

WYNIKI MONITOROWANIA SKUTECZNOŚCI ZABEZPIECZENIA OSUWISKA NA PRZYKŁADZIE OSUWISKA W SADOWIU NA LINII KOLEJOWEJ NR 8 WARSZAWA–KRAKÓW¹

Elżbieta Pilecka

Dr hab. inż., Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, Katedra Infrastruktury Transportu Szynowego i Lotniczego, tel.: +48 12 628 21 79, e-mail: epilecka@pk.edu.pl

Mirosława Bazarnik

Dr inż., Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, Katedra Infrastruktury Transportu

Szynowego i Lotniczego, tel.: tel.: +48 12 628 21 79, e-mail: mbazarnik@pk.edu.pl

Aleksandra Pawlak-Burakowska

Mgr inż., Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, Katedra Infrastruktury Transportu Szynowego i Lotniczego, tel.: +48 12 628 23 58, e-mail: apawlak@pk.edu.pl

Streszczenie. *W artykule przedstawiono problem występowania osuwisk wzdłuż linii kolejowych. Omówiono metody monitorowania ruchów mas ziemnych, a także sposoby zabezpieczenia nasypów i skarpi przed zjawiskami osuwiskowymi. Na przykładzie osuwiska w miejscowości Sadowie wzdłuż ważnej linii kolejowej nr 8 Kraków – Warszawa przedstawiono próbę monitoringu aktywności osuwiska metodą skanowania laserowego przyrządem RIEGL-VZ 400 oraz zaprezentowano wyniki takich pomiarów.*

Słowa kluczowe: *monitorowanie osuwisk, zabezpieczenie osuwisk, skaning laserowy, linie kolejowe*

1. Wprowadzenie

Podczas projektowania i budowy tras kolejowych bardzo częstym problemem są osuwiska. Stanowią one poważne zagrożenie dla bezpieczeństwa ruchu kolejowego. W Polsce większość terenów osuwiskowych występuje na terenie Karpat fliszowych (95% wszystkich osuwisk). Przykładem osuwiska występującego poza terenem Karpat jest osuwisko w miejscowości Sadowie na linii kolejowej nr 8 Kraków – Warszawa. W Karpatach powstawanie osuwisk związane jest z fliszem karpackim, czyli występującymi naprzemiennie warstwami piaskowców z warstwami nieprzepuszczalnych mułowców i ilowców. Długotrwałe nawodnienie takich utworów często inicjuje powstawanie osuwiska. W innych rejonach Polski podstawową przyczyną ruchów osuwiskowych jest działanie wody w niekorzystnych warunkach litologiczno-tektonicznych. W przypadkach osuwisk wzdłuż linii

1 Wkład procentowy poszczególnych autorów: Pilecka E. 35%, Bazarnik M. 30%, Pawlak-Burakowska A. 35%

kolejowych czynnikami aktywującymi mogą być prace budowlane (np. wykopy) i duże natężenie ruchu pociągów.

W latach 2010 i 2011, w związku z intensywnymi opadami deszczu, uaktywniło się wiele osuwisk w rejonie Polski południowej. Intensywne opady atmosferyczne wpływają na zmianę właściwości gruntu, co ma decydujący wpływ na powstanie osuwiska. Spowodowały one rozległe zniszczenia wzdłuż tras kolejowych. Najczęstszym problemem było zasypanie drogi kolejowej przez jęczor zsuwającego się osuwiska lub osunięcie się drogi posadowionej na powierzchni osuwiska. Na fot. 1 pokazano wykolejenie pociągu na skutek aktywacji osuwiska. Rok 2013 był zdecydowanie bezpieczniejszy pod względem zagrożenia osuwiskowego z uwagi na małe opady deszczu.



Fot. 1. Wypadek spowodowany aktywacją osuwiska w Hiszpanii w 2010 roku [10]

W ramach zapobiegania i ograniczenia negatywnego wpływu osuwisk powstał program SOPO realizowany przez Państwowy Instytut Geologiczny. W ramach projektu wykonana została inwentaryzacja rozpoznanych osuwisk na terenie Polski [6]. Osuwiska zostały zlokalizowane na mapie. Rysunek 1 przedstawia obszary zagrożone ruchami masowymi na tle przebiegu linii kolejowych.

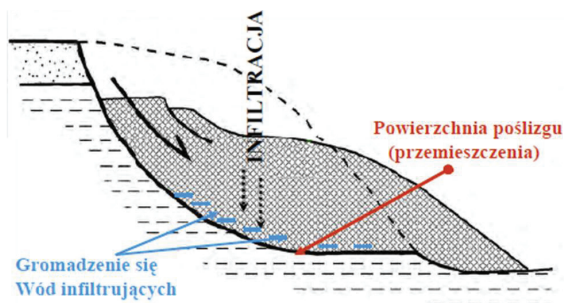
Istotnym elementem utrzymania dróg kolejowych jest odpowiednie zabezpieczenie terenów osuwiskowych. Ustabilizowanie osuwisk wiąże się z rozwiązaniem problemów hydrogeologicznych obszaru, które w dużej mierze przyczyniają się do ruchów terenu. Nie bez znaczenia jest również okresowe monitorowanie stanu i dynamiki osuwisk zarówno zabezpieczonych i bez zabezpieczeń.



Rys. 1. Rozmieszczenie osuwisk w Polsce a główne linie kolejowe {3}

2. Przyczyny powstawania osuwisk

Główną przyczyną powstawania osuwisk jest utrata stateczności zboczy lub skarp, która następuje w konsekwencji przekroczenia wytrzymałości gruntu na ścinanie wzdłuż powierzchni poślizgu (rys. 2). Ruchy takie występują najczęściej na zboczach górskich lub w dolinach rzecznych. W szlakach komunikacyjnych osuwisko może powstać również przez utworzenie wysokich nasypów, głębokich przekopów lub wykopów.



Rys. 2. Schemat powstawania osuwiska (Grabowski, PIGIB {7})

Ruch osuwiskowy może być aktywowany również przez erozję, rozluźnienie warstw tworzących zbocze, przeciążenie zbocza wodą z opadów atmosferycznych, a także działalność człowieka. Czynniki, które wpływają na ruchy mas ziemnych można podzielić na aktywne i pasywne.

Czynniki aktywne to te, które oddziałują na zbocze i ulegają zmianom w czasie, a zatem erozja wgłębna i boczna stoków, trzęsienia ziemi, ruchy tektoniczne, występowanie wody opadowej lub roztopowej. Dodatkowo w podłożach skalnych czynnikiem może być powstanie szczelin i spękań, skutkujące oderwaniem się materiału skalnego wzdłuż powierzchni. Powstanie osuwiska lub uaktywnienie się go może być również rezultatem niekorzystnie położonego zwierciadła wód gruntowych, które wpływa na parametry wytrzymałościowe gruntu.

Czynniki pasywne związane są z budową geologiczną i rzeźbą terenu. Na przykład układ monoklinalny warstw geologicznych ułożonych konsekwentnie do zbocza pod odpowiednim nachyleniem.

W warunkach polskich najczęstszą przyczyną aktywacji osuwisk jest woda. Pochodzi ona głównie z opadów atmosferycznych. Badania [6] pokazują, iż w przypadku miesięcznych opadów, większych niż 200 mm lub ich intensywności przekraczającej 7 mm/dobę mogą powstawać osuwiska. Nadmierna ilość wody może spowodować obniżenie wytrzymałości na ścinanie skał i gruntów, ale również wzrost ciężaru gruntu oraz sił dążących do utraty stateczności.

Innymi czynnikami wpływającymi na powstawanie osuwisk w Polsce są: budowa geologiczna, rzeźba terenu i działalność człowieka. Jak wspomniano wcześniej zdecydowana większość osuwisk na terenie kraju znajduje się w rejonie Karpat. Dodatkowo czynniki antropogeniczne prowadzące do podcinania zboczy lub nadmiernego obciążenia stoków zwiększają ryzyko osuwisk.

3. Metody obserwacji ruchu osuwisk

W Polsce w celu monitorowania osuwisk wykorzystywane są metody określone w następujących instrukcjach: *Instrukcja obserwacji i badań osuwisk drogowych* wydana przez Generalną Dyрекcję Dróg Publicznych w 1999 roku [1] oraz *Instrukcja opracowania Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi* wydana przez Państwowy Instytut Geologiczny PIB w 2008 roku [2].

Metody monitoringu dzielone są na powierzchniowe i wgłębne. Wybór zastosowanych metod zależy od charakterystyki osuwiska, jego wielkości, prędkości osiadania, wartości przemieszczeń pionowych, uwarunkowań klimatycznych regionu, a także możliwości ekonomicznych. Ze względu na złożoność procesu powstawania ruchów masowych ziemi przy analizowaniu problemów geologiczno-inżynierskich związanych z osuwiskami każdorazowo należy indywidualnie rozpatrywać sposób ich monitorowania.

Monitoring wgłębny osuwisk realizowany jest poprzez wykorzystanie zarurkowanych otworów i studni deformacyjnych, których zadaniem jest określenie głę-

bokości ruchów. Dodatkowo montowane są inklinometry. Urządzenia te mają za zadanie określić głębokość ruchów ziemi, ich wielkość, szybkość i kierunek. Zastosowanie piezometrów umożliwia obserwację wahań poziomu wód gruntowych.

Powierzchniowe metody monitoringu mają na celu wykrycie ruchu mas ziemnych, a także określenie zasięgu tego ruchu. Zaliczamy do nich pomiary tensometrem strunowym, poziomą mikrometryczną, jak również różne metody pomiarów geodezyjnych. Zgodnie z instrukcją wydaną przez Państwowy Instytut Geologiczny pomiary geodezyjne mogą być wykonywane za pomocą klasycznych metod geodezyjnych, a także metodą statyczną GPS. Niezależnie od wyboru metody pomiar powinien być wykonywany w oparciu o co najmniej trzy stałe punkty stabilizowane w terenie, zlokalizowane poza wpływem ruchów ziemi. Na osuwisku, w obszarach największej aktywności, stabilizowana jest siatka trwałych punktów pomiarowych. Pomiar całej siatki powinien odbywać się co najmniej trzy razy w roku, a odstępy pomiędzy pomiarami nie powinny być krótsze niż 2 tygodnie.

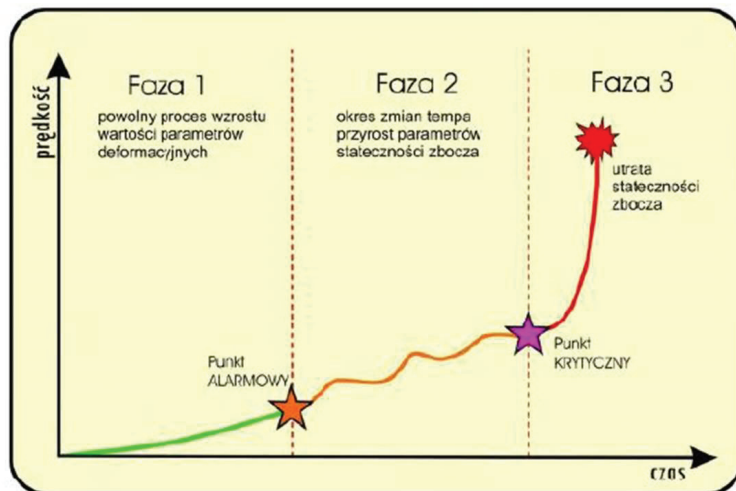
Coraz powszechniej stosowanymi metodami wspomagającymi monitoring osuwisk są metody teledetekcyjne, których dokładność jest porównywalna z tą używaną w klasycznych pomiarach geodezyjnych. Główną zaletą takich metod pomiarowych jest stosunkowo krótki czas wykonywania pomiarów, a co za tym idzie brak potrzeby blokowania badanego obiektu na długi okres. Dodatkowo pomiary takie pozwalają uzyskać dane o całym mierzonym obszarze. Dają quasi-ciągły obraz powierzchni terenu, a nie jak w przypadku klasycznych metod geodezyjnych dane o wybranych punktach pomiarowych. Kolejną zaletą takich metod jest duża automatyzacja pomiaru, jak i opracowań kameralnych. Niestety, metody te w Polsce wciąż nie są rozpowszechnione ze względu na wysoki koszt samego sprzętu.

Do wspomnianych powyżej metod można zaliczyć metody skanowania laserowego, zarówno wykonywane z powietrza (metoda lotnicza - LIDAR), jak i skanowanie naziemne. W trakcie pomiaru mierzona jest odległość pomiędzy urządzeniem, a punktami powierzchni terenu. Wiązki lasera odbijane są od obiektów, a następnie powracają do odbiornika i na podstawie długości wiązki fali i czasu obliczana jest odległość. Idea pomiaru jest zatem analogiczna, jak w dalmierzu elektromagnetycznym.

Monitoring terenów osuwiskowych możliwy jest również za pomocą interferometrii radarowej (InSAR). Analogicznie jak w przypadku skanowania laserowego możliwa jest rejestracja dużego obszaru powierzchni w krótkim czasie. Metoda ta pozwala na uzyskanie milimetrowej dokładności przemieszczeń zachodzących na powierzchni zbocza. Monitoring osuwisk jest bardzo ważny z punktu widzenia oceny zagrożenia ruchami masowymi.

Rozwój ruchu osuwiskowego prowadzącego do utraty stateczności można podzielić na trzy fazy (rys. 3). Faza pierwsza polega na powolnym procesie wzrostu parametrów deformacyjnych, faza druga to okres zmian tempa przyrostów parametrów determinujących stateczność zbocza lub skarpy i ostatnia faza, po przekroczeniu punktu krytycznego, utrata stateczności zbocza lub skarpy. Monitoring pozwala określić punkt alarmowy na skali czasowej i szybkość zmian w fazie drugiej,

która może przebiegać w bardzo krótkim czasie, co może skutkować osiągnięciem punktu krytycznego i utraty stateczności zbocza lub skarpy.



Rys. 3. Fazy rozwoju osuwiska (Grabowski, PIGIB {7})

4. Sposoby zabezpieczenia osuwisk

Rosnąca liczba terenów osuwiskowych, powstających z powodu działalności człowieka lub zmieniających się warunków atmosferycznych, przyczynia się do powstawania coraz to nowych metod zabezpieczania osuwisk. Obecnie istnieje wiele sposobów takich zabezpieczeń. Dobór metod zależy w dużej mierze od warunków geotechnicznych terenu, usytuowania skarp, a także od możliwości finansowych.

Popularną metodą zabezpieczenia skarp jest zmiana istniejącego kształtu. Zabiegi tego typu są bardzo powszechne przy likwidacji osuwisk powstałych na skarpach nasypowych lub wykopach pod budowle liniowe. Zmiana obejmuje zmniejszenie wysokości skarpy, zmianę nachylenia skarpy, usunięcie nawisów lub podsypanie w dolnej części skarpy. Stabilizacja tą metodą skutkuje zwiększeniem sił utrzymujących klin odłamu osuwiska w stosunku do zsuwu.

Bardzo ważnym elementem zabezpieczenia terenów osuwiskowych jest obniżenie zwierciadła wód gruntowych tak, aby nie przecinało ono profilu zbocza powyżej jego stopy. Obniżenie to można dokonać na kilka sposobów, w szczególności tworząc sieć odwodnienia powierzchniowego, np. rowy drenujące, a także odwodnienia wgłębne, np. drenaż typu francuskiego. Elementy odwodnienia wgłębne przejmują wody znajdujące się poniżej powierzchni terenu, którymi jest przesycony grunt, a następnie odprowadzają je poza obręb terenu osuwiskowego. Poziom wód gruntowych bardzo często ulega wahaniom, w głównej mierze jest to spowodowane warunkami klimatycznymi (zmiany pór roku), ilością opadów atmosferycznych.

Często stosowane jest zbrojenie skarp oraz nasypów geosyntetykami w celu poprawienia ich stateczności. Zazwyczaj wykorzystywane są w tym celu geosiatki lub georuszty. Geosyntetyki stabilizują grunt poprzez poprawienie warunków wodnych. W przypadku wzmocnienia skarp o nachyleniu do 45° , stabilność skarpy uzyskuje się dzięki zastosowaniu geosiatek jednokierunkowych, które zapewniają przeniesienie obciążeń gruntu na zbrojenie. Przy budowie bardziej pochyłych skarp konieczne jest silniejsze wzmocnienie, tak aby powstała trwała i odporna na osunięcia konstrukcja.

Inną metodą stosowaną w celu zabezpieczenia osuwiska jest przebudowa zbocza, co wiąże się z częściową lub całkowitą wymianą gruntów spoistych na sypkie lub zbrojenie gruntów. Powyższe metody wykorzystywane są wtedy, gdy konieczne jest zachowanie kąta nachylenia zbocza przy jednoczesnym zwiększeniu jego stateczności. Wymiana gruntów umożliwia większą przepuszczalność wody, zmniejszając tym samym zjawisko erozji i niszczenie szkieletu gruntowego.

Często stosowanym rozwiązaniem w przypadku zabezpieczeń osuwisk jest wykorzystanie wzmocnień konstrukcyjnych, takich jak mury oporowe, palowanie lub gwoździowanie gruntu, a także zastosowanie kotw gruntowych. Stosowane są one w przypadku niskich parametrów podłoża, a także w przypadku usytuowania linii kolejowej na koronie lub u podnóża zbocza.

Wykonanie konstrukcji oporowej z pali zwiększa opory ścinania wzdłuż powierzchni poślizgu, przyczyniając się do poprawy warunków stateczności. Metoda taka stosowana jest dla rozległych osuwisk o głębokich powierzchniach poślizgu lub gdy zbocze zbudowane jest z gruntów o zwartej lub twaroplastycznej konsystencji. Zabezpieczając osuwisko wykorzystuje się różnego rodzaju pale, a także przypowierzchniowy ruszt żelbetowy. Dzięki temu pale tworzą jeden przestrzenny ustrój współpracujący z gruntem, przeciwstawiający się przesuwaniu gruntu pomiędzy palami. Na terenach osuwiskowych zabronione jest wykonywanie pali metodami wywołującymi silne wstrząsy oraz powodujące dodatkowe nawodnienie gruntu. Dodatkowa, nawet niewielka ilość wody może przyczynić się do kolejnych, silniejszych ruchów geodynamicznych [5].

Gwoździowanie gruntu jest metodą wgłębno zbrojenia gruntu. Polega na „przyszyciu” materiału gruntowego przy użyciu gwoździ gruntowych tworząc tym samym blok z tworzywa zespolonego o znacznie większej wytrzymałości na rozciąganie i ścinanie. Metoda ta stosowana jest bardzo powszechnie w stabilizacji osuwisk. Gwoździowanie stosowane jest również przy stabilizacji skalnych zboczy oraz ścian wykopów. Zaletą metody jest możliwość stosowania jej na ścianach pionowych, pochyłych pod różnymi kątami lub ścianach schodkowych.

Zastosowanie kotw gruntowych jest metodą uzupełniającą dla konstrukcji z pali. Kotwy służą do wzmacniania obudów wykopów, przenoszenia sił wyciągających, a także do poprawy stateczności skarp i ścian oporowych.

Ruchy osuwiskowe mogą charakteryzować się ciągłą lub okresową aktywnością. Aktywne osuwiska cechują się wyraźnymi typowymi formami terenu, jak na przykład szczeliny, spękania, „wybrzuszenia” powierzchni terenu, występowanie zagłębień bezodpływowych oraz małych zbiorników wodnych. Osuwiska aktywne

powinny być ciągle monitorowane, również po wykonaniu stabilizacji ze względu zagrożenie, jakie stanowią dla pobliskiej infrastruktury.

5. Monitoring zabezpieczeń osuwiska na linii kolejowej nr 8 w Sadowiu

Od momentu wybudowania linii kolejowej numer 8 Warszawa- Kraków zaobserwowano osuwanie się łu i gliny na odcinku długości około 1 km we wsi Sadowie w województwie małopolskim. Osuwający się materiał częściowo zasypywał tor, a także powodował wypychanie mas łu z dna wykopu wraz z torem ku górze, do wysokości około 1 m. Osuwanie mas ziemnych na tym odcinku powtarzało się wielokrotnie, niekiedy przybierając na sile.

W celu zabezpieczenia tego fragmentu linii kolejowej przeprowadzono wiele procedur, mających za zadanie ustabilizować zbocza przekopu. Wykonano głęboki drenaż, zmniejszono nachylenie skarp do 1:3, a także wymieniono częściowo glebę na skarpie. Intensywne opady w 2010 roku spowodowały uaktywnienie się osuwiska, a w konsekwencji uszkodzenie torów kolejowych (fot. 2).



Fot. 2. Deformacja toru w maju 2010 roku (materiały archiwalne PLK)

Szkody spowodowane osunięciem się gruntu naprawiono stosując konstrukcje oporowe (fot. 3), odwodnienia powierzchniowe (fot. 4), drenaże i przypory żwirowe, studnie odwadniające wraz z instalacją lewarową, kanalizacją odprowadzającą wodę z drenaży i odwodnień powierzchniowych oraz studnie.

Mając na uwadze dane z lat wcześniejszych dotyczące aktywności osuwiska oraz zagrożenie, jakie może ono stanowić dla linii kolejowej nr 8, prowadzony jest okresowy monitoring wykorzystujący metodę naziemnego skaningu laserowego z użyciem skanera RIEGL-VZ400. Skaner laserowy jest aktualnie na wyposażeniu Katedry Infrastruktury Kolejowej i Lotniczej Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej. Dokładność pomiarów tego skanera to ok. 5 mm, a dla pomiarów w bliskiej odległości ok. 1 mm. Stały monitoring skanerem laserowym pomaga w praktycznej ocenie skuteczności wykonanych wzmocnień.



Fot. 3. Osuwisko w Sadowiu- zabezpieczenie larsenami oraz studnie odprowadzające wodę z drenażu



Fot. 4. Koryto odwiadniające z prefabrykatów betonowych

Wykonanie modelu różnicowego deformacji osuwiska skanerem laserowym polega na nałożeniu na siebie dwóch skanów w lokalnym układzie współrzędnych geodezyjnych wykonanych w określonym odstępie czasowym. W przypadku Sadowia pierwsze skanowanie wykonane było w 11 maja 2012 roku, a kolejne – porównawcze – 8 lipca 2013 roku. Dwa pomiary stanowią minimum dla zaobserwowania zaistniałych zamian, umożliwiając również obliczenie modelu różnicowego. Do interpretacji porównawczej wybrano dwa poligony badawcze. Jeden

na obszarze, gdzie wykonano odwodnienie i zabezpieczenie osuwiska larsenami (fot. 5), a drugi, tam gdzie wykonano tylko odwodnienie (fot. 6).

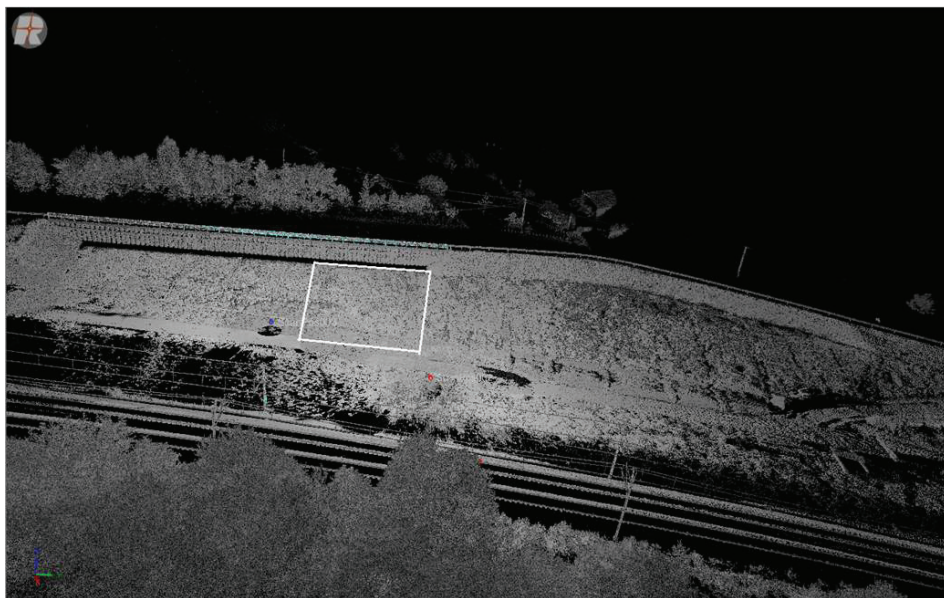


Fot. 5. Fotografia poligonu badawczego numer I w Sadowiu na linii kolejowej nr 8 Kraków – Warszawa {4}

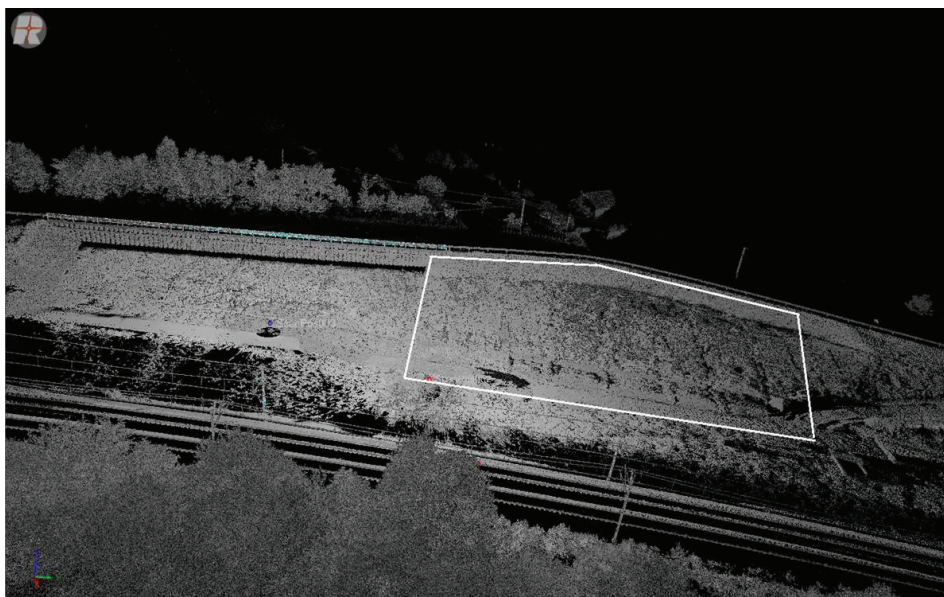


Fot. 6. Fotografia poligonu badawczego numer II w Sadowiu na linii kolejowej nr 8 Kraków – Warszawa {4}

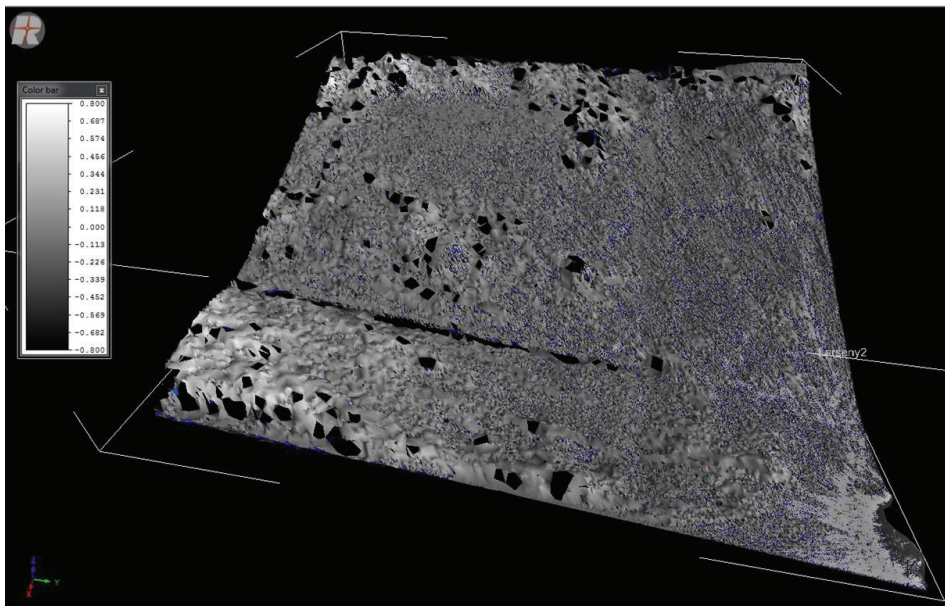
Na rysunkach 4 i 5 pokazano skany osuwiska w Sadowiu z zaznaczonymi poligonami badawczymi I i II. Takie skany powstają ze złożenia wielu skanów w specjalistycznym oprogramowaniu. Każdy skan wykonany został z innego punktu w terenie. Pozwala to na zwiększenie dokładności pomiaru i wyeliminowaniu tzw. martwych pól.



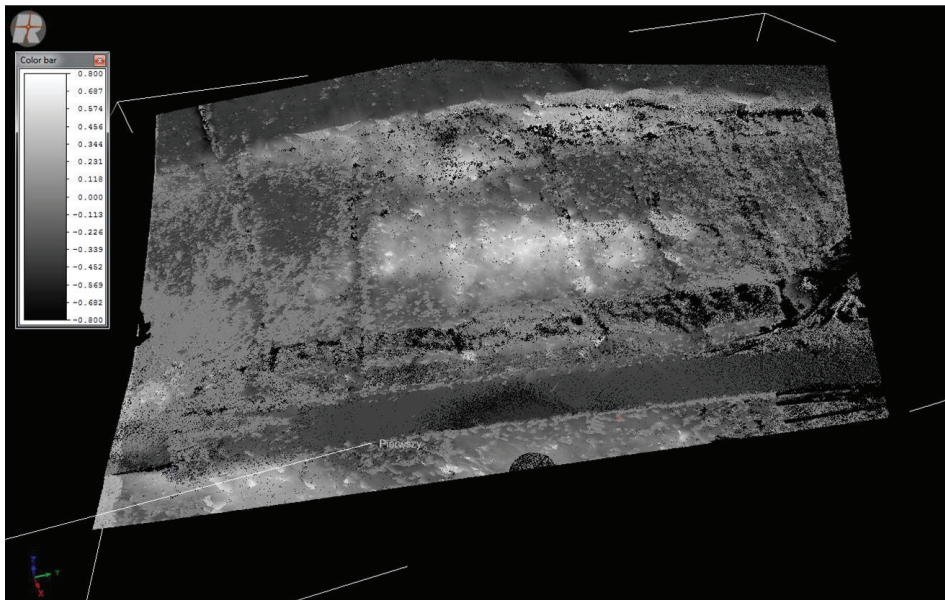
Rys. 4. Skan poligonu badawczego numer I w Sadowiu na linii kolejowej nr 8 Kraków – Warszawa {4}



Rys. 5. Skan poligonu badawczego numer II w Sadowiu na linii kolejowej nr 8 Kraków – Warszawa {4}



Rys. 6. Model różnicowy poligonu badawczego numer I w Sadowiu na linii kolejowej nr 8 Kraków – Warszawa {4}



Rys. 7. Model różnicowy poligonu badawczego numer II w Sadowiu na linii kolejowej nr 8 Kraków – Warszawa {4}

Z przeprowadzonej analizy wyników badań naziemnym skanerem laserowym wynika, że obszar poligonu badawczego numer I nie uległ deformacji (rys. 6). Nie-wielka zmiana w dolnym lewym rogu obszaru badawczego wynika, z pozostawie-

nia gruzu budowlanego, użytego do budowy dolnej drogi. Na drugim poligonie badawczym można natomiast zaobserwować zmiany deformacyjne (rys. 7). Cały obszar pod drogą uległ deformacjom ujemnym o wartości ok. 40 cm.

Obserwuje się deformacje także na dolnej drodze, które mogą być spowodowane użytkowaniem drogi technicznej przez maszyny budowlane. Natomiast w środku obszaru badawczego powierzchnia terenu uległa przemieszczeniu średnio o ok. 40 cm. Jest to niepokojące zjawisko, gdyż może ono sugerować aktywację ruchów osuwiskowych. Można przypuszczać, że jest to konsekwencją obniżenia się nasypu drogowego. Niemniej jednak należy kontynuować monitorowanie osuwiska, a nawet poszerzyć zakres badań o inne metody, np. monitoringu wgłębnego. Pozytywnym aspektem przeprowadzonych badań jest stwierdzenie, że obszar wzmocniony larsenami i odwodniony nie uległ przemieszczeniom.

6. Podsumowanie

W artykule przedstawiono wyniki monitorowania metodą skanowania laserowego osuwiska w Sadowiu na linii kolejowej numer 8 Kraków – Warszawa. Osuwisko było poddane pracom zabezpieczającym, zastosowano konstrukcje oporowe – larseny oraz odwodnienia powierzchniowe i podziemne. Pierwszy pomiar przeprowadzono bezpośrednio po zakończeniu prac zabezpieczających w postaci konstrukcji oporowych. Analizę przeprowadzono na dwóch poligonach badawczych I – z larsenami, II – bez larsenów. Podczas analizy modeli różnicowych w poligonie badawczym I nie zaobserwowano deformacji w ciągu ok. roku, natomiast na obszarze poligonu badawczego wystąpiły deformacje ujemne i dodatnie. Ujemne przemieszczenia, czyli ubytek powierzchni terenu zaobserwowano bezpośrednio pod nasypem drogi, co może być efektem jej użytkowania. Dodatkowo przemieszczenia zaobserwowano w środku obszaru badawczego. Może to być konsekwencją ruchów pod nasypem drogowym, ale nie można wykluczyć możliwych ruchów osuwiskowych. Zaleca się kontynuowanie badań i poszerzenie ich o monitoring wgłębny. Zastosowanie skaningu laserowego pozwala na ocenę stopnia deformacji w określonym przedziale czasowym, W tym przypadku był to odstęp prawie roczny. Linia kolejowa numer 8 Kraków – Warszawa jest bardzo ważną strategiczną drogą kolejową i jej monitorowania jest uzasadnione.

Bibliografia

- [1] Instrukcja obserwacji i badań osuwisk drogowych. GDDP. Opr. „GEO-DROM”, Kraków 1999.
- [2] Instrukcja opracowania „Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi” 2008, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

- [3] Pilecka E., Bazarnik M., Pawlak-Burakowska A., Osuwisko na linii kolejowej nr 8 Warszawa- Kraków w Sadowiu - nowe możliwości monitorowania, Zeszyty Naukowo-techniczne SITK nr 3(99)/2012, Kraków 2012.
- [4] Pilecka E., Pawlak-Burakowska A., Jagła M., Sudek-Wiśniewska U., Dokumentacja wyników badań terenowych skanerem laserowym z 8.07.2013r. Katedra Infrastruktury Transportu Szynowego i Lotniczego, archiwum, 2013.
- [5] Pisarczyk S., Gruntoznawstwo inżynierskie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
- [6] Zabuski L., Thiel K., Bober L., Osuwiska we fliszu Karpat Polskich, Wyd. IBW PAN, Gdańsk 1999.
- [7] http://www.pgi.gov.pl/images/stories/informacje_prasowe/warsztatygeologia/osuwiska.pdf.
- [8] <http://www.pgi.gov.pl/pl/oddzial-karpacki/geozagrozenia-karpaty/karpackie-osuwiska.html>.
- [9] http://www.wiking.edu.pl/article_print.php?id=26.
- [10] <http://moto-andalucia.com/latest-news/rail-services-back-to-normal-after-landslide/>.