. Folder PIG-IB, Warszawa;
- [6] Graniczny M., Kowalski Z., Jureczka J., Czarnogórska M., 2006: *Wykorzystanie technologii PSinSAR dla obserwacji przemian powierzchni terenu na przykładzie Górnego Śląska*. Mat. Symp. Warsztaty górnicze: Zagrożenia w Górnictwie. Sesja Okolicznościowa, Tomaszewice, 2-14 czerwca, Wyd. IGS-MiE. Kraków.
- [7] Kasperski J., Delacourt C., Allemand P., Potherat P., Jaud M. and Varrel E. 2010: *Application of a Terrestrial Laser Scanner (TLS) to the Study of the Séchilienne Landslide (Isère, France)*. Remote Sens. 2010, 2(12), 2785-2802.
- [8] Kleczkowski A., 1955: *Osuwiska i zjawiska pokrewne*. Wyd. Geologiczne Warszawa.
- [9] Lichun SUIa, Xue WANGa, Dan ZHAOa, Jia Qua, 2008: *Application of 3D laser scanner for monitoring of landslide hazards*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing 2008, 277-281.
- [10] Pilecka E., 2001: *Geologiczne uwarunkowania rejonów osuwiskowych w jednostce zglębickiej*. Technika Poszukiwań Geologicznych, Geosynoptyka i Geotermia nr 6, 45-47.
- [11] Pilecka E., 2008: *Indukowane podziemną eksploatacją górnictwem wysokoenergetyczne wstrząsy górotworu a lineamenty na obrazach satelitarnych*. Studia, Rozprawy, Monografie nr 144, Wyd. GSMiE PAN, Kraków, 147.
- [12] Popiołek E., Marczak H., Krawczyk A. 2006: *Możliwości wykorzystania satelitarnej interferometrii radarowej In SAR w monitorowaniu zagrożeń górniczych*. WUG (Katowice), Bezpieczeń-

stwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, 6(142)/2006, 16-19.

- [13] Rybicki S., Rączkowski W., Wójcik A., 2004: *Zjawiska osuwiskowe w Karpatach zagrożeniem dla budownictwa komunikacyjnego*. Mat. Se. Nauk.-Tech. AGH Kraków n.t. "Budownictwo tunelowe w Karpatach i jego ekologiczne uwarunkowania" Krynica 7-8 czerwca 2004 r. Uczelniane Wyd. Nauk. Dydak., Kraków, 27-36.
- [14] Zabuski L., Thiel K., Bober L., 1999: *Osuwiska we fliszu Karpat Polskich*. Wyd. IBW PAN, Gdańsk.
- [15] Wojciechowski T., Perski Z., Wójcik A. 2008: *Wykorzystanie satelitarnej interferometrii radarowej do badań osuwisk w polskiej części Karpat*. Przegląd Geologiczny, vol. 56, nr 12: 1088-1091.

Strony internetowe:

<http://korzar.sme.sk/c/5406435/katastrofalne-zosuvy-postihli-niznu-myslu-i-malu-lodinu.html>

<http://sadcizanin.info/aktualnosci-najnowsze/art/13341>

www.pgi.gov.pl/attachments/article/2812/monitoring.pdf

www.riegl.com

www.isprs.org/proceedings/XXXIII/congress/part5/593_XXXIII-part5.pdf

THE POSSIBILITIES OF LANDSIDE MONITORING ALONG RAILWAY ROUTES USING LASER SCANNING

Summary

The new possibilities of landslide monitoring along railway routes using teledetection methods have been presented in the paper. The landslides make imminent danger for railway routes and cause damages, in particular at the area of Polish Karpaty. The reason of landslides occurrence and present methods of those threats monitoring have been presented. The development of landslide monitoring using methods of satellite, air and ground teledetection have been suggested. In particular the attention have been focused on the best and by the way, the quickest and the most accurate method – ground laser scanning.

Keywords: landslide, railway route, tele-detection