



Elżbieta PILECKA*, Tomasz MANTERYŚ**

Badania przemieszczeń osuwiska w Mogilanach naziemnym skanerem laserowym

Streszczenie: W artykule opisano problemy osuwiskowe na drodze relacji Kraków–Zakopane na obejściu Mogilan. Omówiono zagrożenie osuwiskami w Polsce i zniszczenia na trasach drogowych spowodowanych tym zagrożeniem. Zaproponowano wykorzystanie nowoczesnej technologii naziemnego skanera laserowego w badaniach powierzchniowych deformacji terenu osuwiskowego. Przedstawiono parametry pomiarowe naziemnego skanera laserowego 3D RIEGL VZ-400. Opisano metodykę takich badań w powiązaniu z tradycyjnymi metodami monitorowania osuwisk. W artykule przedstawiono problemy w czasie przebudowy węzła drogowego łączącego obejście Mogilan i drogę powiatową relacji Mogilany–Świątniki Górne związane z czynnym osuwiskiem. W związku z modernizacją węzła drogowego w Mogilanach pojawił się problem z nośnością podłoża i ze statecznością skarp konstruowanego nasypu drogowego. W przypadku tej inwestycji należało zabezpieczyć nasyp drogowy przed działaniem osuwiska. W celu sprawdzenia stateczności wybudowanego węzła przeprowadzono badania przemieszczeń mas ziemnych w obrębie inwestycji. W artykule przedstawiono wyniki badań ruchów osuwiskowych metodami wgłębnyimi (inklinometry) oraz powierzchniowymi – metodą skaningu laserowego. Artykuł ma na celu zwrócenie uwagi na potrzebę doskonalenia metod monitorowania skarp i nasypów drogowych z zastosowaniem najnowocześniejszej technologii teledetekcji naziemnej.

Słowa kluczowe: osuwisko, skaner laserowy, droga

Studies of landslide movements in Mogilany by using of terrestrial laser skaner

Abstract: This paper describes the landslide problems associated with the Cracow-Zakopane road at the Mogilany bypass. It addresses the danger of landslides in Poland and the risk of route destruction caused by landslides. The use of modern technology (terrestrial laser scanning) in the study of surface deformation in the landslide area is proposed. The article presents the measuring parameters of the 3D terrestrial laser scanner RIEGL VZ-400. It compares the methodology of such measurements with traditional landslide monitoring techniques. This paper also presents problems encountered during the reconstruction of the interchange connecting the

* Dr hab. inż., Politechnika Krakowska, Kraków; e-mail: epilecka@pk.edu.pl

** Mgr inż., Politechnika Krakowska, Kraków; e-mail: t.manterys@gmail.com

bypass at Mogilany with the district road Mogilany-Świątniki Górne associated with active landslides. As a result of the road junction modernization in Mogilany, problems occurred with the load capacity and slope stability of the constructed road embankment. Therefore, this project had to be protected from the effects of road embankment landslides. In order to check the junction stability, the earth's movements were tested. The article presents the effects of landslide movements. The study was conducted using two techniques – the inclinometer method and the laser scanning method. The aim of this article is to draw attention to the need for improved methods of monitoring slopes and road embankments using the latest technology of remote ground sensing.

Key words: landslide, laser scanner, route

Wprowadzenie

Zagrożenie ruchami masowymi w Polsce jest duże, w szczególności na obszarze Karpat, gdzie jest najwięcej osuwisk. W 2011 i 2010 roku osuwiska spowodowały katastrofalne zniszczenia na trasach drogowych, 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 czasowo wyłączone z ruchu (np. droga krajowa nr 7 w miejscowości Krzeczów i Tenczyn, nr 28 w miejscowości Radocza). W 2010 roku wiele dróg wojewódzkich (w Kurowie droga 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 Lanckorona i Kłodne koło Limanowej.

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 Przeciwosuwiskowej) pozwoliły te dane uszczegółowić na terenie wybranych gmin karpackich i ekstrapolować na pozostały obszar Karpat. Obecnie szacuje się, że liczba osuwisk w Karpatach może zawierać się w przedziale 50–60 tys. W utworach fliszowych ryzyko powstania osuwiska związane jest z ułożeniem na przemian warstw piaskowca i łatwo rozmakalnego łupka ilastego oraz długotrwałym nawodnieniem tych utworów. Wiele osuwisk powstaje w wyniku nałożenia się czynników naturalnych i antropogenicznych.

1. Monitorowanie osuwisk metodą naziemnego skaningu laserowego

W związku z tak dużym zagrożeniem osuwiskami w Polsce istnieje potrzeba poszukiwania nowych metod badania tych zjawisk. W krajach dotkniętych tym zjawiskiem wykorzystuje się do monitorowania osuwisk teledetekcję, w szczególności naziemny skaner laserowy (Pilecka, Manterys 2011).

Teledetekcja (ang. *remote sensing*) to pozyskiwanie, przetwarzanie i interpretowanie danych będących wynikiem rejestracji promieniowania elektromagnetycznego. Badania teledetekcyjne można wykonywać z satelitów, samolotów lub z powierzchni Ziemi. Do badania skarp i osuwisk drogowych najbardziej wskazanym urządzeniem jest naziemny skaner laserowy (rys. 1).

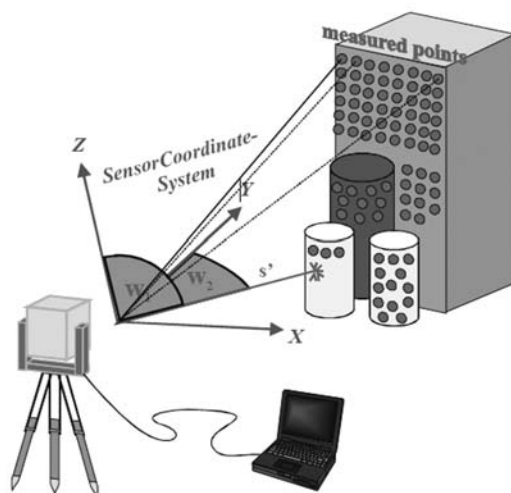
Skanowanie laserowe jest innowacyjną metodą pomiarową wykorzystującą światło lasera do pozyskania geometrycznego modelu 3D skanowanego obiektu. Wynikiem skano-



Rys. 1. Naziemny skaner laserowy (www.riegl.com)

Fig. 1. Terrestrial Laser Scanner (www.riegl.com)

wania jest chmura punktów (z ang. *point cloud*). Produktem skaningu może być zarówno sama chmura punktów jako produkt finalny, jak i po dalszym przetworzeniu plany, mapy, rysunki, modele terenu DTM, wizualizacje i wiele innych. Idea pomiaru przedstawiona jest na rysunku 2. Zasada działania skanera laserowego polega na wysyłaniu wiązki laserowego światła podczerwonego i rejestracji odbitego od obiektu sygnału.



Rys. 2. Idea pomiarów metodą naziemnego skaningu laserowego (Staiger 2003)

Fig. 2. The concept of using measurements of terrestrial laser scanning (Staiger 2003)

Powszechna obecnie jest również integracja skanera z aparatem fotograficznym, najczęściej dzięki specjalistycznej nasadce, a w nowszych modelach aparat ten może być zintegrowany z urządzeniem jako jego część. Dzięki takiemu rozwiązaniu przeprowadzając skanowanie laserowe równocześnie zbiera dokumentację fotograficzną, którą można później w prosty sposób nałożyć na chmurę punktów jako teksturę.

Obecnie najczęściej wykorzystywanymi typami skanerów laserowych są: impulsowy skaner laserowy i fazowy skaner laserowy. Pomiar w obu przypadkach polega na wyemitowaniu wiązki światła koherentnego, która odbija się od obiektu i powraca do urządzenia. Wówczas pozyskana zostaje informacja o czasie przebiegu wiązki tam i z powrotem oraz o kątach poziomym i pionowym do obiektu względem skanera. W kolejnym etapie obliczone zostają współrzędne przestrzenne każdego punktu.

Różnica pomiędzy skanerem impulsowym a fazowym sprowadza się do metody wyznaczenia odległości – poprzez pomiar czasu przebiegu impulsu (skanery impulsowe) lub poprzez pomiar fazy zmodulowanej ciągłej wiązki lasera (skanery fazowe). Naziemny skaner laserowy 3D *RIEGL VZ-400* posiada Instytut Inżynierii Drogowej i Kolejowej Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej. Zapewnia on szybkie pozyskiwanie danych przy użyciu wąskiej wiązki laserowego światła podczerwonego. Jest to skaner impulsowy. Laserowa lokalizacja o wysokiej dokładności oparta została na digitalizacji sygnału odbitego i analizie kształtu fali *online*. Pomiar jest możliwy w dwóch wariantach: *Long Range Mode* i *High Speed Mode*. Dla *Long Range Mode* częstotliwość impulsów wynosi 100 kHz, prędkość skanowania to 42000 punktów na sekundę. Maksymalny zasięg skanowania to 600 m, dokładność skanowania rzędu poniżej 5 mm. W wariacie *High Speed Mode* zmienia się częstotliwość impulsów na 300 kHz, prędkość skanowania wzrasta do 122 000 punktów na sekundę, ale maksymalna odległość, dla której zalecane jest takie skanowanie, zmniejsza się do 350 m. Dokładność skanowania pozostaje bez zmian. Ważna jest także informacja o minimalnej zalecanej odległości skanera od mierzonego obiektu: jest to 1,5 m. Skaner jest wyposażony w zintegrowany z nim odbiornik GPS (L1), o dokładności pozycjonowania 2,5 m oraz w interfejsy do pracy w sieci (LAN, WLAN). Do skanera można również podłączyć aparat cyfrowy.

2. Osuwisko w Mogilnach na drodze relacji Kraków–Zakopane

W latach 1970–1974 przebudowywano drogę relacji Kraków–Zakopane, w ramach której wykonano fragment odcinka trasy Kraków–Myślenice długości 18,4 km. Przebudowa drogi obejmowała korektę geometrycznego ukształtowania trasy, z dostosowaniem jej parametrów do wymogów drogi odpowiedniej klasy, oraz dobudowę równoległej jezdni dzięki czemu możliwe było rozdzielenie kierunku ruchu na osobne jezdnie. Przebudowa ta była konieczna ze względu na zwiększające się natężenie ruchu oraz konieczność poprawy warunków bezpieczeństwa na przedmiotowym odcinku. Według pomiarów ruchu przeprowadzonych w 1970 roku, przez odcinek drogi Kraków–Głogoczów stanowiący fragment trasy E-7 popularnie zwanej „Zakopianką” przejechało w ciągu roku 12 milionów pojazdów, co wynosi średnio 1370 pojazdów umownych na godzinę. Newralgicznym odcinkiem na tej trasie był przejazd przez miejscowość Mogilany położoną około 20 km od Krakowa. W weekendy i w okresie urlopowym tworzyły się tu kilkukilometrowe korki, co za tym idzie

ruch pojazdów był sparaliżowany. Trasa przebiegała przez centrum miejscowości, w której gęsta zabudowa nie pozwalała na znaczną korektę istniejącej trasy i uniemożliwiała dobudowanie drugiej jezdni. Zdecydowano się na wybudowanie obwodnicy Mogilan długości 3,4 km po wschodniej stronie miasta. Rozwiązanie to było dłuższe od pierwotnego o 0,7 km, lecz pozwoliło na wykonanie dwóch dwupasmowych jezdni gwarantujących poprawę warunków ruchowych na trasie Kraków–Myślenice.

Problemem okazały się powstałe w trakcie prowadzenia robót ziemnych osuwiska, a głównie masowe zsuwy skarp, jak też ruchy mas ziemnych na przyległych stokach i były one ściśle związane z budową geologiczną tych terenów. W zimie 1969/70 spadły obfite śniegi na niezamarznięte podłoże, co podczas wiosennych roztopów spowodowało infiltrację w głąb podłoża gruntowego głównej masy wód. Szczególnie duże nawilgocenie mogło powstać w czasie kilkudniowych opadów typu powodziowego w lipcu 1970 roku. W konsekwencji tej wgłębnej infiltracji zostały nawodnione utwory przypowierzchniowe, powodując ożywienie masowych ruchów stoków. Powolne spelzwanie zboczy starych osuwisk zmieniło się w typowy ruch osuwiskowy, który zagroził stateczności formowanego korpusu robót ziemnych przyszłej trasy drogowej. Wiele wykonanych głębokich wykopów spowodowało dalsze pogłębienie ruchów osuwiskowych, uwarunkowanych niekorzystnym ukształtowaniem stropu iłów oraz spływem wód gruntowych po ich powierzchni. Ogólnie można powiedzieć, że przyczyną ruchów osuwiskowych był fakt istnienia strukturalnej nieciągłości w stropie glin i iłów, gdzie wartość kohezji jest bardzo mała, oraz dużego nawodnienia warstw pyłów ponad warstwą zwietrzliny łupków. Powstałe osuwiska wstrzymały wykonawstwo robót drogowych na wiele miesięcy, gdyż konieczna stała się najpierw realizacja zabezpieczenia osuwisk, poprzedzona rozeznaniem geologicznym terenu i warunków stateczności oraz opracowaniem dokumentacji technicznej na to zabezpieczenie (WKiŁ 1978).

Na obojętności Mogilan zidentyfikowano pięć osuwisk (Paluch 2010). Opierając się na wynikach badań oraz ustaleniach przyczyn występujących procesów grawitacyjnych opracowano dokumentację techniczną na stabilizację osuwisk. Z problemem niestabilnego osuwiska zetknięto się podczas realizacji przebudowy węzła drogowego łączącego obejście Mogilan i drogę powiatową relacji Mogilany–Świątniki Górne. Inwestycja ta zlokalizowana była na terenie zagrożonym ruchami osuwiskowymi. Przyjęto dwa sposoby stabilizacji w zależności od wielkości osuwiska, jego budowy geologicznej oraz głębokości występowania warstw poślizgowych. Pierwszym sposobem było zabezpieczenie terenu osuwiska systemem drenaży głębokich i płytkich odwadniających oraz częściowa wymiana naruszonego gruntu z terenu zajmowanego przez korpus drogowy. Uporządkowano również odwodnienie powierzchniowe na terenie osuwiska (rys. 3).

Drugim sposobem było zabezpieczanie konstrukcyjne w postaci rusztu żelbetowego opartego na studniach konstrukcyjnych zakotwionych w gruntach uznanych za nośne (rys. 4, 5) (Paluch 2010).

W celu zweryfikowania realnego zagrożenia zaprojektowano i wykonano obserwację i badania tego terenu dla wykrycia ruchów masowych. W ramach inwestycji wykonano system drenaży płytkich i głębokich odwadniających teren oraz konstrukcję zabezpieczającą stateczność osuwiska (rys. 6).

Zasadniczą konstrukcję stanowi układ ścianek szczelnych (Larsena) zwieńczonych żelbetowym rusztem (rys. 7), stanowiącym podbudowę pod wykonany nasyp. Brusy stalowe



Rys. 3. Odwodnienie powierzchniowe terenu osuwiska (fot. T. Paluch)

Fig. 3. Drainage surface area landslides (phot. T. Paluch)



Rys. 4. Żelbetowy ruszt (fot. T. Paluch)

Fig. 4. Reinforced concrete grid (phot. T. Paluch)



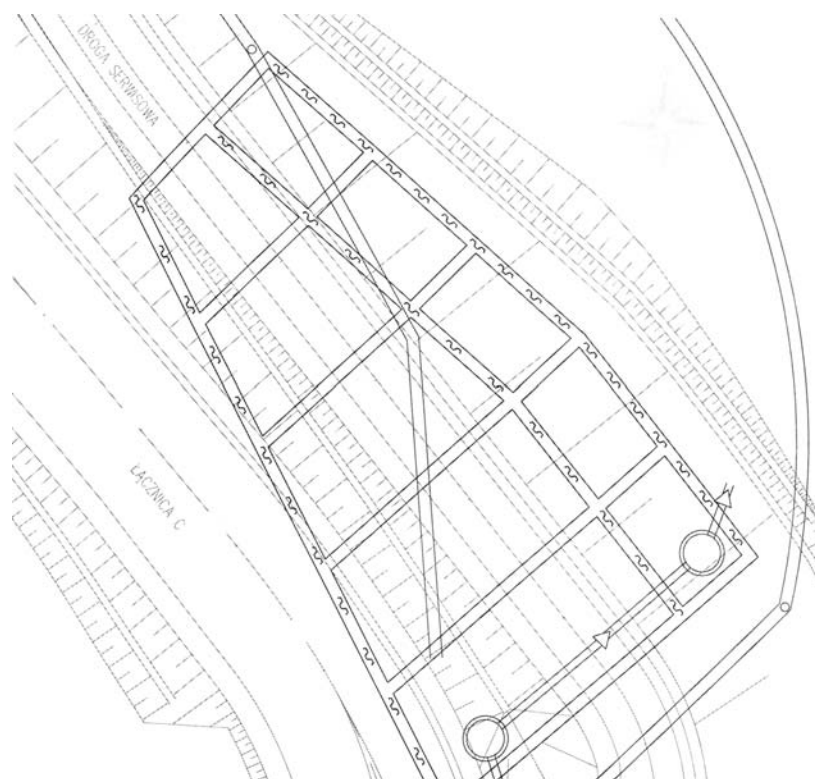
Rys. 5. Studnie – posadowienie głębokie (fot. T. Paluch)

Fig. 5. Wells – deep foundation (phot. T. Paluch)



Rys. 6. Konstrukcja zabezpieczająca osuwisko (fot. T. Manterys)

Fig. 6. The protective structure of landslide (phot. T. Manterys)



Rys. 7. Żelbetowy ruszt, wraz z układem ścianek szczelnych (mat. arch. GDDKiA)

Fig. 7. Reinforced concrete grid, with the piling system (mat. arch. GDDKiA)

tej konstrukcji sięgają poniżej powierzchni poślizgu, przez co zabezpieczają – wraz z uformowanym nasypem – koluwium osuwiska przed przemieszczeniem.

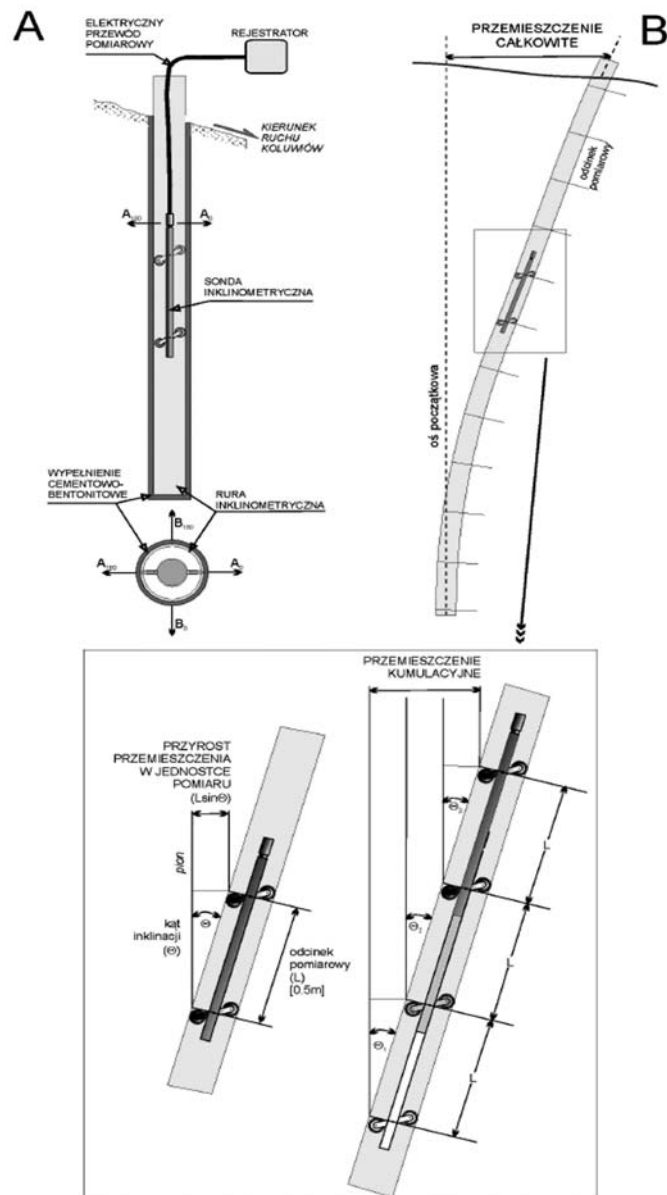
3. Monitoring osuwiska

Aktualnie w Polsce stosuje się do monitoringu osuwisk odpowiednie metody zgodnie z obowiązującym prawem i instrukcjami. Metody monitoringu oparte są głównie na „Instrukcji obserwacji i badań osuwisk drogowych” Generalnej Dyrekcji Dróg Publicznych z 1999. Drugim aktualnym 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. Dobór metod trzeba uzależnić od możliwości ekonomicznych i wymagań co do szczegółowości rozpoznania, wielkości i rodzaju osuwiska, wartości przemieszczeń, ich prędkości i położenia powierzchni poślizgu oraz warunków klimatycznych.

W tym przypadku zastosowano metodę monitoringu wgłębego opartego na systemie inklinometrów i piezometrów. Pozwoliło to na obserwację przemieszczeń koluwium

do głębokości kilkunastu metrów, oraz wahań poziomu zwierciadła wód podziemnych. Schemat badań inklinometrycznych pokazano na rysunku 8. Badania potwierdziły ruch osuwiska.

Badania inklinometryczne kontynuowano po zakończeniu inwestycji. Monitoring inklinometryczny na założonych kolumnach pomiarowych w miejscowości Mogilany–Łobzów



Rys. 8. Schemat badań inklinometrycznych (Niescieruk, Rączkowski 2007)

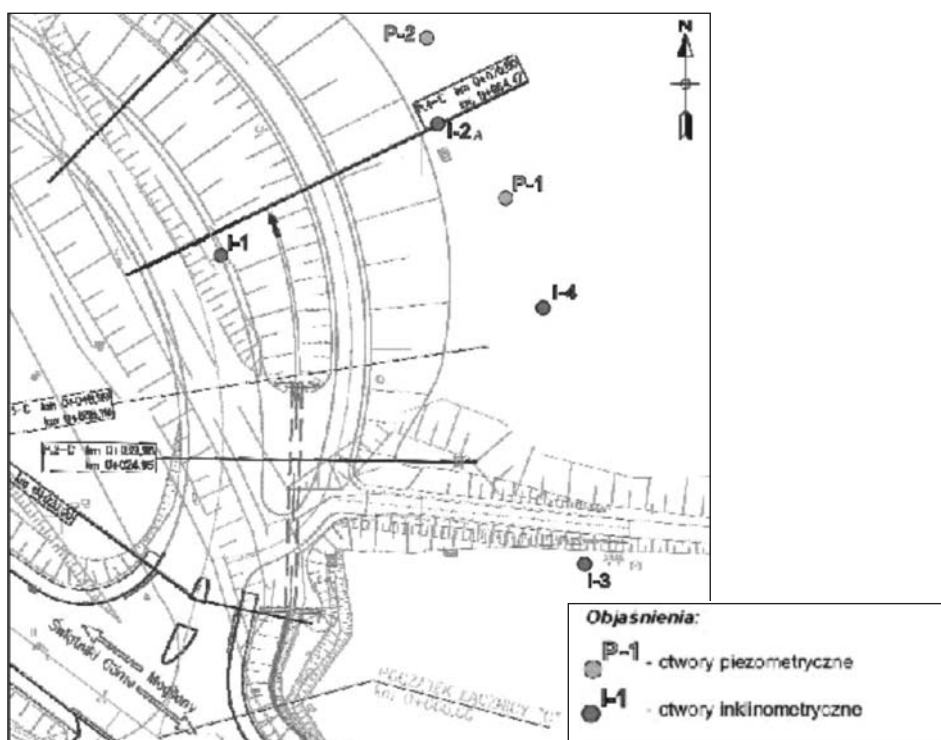
Fig. 8. Scheme of inclinometer (Niescieruk, Rączkowski 2007)

przy drodze krajowej nr 7 (E77) prowadzony jest od 5 lutego 2011 r., kiedy wykonano pierwszy pomiar „zerowy” (bazowy). Sesje pomiarowe wykonywane były w dniach:

- 25 marca 2011 r.
- 22 lipca 2011 r.
- 25 września 2011 r.
- 28 października 2011 r.
- 30 listopada 2011 r.
- 13 grudnia 2011 r.
- 20 czerwca 2012 r.

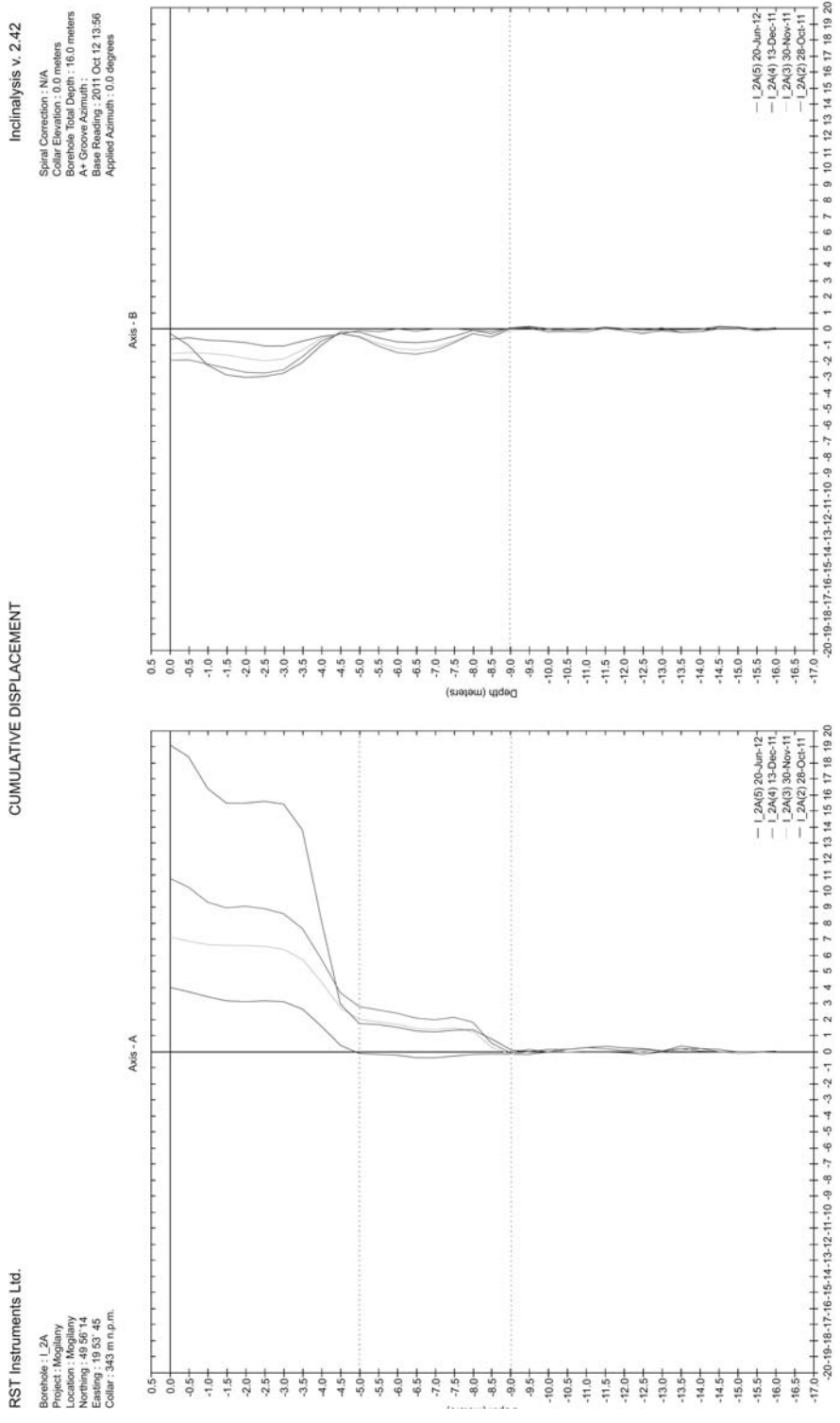
Na rysunku 9 pokazano usytuowanie inklinometrów.

W otworach I-1 i I-3 pierwotnie obserwowano stały wzrost przemieszczeń, który w I-3 osiągał wartość 2–4 mm w strefach głębszych i 12–16 mm w strefie przypowierzchniowej gruntu, a w I-3 na całej głębokości 18–19 mm. Aktualnie jednak nie zaobserwowano w tych otworach przyrostów przemieszczeń. Otwór I-4 od początku pomiarów wskazywał zmienny i nieznaczny przyrost przemieszczeń już od głębokości 13,5–13,0 m, osiągający 3 mm. Większy przyrost występował w warstwie przypowierzchniowej od 1,5 m głębokości, który w chwili obecnej osiąga 17 mm (na końcówce kolumny pomiarowej). Przyrostu sum przemieszczenia od ostatniej sesji pomiarowej nie odnotowano, a różnice pomiarowe mieszczą się w granicach błędu pomiarowego urządzenia.



Rys. 9. Usytuowanie inklinometrów i piezometrów na osuwisku (mat. archiw. PG)

Fig. 9. Location inclinometers and piezometers for landslide (mat. arch. PG)



Rys. 10. Wyniki pomiarów inklinometrycznych z otworu I2A (mat. archiw. PG)

Fig. 10. The results of the measurements of the hole inclinometer I2A (mat. arch. PG)

W nowo odwierconym otworze I2A pomiary wykonano w czterech seriach – 12 i 28 października 2011 r. oraz 30 listopada i 13 grudnia 2011 r. Pomimo krótkiego odstępu pomiędzy ówczesnymi pomiarami, można było zauważyć jednoznaczny ruch materiału koluwalnego od 9 m p.p.t. oraz większe (10 mm) przemieszczenie już od głębokości 4,5–5 metrów p.p.t. W chwili obecnej (sesja pomiarowa z 20 czerwca 2012 r.) wyniki badań świadczą o utrzymywaniu się niewielkiej aktywności jedynie na tej wyższej powierzchni (przyrost o 8 mm) (rys. 10).

5 maja 2012 roku został przeprowadzony pomiar skanerem laserowym osuwiska drogowego w Mogilanach. Pomiar wykonano w trakcie prac budowlanych prowadzących do uporządkowania terenu budowy i uformowania skarpy. Wyniki tych badań pokazano na rysunku 11 w postaci trójwymiarowego modelu skarpy.

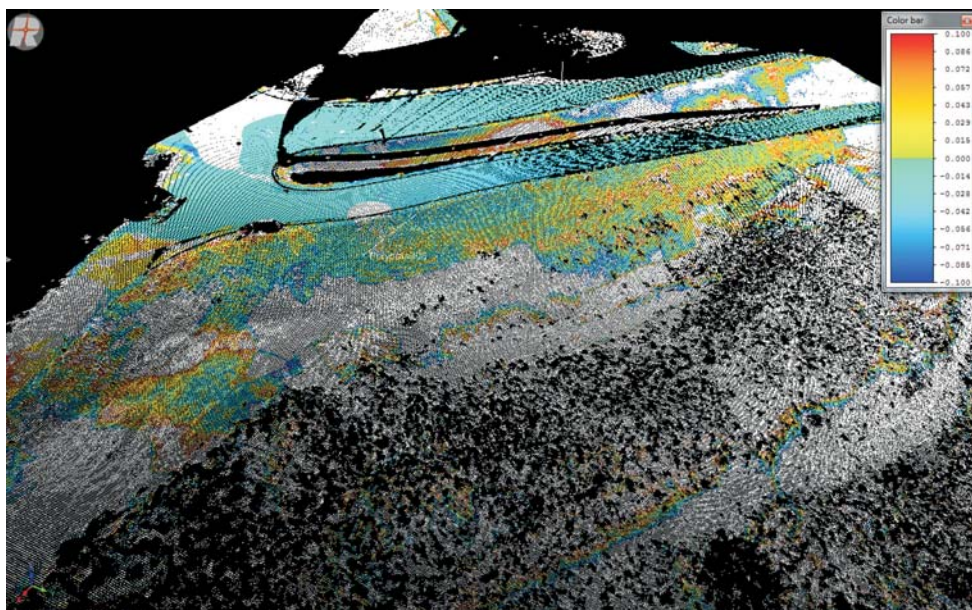
Kolejne pomiary skanerem laserowym osuwiska wykonano 15 sierpnia 2012 i 27 października 2012 roku. Uzyskane modele w kolejnych seriach pomiarowych możemy na siebie nakładać i w prosty sposób porównywać. Specjalistyczne oprogramowanie automatycznie generuje tak zwany model różnicowy, na którym widzimy pomiar pierwotny i przemieszczenia jakie na nim wystąpiły (różnice względem pierwszego modelu). Badania przeprowadzono w lokalnym układzie współrzędnych. Dzięki takiej analizie w prosty sposób możemy wykryć deformacje terenu.

Na rysunku 12 przedstawiono model różnicowy między sesją pomiarową z sierpnia 2012 roku a kolejnym pomiarem z końca października 2012. Można zauważyć nieznaczne deformacje nawierzchni jezdni i skarpy. Nawierzchnia jezdni obniżyła się o parę milimetrów, co może wynikać z konsolidacji nasypu, na którym jest wykonana. Osiadania na całej powierzchni jezdni są równomierne. Wyklucza to możliwość powstania tych odkształceń przez działanie osuwiska. Na skarpie obserwujemy lokalne deformacje: przyrosty o około 20 mm (kolor żółty) i ubytki tego samego rzędu. Takie deformacje powierzchniowe mogą



Rys. 11. Trójwymiarowy model skarpy na osuwisku w Mogilanach (fot. T. Manterys)

Fig. 11. The three-dimensional model of the landslide slope in Mogilany (phot. T. Manterys)



Rys. 12. Model różnicowy skarpy na osuwisku w Mogilanach (T. Manterys)

Fig. 12. Differential model for landslide slope in Mogilany (T. Manterys)

wynikać z działalności erozyjnej wody spływającej po skarpie i nie wskazują na aktywność osuwiska. Uzyskane wyniki świadczą o poprawnym wykonaniu zabezpieczenia osuwiska w tym miejscu. Oczywiście wskazane jest, aby kontynuować monitoring osuwiska w Mogilanach zwłaszcza na wiosnę po okresie zimowym, gdy ziemia będzie nasiąknięta wodą i po okresie długotrwałych opadów. Nie można zapominać, że osuwisko w Mogilanach ma długą historię i wykazywało długotrwałą aktywność.

Pomiary skanerem laserowym powinno się wykonywać dwa razy do roku, a w bardziej zagrożonych miejscach zagęszczać w czasie. Daje to obraz zmian deformacji w czasie a modele różnicowe w sposób obrazowy pokazują stan zagrożenia. Przemieszczenia na powierzchni terenu są bezpośrednim zagrożeniem dla nasypu drogi.

Podsumowanie

W artykule pokazano możliwości wykorzystania skaningu laserowego do monitorowania osuwisk drogowych na przykładzie osuwiska w Mogilanach. Planuje się dalsze badania tego osuwiska skanerem laserowym. Dotychczasowe doświadczenia zagranicznych badaczy świadczą o zasadności zastosowania naziemnego skaningu laserowego do badania osuwisk. Tylko kompleksowe metody badań: geodezyjne, geologiczne, hydrogeologiczne i geotechniczne i kameralne (modelowanie numeryczne) mogą wyjaśnić i znaleźć sposoby na zapobieganie ruchom osuwiskowym. Metoda skaningu laserowego powinna być wykorzystywana w monitoringu osuwisk drogowych.

Literatura

Dokumentacja prac geologicznych wykonanych dla monitoringu osuwiska w Hańczowej dla tematu „System Osłony Przeciwosuwiskowej SOPO Etap I: Kartowanie pilotażowe osuwisk wraz z wytypowaniem obszarów ich występowania w Polsce” dr P. Niescieruk, dr W. Rączkowski, Kraków PIG, 2007.

Instrukcja opracowania „Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi” 2008. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

Paluch T., 2010 – „Osuwiska zakopiańska” – lata 1970–1976. Na drodze 1(33).

Pilecka E., Manterys T., 2011 – Możliwości monitorowania osuwisk wzdłuż tras kolejowych z wykorzystaniem skaningu laserowego. Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK RP oddz. w Krakowie nr 96 (z. 158), Kraków. 449–465.

Staiger R., 2003 – Terrestrial Laser Scanning Technology, Systems and Applications, 2nd FIG Regional Conference Marrakech, Morocco.

WKiL 1978 – Osuwiska i sposoby zapobiegania im.

Wykorzystane strony internetowe:

www.riegl.com