

Elżbieta PILECKA, Tomasz MANTERYS

MOŻLIWOŚCI OCENY BEZPIECZEŃSTWA DRÓG USYTUOWANYCH NA OSUWISKACH NA POSTAWIE MONITORINGU NAZIEMNYM SKANEREM LASEROWYM

W artykule przedstawiono możliwości oceny bezpieczeństwa dróg usytuowanych na naturalnych osuwiskach na podstawie monitoringu naziemnym skanerem laserowym RIEGL VZ-400. Ocena oparta jest na porównaniu aktualnych zarejestrowanych deformacji nasypów drogowych z modelem numerycznym dla najbardziej niekorzystnej sytuacji geotechnicznej.

WSTĘP

W artykule przedstawiono możliwości wykorzystania monitoringu skarp i nasypów drogowych usytuowanych na naturalnych osuwiskach w Karpatach. Badania przeprowadzono na drodze krajowej nr 75 wzdłuż odcinka drogi w km od 51+900 do 52+700 w miejscowości Tęgoborze – Just. Występuje tam naturalne osuwisko, na którym usytuowana jest droga krajowa (rys.1).



Rys.1. Lokalizacja osuwiska Just – Tęgoborze [1]

Osuwisko jest aktywne, posiada kartę dokumentacyjnej osuwiska – Osuwisko nr: MPL0051 opracowaną przez GEODROM Kraków dla GDDKiA [2], oraz „kartę dokumentacyjną osuwiska numer ewidencyjny 12 – 10 – 102, numer roboczy osuwiska 14”, opracowaną przez Państwowy Instytut Geologiczny — Państwowy Instytut Badawczy [5]. Ze względu na rodzaj ruchu osuwisko zalicza się do zsuwów, o formie złożonej. Natomiast ze względu na rodzaj materiału jest to osuwisko skalno – zwietrzelinowe. Obserwacje naziemnym skanerem laserowym RIEGL-VZ-400 prowadzono od 2013 roku, a ostatnie badania przeprowadzono 11 czerwca 2016 roku. Monitorowanie polega na tworzeniu modeli różnicowych z pomiarów. Na tej podstawie można oceniać aktywność ruchów osuwiskowych. W artykule przedstawiono także możliwość oceny zagrożenia osuwiskowego na podstawie otrzymanych wyników z pomiarów naziemnym skanerem laserowym i modelowania numerycznego w programie MIDAS GTS NX dedykowanego do zagadnień geotechnicznych. Jest to szczególnie ważne ze względu na bezpieczeństwo odcinka drogi krajowej nr 75 położonego na tym osuwisku (rys.2).



Rys.2. Deformacja nawierzchni drogi DK75 [2]

1. MONITOROWANIE OSUWISK NAZIEMNYM SKANEREM LASEROWYM

1.1. Nowoczesna metoda monitorowania nasypów i skarp drogowych

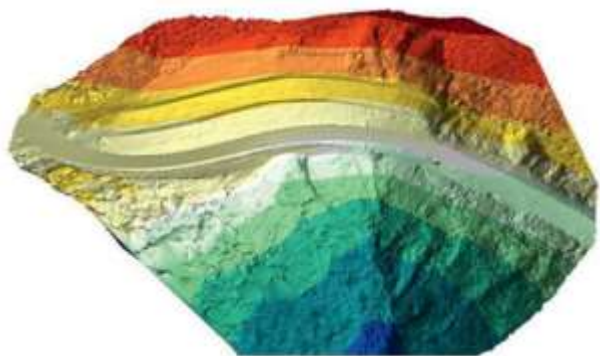
W związku z dużym zagrożeniem osuwiskami w Polsce istnieje potrzeba poszukiwania nowych metod badań tych zjawisk. W krajach, które dotknięte są tym zjawiskiem wykorzystuje się do monitorowania osuwisk teledetekcję w szczególności naziemny



Rys. 3. Pomiary naziemnym skanerem laserowym RIEGL VZ-400 (fot. E. Pilecka)

skaner laserowy [5]. Skanowanie laserowe jako metoda monitorująca ruchy osuwiskowe jest nową metodą. Z tego względu została ona wybrana jako nowoczesny i szybko informujący system o przemieszczeniach na osuwisku, na którym jest droga, co pozwoli na podniesienie bezpieczeństwa ruchu komunikacyjnego (rys.3).

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.2). Skanowanie laserowe jest innowacyjną metodą pomiarową wykorzystującą światło lasera do pozyskania geometrycznego modelu 3D skanowanego obiektu. Naziemny Skanowanie Laserowe TLS (Terrestrial Laser Scanner) jest technologią, w której mierzymy czas powrotu wiązki lasera odbitej od badanej powierzchni do urządzenia pomiarowego. Znając prędkość fali elektromagnetycznej oraz czas, przyrząd oblicza odległość w jakiej znajduje się konkretny punkt w przestrzeni. Rejestrowany jest również kąt emisji wiązki lasera (pionowy oraz poziomy). 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. Na rysunku 4 przedstawiono model osuwiska uzyskany na podstawie pomiarów skanerem naziemnym skanerem laserowym - TLS (Terrestrial Laser Scanner).



Rys.4. Model osuwiska uzyskany na podstawie pomiarów skanerem TLS w miejscowości Brest w 2012 roku [4]

Najczęściej wynikiem skanowania jest chmura punktów (z ang. „point cloud”). Z modelu 3D można wykonywać dowolne przekroje przez badaną powierzchnię. Przetwarzanie danych uzyskanych w procesie skanowania wykonano z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania RiSCAN PRO.

Pierwszym etapem obróbki danych skaningowych jest połączenie danych z wszystkich stanowisk pomiarowych. Zarejestrowane pojedyncze skany w postaci tzw. „chmur punktów” są łączone w całość. Łączenie danych uzyskanych z poszczególnych stanowisk pomiarowych wykonuje się w sposób półautomatyczny. Polega to na przybliżonym określeniu położenia względem siebie poszczególnych skanów przez operatora. Następnie przy użyciu specjalnej funkcji programu zostaje wyznaczone dokładne położenie względem siebie poszczególnych „chmur punktów”. Po wprowadzeniu do programu współrzędnych skanera podczas wykonywania pomiaru punkty pomiarowe ze wszystkich skanowań zostaną transponowane do układu współrzędnych geodezyjnych.

Kolejnym etapem jest filtracja danych pomiarowych. Połączone „chmury punktów” tworzą całkowity model badanego obszaru. W tym etapie usuwane są punkty tworzące obiekty zbędne do utworzenia numerycznego modelu obiektu. Np. podczas prowadzenia monitoringu osuwiska tworzony jest model powierzchni terenu. Dlatego w procesie filtracji danych pomiarowych usuwane są punkty tworzące szatę roślinną, budynki i inne nieistotne obiekty. Program umożliwia

automatyczną filtrację danych pomiarowych poprzez zastosowanie odpowiednich funkcji. Filtracja danych może zostać również wykonana przez operatora w sposób manualny, jednak jest to proces bardzo pracochłonny i wykonuje się ją tylko na małym obszarze.

Ostatnim etapem przetwarzania danych skaningowych jest interpolacja danych. Po filtracji danych pozostaje „chmura punktów”, z których tworzony jest numeryczny model skanowanego obiektu, poprzez łączenie sąsiadujących ze sobą punktów powierzchniami trójkątnymi. Ze względu na dużą liczbę punktów pomiarowych wykonuje się model utworzony z nieregularnej siatki trójkątów, pokrywających całą powierzchnię badanego obiektu. Na wykonanym modelu dokonuje się analiz różnicowych oraz innych pomiarów i obliczeń dla skanowanego obiektu. Dokładność wyników skanowania wynosi od 1-5 mm.

1.2. Wyniki monitoringu skanerem laserowym RIEGL VZ-400

W związku ze stałymi uszkodzeniami drogi krajowej DK 75 w km od 51+900 do 52+700 w miejscowości Tęgoborze – Just prowadzono obserwacje naziemnym skanerem laserowym RIEGL-VZ-400 od 2013 roku do 11 czerwca 2016 roku. Na rysunku 5 pokazano poprzeczny uskoki na asfalcie powstały w wyniku ruchów osuwiskowych, co wskazuje na konieczność monitorowania osuwiska.



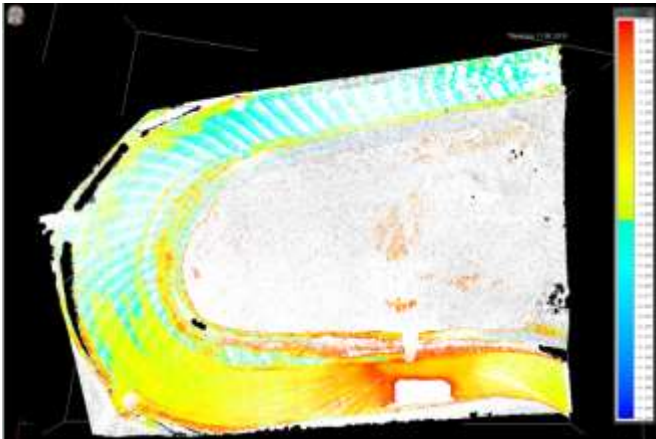
Rys. 5. Uszkodzenia na DK 75 w km 52+350 – 52 + 381 (2010 r.) [7]

Na osuwisku wykonano model 3D z pomiarów skanerem laserowym (rys.6)

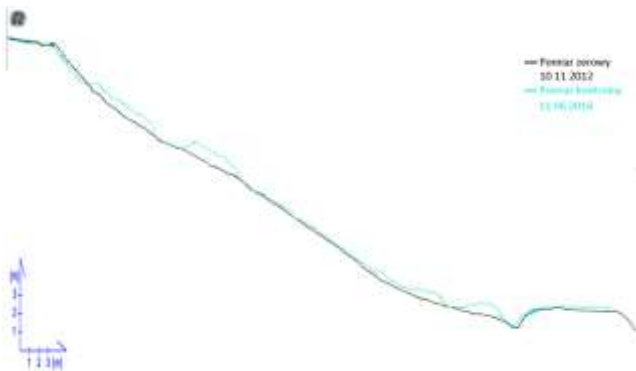


Rys. 6. Model 3D osuwiska DK 75 na osuwisku Just

Dalsze opracowanie wyników pomiarów obejmowało wykonanie modeli różnicowych (rys.7). W celu szczegółowego dowiązania pomiarów do warunków geologicznych na modelu różnicowym osuwiska Just wykonano przekrój w linii przekroju geologicznego (rys.8). Na tym przekroju przeprowadzono także numeryczną analizę MES, którą omówiono w punkcie 2.



Rys. 7. Model różnicowy (plan) pomiędzy pomiarem zerowym 10.11.2012 a pomiarem kontrolnym 11.06.2016



Rys. 8. Model różnicowy (przekrój) pomiędzy pomiarem zerowym 10.11.2012 a pomiarem kontrolnym 11.06.2016

2. WYNIKI MODELOWANIA NUMERYCZNEGO W EKSTREMALNYCH WARUNKACH GEOTECHNICZNYCH

2.1. Czynniki powodujące utratę stateczności dróg na osuwiskach we fliszu karpackim

Osuwiska we fliszu karpackim charakteryzują się szczególną podatnością na aktywację ze względu na swoją budowę geologiczną (rys.9). W utworach fliszowych ryzyko powstania osuwiska związane jest z ułożeniem warstw na przemian piaskowca i łatwo rozmiakłego łupka ilastego oraz długotrwałym nawodnieniem tych utworów. Flisz karpacki w uproszczeniu to na przemian ułożone warstwy piaskowców i łupków ilastych. Drugą charakterystyczną cechą budowy geologicznej fliszu karpackiego jest istnienie pod warstwą gleby strefy zwietrzalej, która charakteryzuje się dużym rozdrobieniem materiału skalnego. Taka warstwa strefy zwietrzalej ułożonej na podłożu skalnym także posiada dużą podatność na osuwanie i wtedy strefa poślizgu jest między strefą zwietrzałą a podłożem skalnym. Największe prawdopodobieństwo powstania strefy poślizgu na kontakcie zwietrzliny i warstw skalnych fliszu karpackiego jest wtedy, gdy warstwy fliszu zalegają równoległe do potencjalnego kierunku zsuwu zwietrzliny - osuwisko konsekwentne.



Rys. 9. Przykład uszkodzenia drogi we fliszu karpackim spowodowane osuwiskiem po długotrwałych deszczach w 2010 roku Kurów – droga 975 nad jeziorem Rożnowskim [8]

Istnieje wiele podziałów przyczyn występowania osuwisk. Poniżej przedstawiono kilka z nich. Czynniki powodujące ruchy osuwisk można podzielić na dwie grupy:

- czynniki pasywne;
- czynniki aktywne.

Do grupy czynników pasywnych zaliczamy przede wszystkim budowę geologiczną podłoża. To od rodzaju gruntów zależy czy dany teren posiada predyspozycje do osuwania się mas ziemnych. Istotnym czynnikiem jest także układ warstw oraz właściwości litologiczne podłoża. Innym czynnikiem jest występowanie stref osłabienia ośrodka gruntowego. Nachylenie i profil terenu są kolejnymi elementem należącym do tej grupy czynników, które bezpośrednio wpływają na możliwość wystąpienia ruchów osuwiskowych. Stoki o dużym nachyleniu są bardziej narażone na osuwiska. Budowa geologiczna jest ważnym czynnikiem warunkującym powstanie osuwiska.

Głównymi czynnikami aktywnymi, które wpływają na możliwość powstania osuwisk są procesy geologiczne i warunki hydrogeologiczne. Procesami geologicznymi, które prowadzą do osunięć się gruntu jest erozja oraz występujące w pobliżu trzęsienia ziemi. Istotny jest poziom wód gruntowych, ponieważ woda zmienia właściwości mechaniczne ośrodka gruntowego, co może skutkować utratą stateczności skarpy lub zbocza. Duże znaczenie ma jest wzrost wilgotności gruntu wywołany intensywnymi opadami oraz gwałtownymi roztopami na wiosnę. Kolejnym, równie istotnym czynnikiem przyczyniającym się do powstawania terenu osuwiskowego jest działalność człowieka. Przyczyną uaktywnienia się osuwiska może być podcięcie stoku podczas budowy drogi lub linii kolejowej oraz nadmierne obciążenie zabudową tego obszaru. Istotne są również drgania związane z ruchem pociągów czy samochodów oraz prowadzonymi w pobliżu robotami ziemnymi.

Z punktu widzenia sposobu oddziaływania na stateczność osuwiska czynniki można podzielić na:

- 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.)
- 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.).

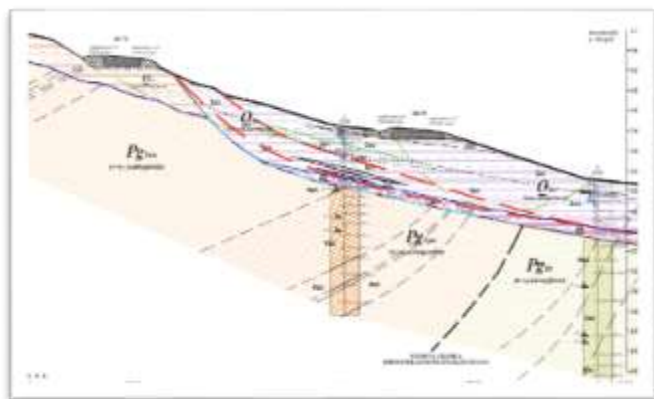
Inny podział przyjmuje kryterium przyczyny wystąpienia osuwisk i w związku z tym osuwiska można podzielić na:

- naturalne
- antropogeniczne.

Naturalnymi przyczynami osuwisk są skutki działania sił przyrody, takie jak podcinanie zbocza przez cieki, abrazja morską, zmiany obciążenia zbocza osadami (np. narastanie pokryw zwietrzelinowych, namywanie lub zmywanie osadów, akumulacja eoliczna itp.), zmiany warunków hydrogeologicznych, rozwój pęknięć i szczelin w wyniku działalności roślin i zwierząt, rozwój sufozji w zboczu itp. W Karpatach erozja w obrębie dolin rzecznych (szczególnie abrazja boczna) jest częstą przyczyną powstawania osuwisk. Nawodnienie gruntów na skutek długotrwałych opadów lub/i roztopów. Woda jest głównym czynnikiem naturalnym uaktywniania ruchów osuwiskowych. Nasyceciem gruntu wodą, co skutkuje wzrostem jego ciężaru – jako że woda wypiera powietrze z wolnych przestrzeni między cząsteczkami gruntu. Przyczyn może być wiele – główną rolę odgrywają tutaj opady deszczu. Z doświadczeń wynika, że najbardziej groźne są opady nie te intensywne, ale deszcze o mniejszym natężeniu jednakże długotrwałe. Dostarczona woda przyczynia się do zwiększenia wilgotności, wielkości ciśnienia porowego, plastyczności czy zwięzłości gruntu i utworów skalnych. Gdy skały zostaną przepelnione wodą ich własności znacznie się zmieniają. Dotyczy to przede wszystkim utworów półzwardych i luźnych (tj. ropy, piaski, gliny, łupki, margle, kruche piaskowce, itp.), w mniejszym stopniu utworów zwięzłych. Zmiana właściwości gruntów pod wpływem zawartości wody ma znaczny wpływ na ich zachowanie się względem ciśnienia. Ma to duże znaczenie przy tworzeniu się osuwisk. Ilość wody i jej infiltracja wpływa znacząco na poziom wód gruntowych. Częste wahania poziomu wód gruntowych (naprzemienne nawadnianie i wysuszenie) przyczyniają się do obniżenia wytrzymałości gruntu, co ułatwia przemieszczanie się utworów. Obniżenie kohezji głębiej położonych utworów powodować może osunięcie się większych mas gruntów, czego bezpośrednią przyczyną jest zwiększenie wilgotności tych gruntów. Również nawodnienie utworów powierzchniowych wywołuje ich szybkie przemieszczanie się. Istnieje także pośredni wpływ zwiększenia ilości wody na powstawanie osuwisk. Erozja wglębna i boczna powodują zmiany spadków zbocza, przez co powstają zsuwy. Woda zmienia właściwości gruntów. Zawodniony grunt ma większy ciężar objętościowy, ze względu na wypełnienie porów wodą. Tym samym sam grunt bez dodatkowego obciążenia pojazdami zwiększa niebezpieczeństwo wystąpienia osuwiska.

Antropogeniczne przyczyny powstania osuwisk przede wszystkim podcinanie skarp i zbocza, zmiany ich ukształtowania, obciążanie lub odciążanie zbocza, oddziaływania dynamiczne, zmiany warunków wodnych.

2.2. Modelowanie numeryczne w programie MIDAS GTS NX



Rys. 10. Przekrój geologiczno-inżynierski zbocza Just-Tęgorbórze zamodelowany w programie [2]

Model czynnego osuwiska przyjęto na podstawie dokumentacji geologiczno - inżynierskiej [2], opracowanej w 2011 r., bezpośrednio

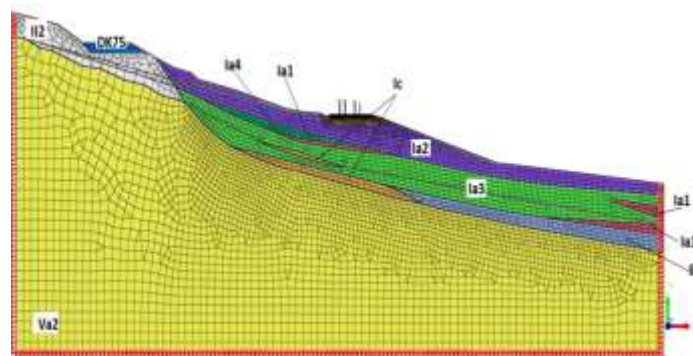
po zwiększonej aktywności osuwiska. Geometrię modelu przyjęto na podstawie przekroju geologiczno-inżynierskiego (Rys. 10.) opracowanego na podstawie wierceń i sondowań geologicznych. Skala rysunku przewymiarowana w skali pionowej. Przyjęcie modelu fizycznego na podstawie szczegółowego rozpoznania geotechnicznego.

Analiza objęła porównanie przemieszczeń uzyskanych z numerycznej analizy modelu, w którym nastąpiła utrata stateczności. Parametry do modelowania numerycznego przyjęto na podstawie [2]. Poniżej przedstawiono wartości przyjęte do obliczeń.

Zgodnie z wymaganiami podanymi w Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych [3], obciążenie nasypu drogowego przyjęto równe 115 kN na 1 oś pojazdu, co odpowiada ciśnieniu kontaktowemu wywieranemu przez koło pojazdu na nawierzchnię równemu 850 kPa. Obciążenia przyłożono do trzech nasypów drogowych w postaci 4 sił skupionych dla każdego nasypu. Przyjęto rozstaw kół pojazdów 1.5 m. Obciążenie ma za zadanie imitować maksymalne obciążenie nasypu, przy założeniu maksymalnego natężenia ruchu w danym przekroju drogi. W obliczeniach numerycznych uwzględniono ciężar warstw geotechnicznych.

Geometrię modelu przyjęto na podstawie dokumentacji geologiczno-inżynierskiej [2]. Model zdyskretyzowano płaskimi mieszczymi (czworobocznymi i trójkątnymi) elementami skończonymi wyższych rzędów. Model podzielono na 180826 elementy skończone (Rys. 11.). Warstwy skał zamodelowano jako sprężyste, dyskretyzując je rzadszą siatką elementów skończonych. Pominięto uwzględnianie warstw skalnych w analizie stateczności zbocza. Warunki brzegowe przyjęto zgodnie z zaleceniami analizy stateczności zbocza w geotechnice, jako nieprzesuwne z blokadą w kierunku poziomym i pionowym u podstawy modelu. Krawędzie boczne modelu zablokowano na przesuw w kierunku poziomym, umożliwiając przesuw w kierunku pionowym.

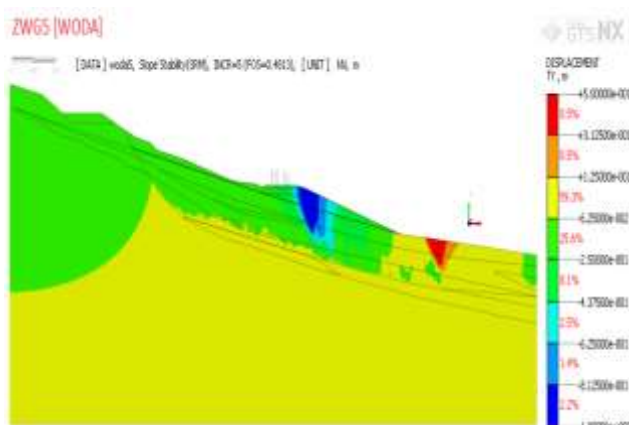
Obciążenia przyłożono do trzech nasypów drogowych, modelując najbardziej niekorzystną sytuację obliczeniową (rys.12).



Rys. 11. Dyskretyzacja modelu w programie MIDAS GTS NX zbocza JUST-TĘGORBORZE

Wykonano obliczenia dla najbardziej niekorzystnej sytuacji osuwiskowej. Przyjęto, że woda jest wiodącym czynnikiem aktywującym osuwiska zgodnie z rozpoznaniem literaturowym i przykładami katastrof w Polsce i na świecie. Parametry dla tych najbardziej niekorzystnych warunków wodno-gruntowych przyjęto zgodnie z inżynierskim kalkulatorem parametrów geotechnicznych gruntów. Jednocześnie obciążono nasyp drogowy.

W wyniku obliczeń uzyskano niestateczność badanej części drogi krajowej 75 i zsuw osuwiska. Współczynnik stateczności Fos wyniósł Fos = 0,48 (rys.12).



Rys. 12. Przesunięcia na kierunku pionowym uzyskane dla wskaźnika bezpieczeństwa $FoS = 0,48$

Jest to jednoznaczna sytuacja w tych najgorszych warunkach po całkowitym zawnodnieniu warstw gruntu aż do granicy z terenem. Jest to sytuacja hipotetyczna, która nie wystąpiła w rzeczywistości. Mogłaby ona powstać po długotrwałych obfitych opadach deszczu i podniesieniu się zwierciadła wód gruntowych aż do granicy terenu. Jednocześnie musiałyby być obciążenie trzech nasypów drogowych pojazdami.

3. ANALIZA WYNIKÓW

Ocenę zagrożenia ruchem osuwiskowym drogi krajowej nr 75 na badanym odcinku w różnych przedziałach czasowych wykonano na podstawie maksymalnych przemieszczeń w badanym przekroju. Wyniki otrzymane z wykonanych z pomiarów naziemnym skanerem laserowym w różnych terminach porównywano z pomiarem zerowym.

Tab. 1. Wartości przemieszczeń na przekroju

Data	Dni	Przemieszczenie d_{max} [m]
2012-11-10	0	0
2013-04-27	168	0,11
2013-10-22	346	0,18
2014-04-04	510	0,2
2014-08-14	642	0,16
2016-06-11	1309	0,19

W badaniach brano pod uwagę maksymalne przemieszczenia, aby zawsze oceniać sytuację najbardziej niekorzystną z punktu widzenia ruchu osuwiskowego.

W ten sam sposób odczytana wartość przemieszczenia pionowego z wyników modelowania numerycznego programem MIDAS GTS NX w najbardziej niekorzystnych warunkach geotechnicznych wynosi 0,80 m.

Do oceny stopnia zagrożenia osuwiskowego zaproponowano przez T. Manterysa następujący wskaźnik zagrożenia osuwiskowego R_o :

$$R_o = \frac{d_{max}}{D_{max}} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

d_{max} – maksymalne przemieszczenie odczytane z modelu różnicowego otrzymanego z pomiarów skanerem laserowym

D_{max} – maksymalne przemieszczenie odczytane z modelu numerycznego dla ekstremalnie niekorzystnych warunków geotechnicznych.

Wskaźnik ten na dzień 11 czerwca 2016 roku wynosi 38%. Można ogólnie powiedzieć, że takie jest zagrożenie ruchem osuwiskowym drogi krajowej 75 na badanym odcinku Just.

PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono możliwość szybkiej oceny sytuacji i oceny bezpieczeństwa dróg usytuowanych na naturalnych osuwiskach w oparciu o monitoring powierzchniowy naziemnym skanerem laserowym RIEGL VZ-400. Zastosowano także metodę modelowania numerycznego, które daje nam obraz sytuacji hipotetycznej o katastrofalnych skutkach, czyli utratę stateczności nasypu drogowego na osuwisku. Wskaźnik zagrożenia osuwiskowego na dzień 11 czerwca 2016 roku wynosi 23%. Można ogólnie powiedzieć, że takie jest zagrożenie ruchem osuwiskowym drogi krajowej 75 na badanym odcinku Just.

BIBLIOGRAFIA

1. Chowaniec J., Wójcik A., *Osuwiska w województwie małopolskim. Atlas – przewodnik* Wydawnictwo Kartograficzne Compass, s. 89-91, Kraków 2012.
2. *Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla opracowania systemu zabezpieczenia strefy osuwiskowej nr MPL0051, w ciągu drogi krajowej nr 75 od 51+900 do 52+700 w miejscowości Tęgorozże-Just*, Zakład Usług Geologicznych i Projektowych Budownictwa i Ochrony Środowiska – GEOTECH, Kraków 2011.
3. GDDKiA, *Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych*, Politechnika Gdańska, Gdańsk, 2013.
4. Perski Z., Wojciechowski T., Wójcik A., Nescieruk P., „Techniki naziemne, lotnicze i satelitarne w rozpoznawaniu osuwisk”, *Geoinżynieria. Drogi, mosty, tunele*, 4/2013.
5. 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.
6. Wójcik A., Nowicka D., *Karta dokumentacyjna osuwiska numer ewidencyjny 12-10-102, numer roboczy osuwiska 14*, Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, 2010.
7. <https://www.gddkia.pl> (dostęp 2016)
8. <http://www.youtube.com/watch?v=qq3lBoG7XRM> (dostęp 2014).

Possibility of safety assessment of roads located on landslides based on monitoring terrestrial laser scanner

The article presents the possibility of assessing the safety of roads located on natural landslides on the basis of the monitoring terrestrial laser scanner RIEGL VZ-400. The rating is based on a comparison of current registered deformation of road embankments of the numerical model for the most disadvantaged geotechnical.

Autorzy:

dr hab. inż. **Elżbieta Pilecka**, prof. PK– Politechnika Krakowska
mgr inż. **Tomasz Manterys** – Zarząd Dróg Wojewódzkich w Krakowie