

DIAGNOSTYKA NASYPU DROGOWEGO ZLOKALIZOWANEGO NA CZYNNYM OSUWISKU Z WYKORZYSTANIEM NAZIEMNEGO SKANINGU LASEROWEGO I NUMERYCZNEGO MODELOWANIA

W artykule omówiono metodę diagnostyki nasypu drogowego zlokalizowanego na czynnym osuwisku z wykorzystaniem pomiarów powierzchniowych uzyskanych naziemnym skanowaniem laserowym RIEGL -400 VZ i rezultatów modelowania numerycznego nawierzchni drogowej na czynnym osuwisku, uzyskanych w programie MIDAS GTS NX®. Wyniki otrzymane obiema metodami posłużyły do oceny przydatności analizowanej nawierzchni drogowej do celów użytkowych transportu samochodowego

WSTĘP

Projektowanie i utrzymanie infrastruktury transportu samochodowego na terenach górzystych jest zadaniem skomplikowanym. Złożone warunki gruntowo-wodne oraz urozmaicona rzeźba terenu determinują lokalizację infrastruktury drogowej przebiegającej wzdłuż stoków i zboczy, powodując ich przecięcie. Niejednokrotnie jest to związane ze spełnieniem wymagań projektowych [8]. Powoduje to naruszenie istniejących warunków gruntowo-wodnych. Intensywne opady atmosferyczne na naruszonych zboczach górskich i stokach powodują obniżenie parametrów wytrzymałościowych gruntu. Przyczynia się to uaktywnienia ruchów masowych, powodujących płynięcie całych mas gruntu. Ich skutkiem są rysy i szczeliny podłużne wzdłuż nawierzchni drogowej przebiegającej równoległe do rzędnych terenu osuwiska. W praktyce inżynierskiej dominuje projektowanie nawierzchni drogowej z uwzględnieniem płaskiego stanu odkształcenia [PSO] bazującej na modelu dwuwymiarowym. Powyższe założenia mogą być z powodzeniem stosowane na terenach równinnych, gdzie przebieg warstw geologicznych nie ulega znaczącym zmianom. Natomiast na terenach górzystych układ warstw geologicznych jest zaburzony, przed czynniki związane z ruchami masowymi, które wystąpiły w przeszłości geologicznej danego obszaru [6]. Nie uwzględnienie przestrzennej budowy geologicznej obszaru wraz z naruszeniem naturalnego przebiegu terenu przy realizacji nawierzchni drogowej, może się przyczynić do lokalnych deformacji nawierzchni lub awarii całego nasypu drogowego. Powoduje to znaczne utrudnienia w komunikacji na rozważanych obszarach. Niezbędna wydaje się szybka diagnostyka nawierzchni drogowej, na której zaobserwowano pojawienie się rys i szczelin. W porę zdiagnozowana szybkość narastania deformacji, umożliwia ocenę stopnia aktywności osuwiska oraz umożliwi zastosowanie zabiegów minimalizujących czynniki wpływające na rozwój ruchów masowych (np. odwodnienie nasypu drogowego, zmniejszenie obciążenia pionowego nawierzchni). Ostateczna decyzja będzie zamknięcie jezdni zagrażającej bezpieczeństwu użytkowników ruchu drogowego.

Popularną metodą diagnostyki nawierzchni drogowej na terenach osuwiskowych jest stosowanie reperów pomiarowych oraz inklinometrów umożliwiających ocenę szybkości narastania deformacji w analizowanym obszarze. Diagnostyka istniejących obiektów budowlanych na podstawie pomiarów geodezyjnych i wyników

analizy numerycznej [11], może być skutecznie stosowany do obiektów budowlanych umożliwiając ocenę aktualnego stanu w sytuacjach awaryjnych lub nietypowych. Pomierzone wartości deformacji pionowych reperów umożliwiają wyznaczenie przybliżonej powierzchni deformacji terenu, co w przypadku porównania z wynikami uzyskanymi w programach numerycznych wiąże się z pewnymi błędami. W przypadku obiektów infrastruktury liniowej, do której zaliczane są nasypy drogowe, charakteryzujące się często brakiem punktów stałych umożliwiających szybka ocenę stanu awarii konstrukcji, diagnostykę można przeprowadzić w oparciu o modelowanie numeryczne połączone z oceną odpowiedzi gruntu uzyskaną w wyniku pomiaru naziemnym skanowaniem laserowym. Ocena zgodności uzyskanych przemieszczeń z wartościami pomierzonymi, umożliwi ocenę poprawności przyjętych danych do modelowania numerycznego oraz przyczyni się do określenia dalszego rozwoju deformacji analizowanego obszaru drogi na czynnym osuwisku.

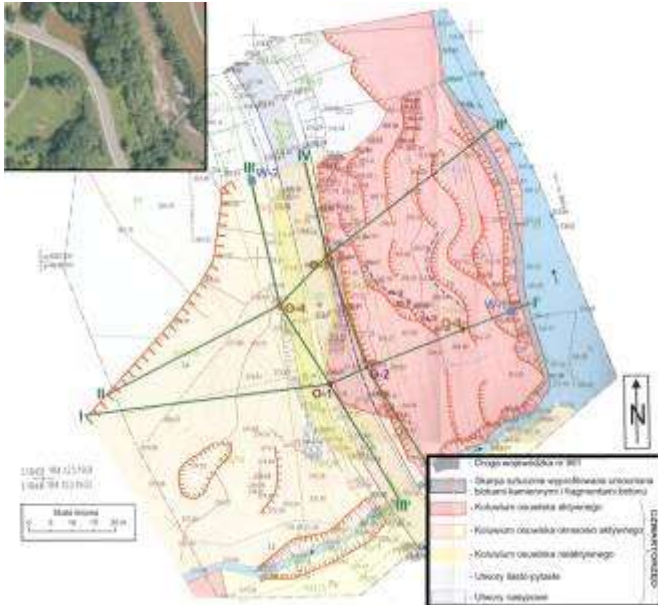
W artykule skupiono się na diagnostyce nawierzchni drogowej w ciągu drogi wojewódzkiej DW 981 ma odcinku 100km 3+890-3+960 relacji Grybów –Krynica Zdrój, ze względu na:

- lokalizację drogi na czynnym osuwisku,
- posadowienie nasypu drogowego w złożonych warunkach gruntowych,
- odcinek drogi został poddany monitoringowi, ze względu na deformację na nawierzchni.

Analizę numeryczną wraz z obróbką danych uzyskanych przy pomocy naziemnego skanowania laserowego opracowano w Katedrze Współdziałania Budowli z Podłożem Politechniki Krakowskiej. W analizie wykorzystano przemieszczenia pionowe nawierzchni drogowej zlokalizowanej na czynnej powierzchni poślizgu. Wykorzystano dokumentację geologiczno-inżynierską [1] oraz rzędne poziomu wody w piezometrach. Badanie przeprowadzono w oparciu o obliczenia statyczne, ze względu na przyjęty czas analizy odpowiadający wykonaniu sąsiednich pomiarów naziemnym skanowaniem laserowym. Analizy dynamiczne, przedstawione w artykule [6], wykazały brak znaczącego wpływu obciążenia dynamicznego na zwiększoną propagację deformacji wzdłuż czynnej powierzchni poślizgu. Również na podstawie analizy stateczności zbocza [6] stwierdzono, że nasyp drogowy posadowiony jest na czynnym osuwisku.

1. LOKALIZACJA I WARUNKI GEOLOGICZNE

Poddany diagnostyce odcinek nawierzchni drogi zlokalizowany jest w ciągu drogi wojewódzkiej DW 981, na odcinku 100km 3+890-3+960 relacji Grybów- Krynica Zdrój, w miejscowości Kałowa w powiecie nowosądeckim, województwie małopolskim [rys.1.1]. Analizowany odcinek jest jednojezdniową drogą dwupasomową o przeciwnych kierunkach ruchu. Nawierzchnia jezdni składa się z warstwy asfaltowej. Teren osuwiska jest częściowo zalesiony i pokryty roślinnością krzewiastą. W sąsiedztwie drogi wojewódzkiej zlokalizowane są budynki mieszkalne. Odcinek drogi znajduje się na czynnym osuwisku, znajdującym się po zachodniej stronie rzeki Biała.



Rys. 1.1. Strefa osuwiska z zaznaczonymi profilami geotechnicznymi [1]

Ekspertyza [1] przeprowadzona w 2014r. wykazała, że osuwisko w początkowym stadium rozwoju było zabezpieczone mikropaliami, umiejscowionymi wzdłuż wschodniej krawędzi jezdni [rys. 1.2.].



Rys.1.2. Odstąpięte podłoże pod drogą wojewódzką wskutek osunięcia skarpy głównej osuwiska.

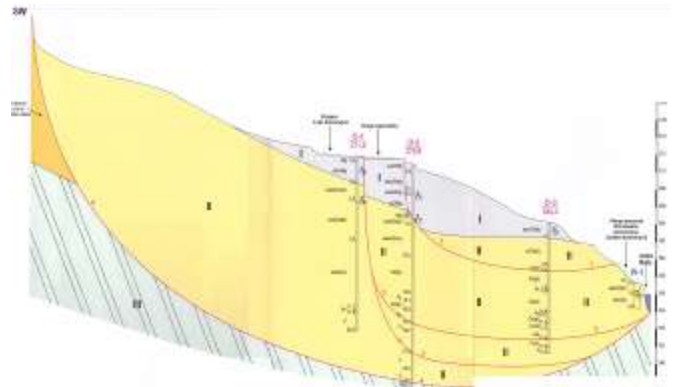
Aktualna wizja lokalna wykazała znaczne pęknięcia w nawierzchni drogowej [rys.1.3.], zabezpieczone lepikiem asfaltowym, wraz z wyraźnym obniżeniem części jezdni wzdłuż wschodniej krawędzi drogi. Uszkodzony fragment został zabezpieczony tym-

czasową barierą ochronną. Przejazd przez analizowany odcinek drogi zrealizowano z wykorzystaniem płyt betonowych.



Rys.1.3. Rysa podłużna wzdłuż osi jezdni nawierzchni drogi wojewódzkiej

Nasyt drogowy posadowiony jest na czwartorzędowych gruntach (warstwa I) antropogenicznych w postaci okruchów betonu, otoczków, żwirów o miąższości 3.0 m. Dodatkowo w rejonie otworu O2 [rys. 1.4.] zlokalizowano w części spągowej warstwy I miękkoplastyczne ropy z pyłami i piaskiem. W warstwie I na głębokości 1.6 m p.p.t. oraz 3.5 m i 6.2 m.p.p.t. w otworach wiertniczych O1 i O2 [rys. 1.4.] stwierdzono sączenie wody. Poniżej warstwy I występują czwartorzędowe grunty kolidualne w postaci ropy z pyłem i piaskiem oraz ropy z okruchami piaskowca i łupka. Grunty warstwy II charakteryzują się różnorodnym stanem plastyczności od zwartej po miękkoplastycznej. Spąg warstwy II zlokalizowany jest na głębokości 17 m p.p.t. Warstwa II swym zasięgiem obejmuje cały obszar badań. Miąższość warstwy w rejonie otworu badawczego O2 wynosi 25m. Ostatnią wydzieloną warstwą osuwiska są górnokredowe, naruszone w wyniku ruchów masowych, utwory lizowe (warstwa III), w skład których zaliczono łupki ilaste, łupki i piaskowce drobnoziarniste. Warstwa III zalega na całym obszarze analizowanego osuwiska poniżej spągu warstwy III.

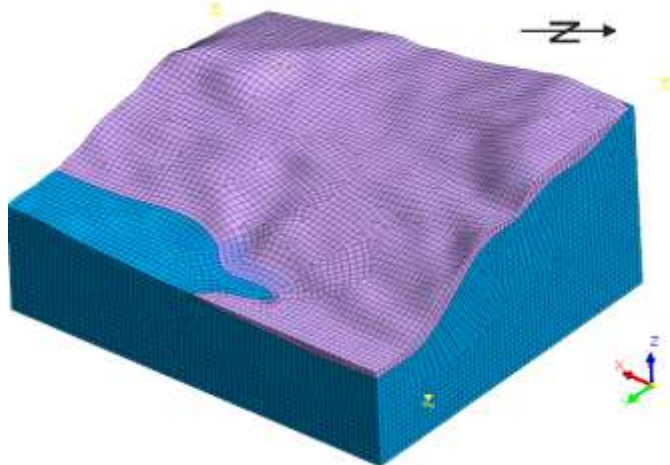


Rys. 1.4. Profil geologiczny osuwiska w płaszczyźnie I-I

2. ANALIZA NUMERYCZNA

Diagnostykę nasypu drogowego w ciągu DW 981 wykonano z użyciem pakietu MIDAS GTS NX®, bazującego na metodzie elementów skończonych. Model numeryczny zbudowano z uwzględnieniem przestrzennej rzeźby powierzchni terenu uzyskanej na podstawie naziemnego skaningu laserowego. Przestrzenny układ warstw geotechnicznych oraz płaszczyznę zwierciadła wód gruntowych, wygenerowano na bazie profili geotechnicznych, których przebieg zlokalizowany był w 4 różnych płaszczyznach przecinających się ze sobą pod różnymi kątami. Aproksymację powierzchni stropów warstw geotechnicznych przeprowadzono przy założeniu

liniowej zmiany wzdłuż sporządzonych profili geotechnicznych. Model numeryczny zdyskretyzowano 110000 elementami skończonymi typu hexahedral [rys.2.1]. W modelu zastosowano warunki brzegowe w postaci przegubów przesuwnych względem osi pionowej, blokując przemieszczenia na kierunku poziomym, dla płaszczyzn xz i yz . Dolną podstawę modelu unieruchomiono na wzdłuż osi x,y,z .



Rys. 2.1. Trójwymiarowy model terenu zaimplementowany w programie MIDAS GTS NX®

Parametry warstw zaimplementowanych w modelu MES przyjęto w oparciu o dokumentację geologiczno-inżynierską [1]. Tabela 2.1 przedstawia przyjęte modele gruntów wraz z parametrami.

Tab. 2.1. Parametry charakterystyczne warstw zaimplementowane w modelu MES [6]

Nazwa/Sym.	ϕ [°]	c [kPa]	γ [kN/m ³]	E_0 [MPa]	ν [-]	I_L [-]
II /II	6.75	25.0	19.56	9.1	0.3	0.80
Łupki /III	-	-	21.49	500	0.4	-
Droga	-	-	25	3000	0.3	-

Wartości kąta tarcia wewnętrznego ϕ i spójności c , ciężaru objętościowego γ , stopień plastyczności I_L , przyjęto według dokumentacji [1], natomiast moduły odkształcenia podłużnego E_0 , współczynnik Poissona ν , przyjęto zgodnie z literaturą [2],[3],[9]. Warstwę II ilów zamodelowano modelem gruntu Coulomba-Mohra jako idealnie sprężysto-plastyczną bez wzmocnienia plastycznego. Warstwę III łupków oraz warstwę dróg zamodelowano modelem materiały izotropowo sprężystego.

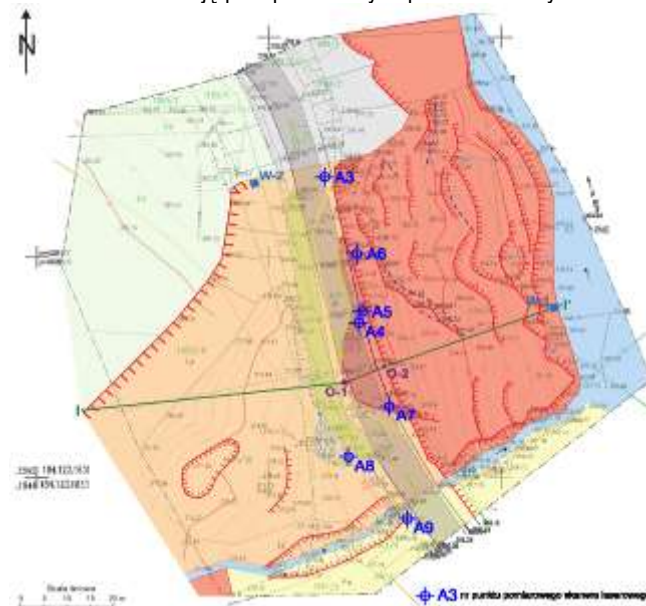
Analizę numeryczną osuwiska przeprowadzono jako pierwszy etap diagnostyki istniejącego stanu nasypu drogowego zlokalizowanego na czynnym osuwisku. Obliczenia przeprowadzono w dwóch etapach.

Etap I obejmował uzyskanie przestrzennego stanu naprężenia modelu odpowiadającego warunkom panującym w dniu wykonania pierwszego pomiaru naziemnym skanowaniem laserowym. Pominięto przemieszczenia i odkształcenia modelu.

Etap II zawierał analizę deformacji modelu uzyskanych po czasie odpowiadającym wykonaniu drugiego pomiaru naziemnym skanowaniem laserowym. Czas analizy przyjęto równy 125 dniom. W modelu pominięto wpływ oddziaływania dynamicznego przejeżdżających pojazdów na propagację deformacji wzdłuż analizowanego obszaru osuwiska. Jak wykazały analizy numeryczne omówione w artykule [6], przejazd pojazdów z różnymi prędkościami przez analizowane osuwisko powoduje wzrost deformacji w początkowym stadium obciążenia, objawiającym się zmniejszeniem współczynnika bezpieczeństwa stateczności osuwiska, niemniej z biegiem czasu deformacje ulegają stabilizacji.

3. MONITORING PRZEMIESZCZEŃ NASYPU

Lokalizacja nasypu drogowego na czynnym osuwisku spowodowała konieczność objęcia odcinka drogi stałym monitoringiem naziemnym skanerem laserowym. Wykonane pomiary deformacji rzeźby terenu posłużyły do oceny poprawności numerycznej modelu, przyjętych danych materiałowych i modułów odkształcenia podłoża. Pomiary naziemnym skanowaniem laserowym prowadzone były w dwóch odstępach czasowych. Pierwszy pomiar wykonano dnia 18.12.2015 r., natomiast ostatni 25.04.2016 r. Pomiary wykonano naziemnym skanerem laserowym RIEGL -400 VZ w 7 punktach pomiarowych, rozlokowanych wzdłuż analizowanego fragmentu osuwiska. Lokalizację pkt. pomiarowych pokazano na rys. 3.1.



Rys. 3.1. Lokalizacja punktów pomiarowych naziemnego skaningu laserowego.

Skaner RIEGL-400 VZ charakteryzuje się zasięgiem skanowania od 400m do 500m z dokładnością pomiarową 5mm. Proces pomiarowy nazywamy skanowaniem laserowym [4] charakteryzuje się automatycznym pomiarem istniejących obiektów lub terenów dzięki zastosowaniu wysokiej częstotliwości próbkowania. Skaner wykorzystuje połączenie skanowania ramowego i liniowego oraz przetwarza uzyskany sygnał analogowy na cyfrowy w postaci „chmury punktów” [7], [rys.3.2.].



Rys. 3.2. Przykładowa „chmura” punktów z pierwszego pomiaru 4.08.2015 r.

Monitoring z wykorzystaniem naziemnego skaningu laserowego umożliwia wygenerowanie quasi ciągłego odwzorowania skanowanego obszaru w postaci „chmury punktów”, zlokalizowanych w przestrzeni za pomocą współrzędnych x,y,z . Porównanie uzyska-

nych modeli przestrzennych umożliwia uzyskanie różnic w deformacjach jakie zaszły w terenie w czasie między dwoma kolejnymi pomiarami badań.

Istotnym zagadnieniem podczas monitoringu terenu naziemnym skanerem laserowym jest jakość uzyskanych wyników pomiarowych [4]. Znaczący wpływ na zniekształcenie uzyskanych rezultatów badań mają czynniki atmosferyczne, czy liczne zadrzewienia występujące w sąsiedztwie przeprowadzonego monitoringu. Powodują one uzyskanie modelu przestrzennego z olbrzymią ilością zakłóceń. W artykule skupiono się na ocenie osiadań pionowych analizowanej infrastruktury drogowej narażonej na negatywne skutki ruchów masowych. Ocenę przeprowadzono w oparciu o wyniki uzyskane metodą numeryczną z pomiarami uzyskanymi naziemnym skanerem laserowym.

4. OPRACOWANIE WYNIKÓW

Monitoring naziemnym skanerem laserowym przeprowadzono dnia 18.12.2015 r. i 25.04.2016 r. Na rys. 3.1 pokazano lokalizację punktów badawczych na analizowanym fragmencie osuwiska. Przeprowadzone pomiary umożliwiły stworzenie „chmury punktów”, na podstawie której sporządzono trójwymiarowy model terenu, wygenerowany z aproksymacji „chmury punktów” trójkątnymi elementami skończonymi [rys. 4.1 i rys. 4.2],

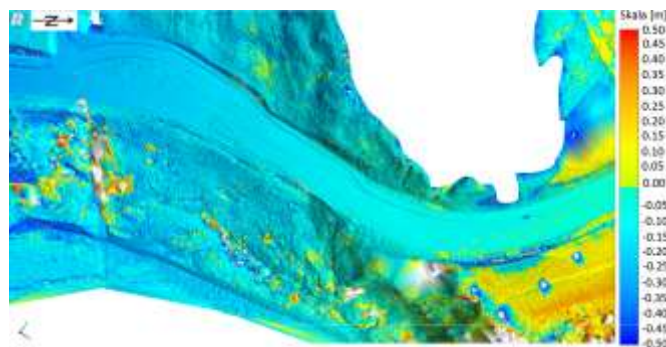


Rys. 4.1. Numeryczny model najbardziej zagrożonego odcinka DW 981 otrzymany z pomiarów w dniu 4.08.2015 r., użyty do zamodelowania powierzchni



Rys. 4.2. Numeryczny model najbardziej zagrożonego odcinka DW 981 otrzymany z pomiarów w dniu 18.12.2015 r.

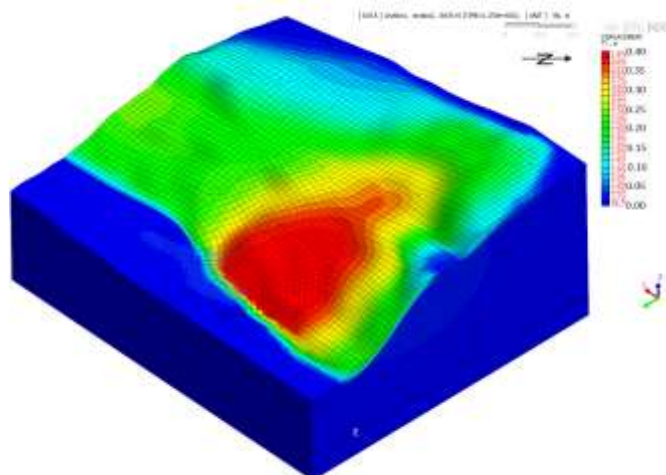
Uzyskane modele przestrzenne siatek porównano z wykorzystaniem metody różnicowej. Na rys. 4.1 przedstawiono przemieszczenia pionowe analizowanego fragmentu osuwiska.



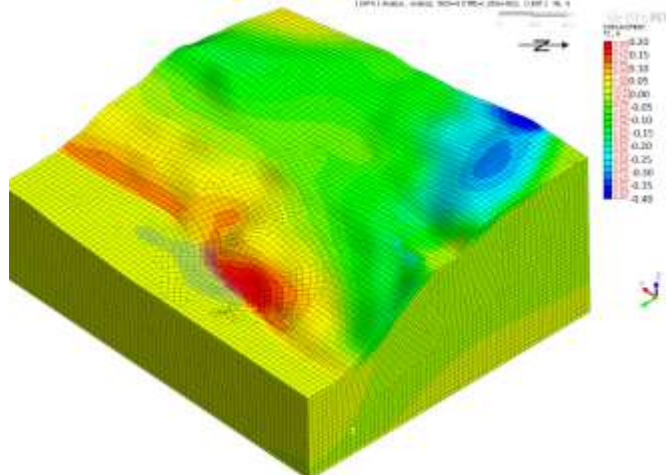
Rys. 4.3. Model różnicowy deformacji pionowych uzyskany z porównania powierzchni z dnia 18.12.2015 i 25.04.2016.

Porównanie powierzchni terenu uzyskanych z pomiaru bazowego wykonanego 18.12.2015 r. i pomiaru kontrolnego uzyskanego dnia 25.04.2016 wykazują dominujące przemieszczenia z zakresu od 5 cm do 20 cm zlokalizowanych w łuku drogi DW 981. Zwiększone deformacje pionowe w północno-zachodniej części modelu są spowodowane wykonaniem robót modernizacyjnych prowizorycznej nawierzchni z płyt betonowych. Na rys. 4.3 wyraźnie widać zmianę przebiegu prowizorycznej trasy drogowej w porównaniu z pomiarem powierzchni wykonanym 4.08.2015 r. w celu zamodelowania powierzchni modelu. Model różnicowy deformacji pionowych wyraźnie wskazuje na rozwój osuwiska wzdłuż analizowanego fragmentu drogi.

Rys. 4.4 i rys. 4.5 przedstawia rezultaty uzyskane w wyniku numerycznego modelowania analizowanego terenu.



Rys. 4.4. Deformacje poziome y [m] modelu numerycznego.



Rys. 4.5. Deformacje pionowe z [m] modelu numerycznego.

Wynik numeryczny modelu wskazują na dominujące osiadania pionowe z zakresu od 5 cm do 20 cm podobnie jak rezultaty otrzymane w wyniku pomiarów naziemnym skanowaniem laserowym. Należy zwrócić uwagę na znaczne mniejsze osiadania pionowe uzyskane w północnej części modelu numerycznego w porównaniu z odpowiadającym mu fragmentem terenu uzyskanego z pomiaru skanerem laserowym. Jest to spowodowane uwzględnieniem w analizie numerycznej powierzchni rzeźby terenu uzyskanej z pomiarów z dnia 4.08.2015 r. w której nie uwzględniono modernizacji tymczasowej drogi zastępczej w ciągu drogi DW 981. Na rys. 4.1, wyraźnie zarysowuje się obszar zagrożony największymi ruchami masowymi, gdzie aktywność osuwiska jest największa. Zwiększone przemieszczenia poziome rzędu nawet 40 cm dominują na łuku analizowanego fragmentu drogi. Pokrywa się to z obserwacjami stanu nawierzchni drogowej na której w rozpatrywanym odcinku występują liczne szczeliny i pęknięcia podłużne.

PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono wyniki badań monitoringu powierzchniowego deformacji osuwiska zlokalizowanego w obrębie drogi DW 981 km 3+890 - 3+ 960 przy wykorzystaniu naziemnego skanera laserowego RIEGL-400 VZ wraz z rezultatami przemieszczeń pionowych uzyskanymi w wyniku modelowania numerycznego. Uzyskane wyniki z pomiarów numerycznych są zbliżone do wyników otrzymanych w wyniku powierzchniowego skanowania terenu. Analizowany fragment nasypu drogowego narażony jest na znaczne przemieszczenia pionowe i poziome spowodowane czynnymi ruchami masowymi. Brak zahamowania procesów osuwiskowych powoduje konieczność wyłączenia z ruchu fragmentu jezdni drogi DW 981 i zastąpieniu odcinka drogi prowizorycznym fragmentem jezdni z ruchem wahadłowym. Stosowane zabiegi są wyłącznie tymczasowe. Aktualnie na rozpatrywanym fragmencie jezdni prowadzone są prace mające wykonać wzmocnienie podłoża gruntowego stanowiące przygotowanie pod realizację inwestycji w postaci estakady posadowionej w warstwie III, nie narażonej na czynne osuwisko.

W celu zbieżności modelu numerycznego z odpowiedzią gruntu uzyskaną w wyniku pomiarów naziemnym skanerem laserowym należałoby wykonać dodatkowe badania terenowe z uwzględnieniem powierzchni terenu otrzymanej z monitoringu. Zaimplementowana powierzchnia terenu do programu numerycznego wraz z zastosowaniem bardziej zaawansowanych modeli numerycznych gruntów, uwzględniających wzmocnienie plastyczne czy wytrzymałość resztkową gruntu[14] (np. modelu Cam Clay dla glin i ilów) umożliwiłaby uzyskanie satysfakcjonujących wyników z rezultatami z pomiarów skanerem laserowym. Pozwoliłoby to dokładniej oszacować charakter deformacji terenu i ich rozwój w czasie analizy.

Na podstawie przeprowadzonych analiz można stwierdzić, że modelowanie numeryczne połączone z monitoringiem powierzchni naziemnym skanowaniem laserowym może być wykorzystany do oceny diagnostycznej stanu nawierzchni drogowej zlokalizowanej na czynnej powierzchni poślizgu z uwzględnieniem czasu oceny przydatności nawierzchni drogowej dla transportu samochodowego. Ocena przydatności nasypu drogowego, poprzez oszacowanie czasu wystąpienia przemieszczeń pionowych powodujących znaczne uszkodzenie i awarię konstrukcji jezdni może umożliwić osza-

cowanie czasu eksploatacji danego odcinka drogi i podjąć decyzję o zabiegach naprawczych lub całkowitego wyłączenia z ruchu zagrożonej awarią konstrukcji.

BIBLIOGRAFIA

1. Archiwum ZDW, Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla stabilizacji osuwiska w ciągu DW 981 odcinek 100 km 3+890 – 3+980 w miejscowości Kačłowa, Q-5583, Kraków 2015.
2. Cała M., Flisiak J., Tajduś A., Numeryczne metody analizy stateczności skarp i zboczy, Warsztaty Górnictwa 2004.
3. Griffiths D.V., Lane P.A., Slope stability analysis by finite elements. Geotechnique, Vol. 49 (3) str. 387-403, 1999.
4. Kamiński W., Bojarowski K., Dumalski A., Mroczkowski K., Trystuła J., Ocena możliwości wykorzystania skanera laserowego firmy LEICA w badaniu deformacji obiektów budowlanych. Czasopismo Techniczne Politechniki Krakowskiej 2008, z.19
5. MIDAS GTS NX, Manual specifications, 2016.
6. Pilecka E., Szwarewski D., Manterys T.: Wpływ drgań drogowych na propagację deformacji wzdłuż czynnej powierzchni poślizgu i stateczność nasypów na terenach osuwiskowych Autobusy nr 6/2016, Radom 2016.
7. RIEGL LMS, 2010: Oprogramowanie Systemowe i Przetwarzania Danych RiSCAN PRO dla skanerów laserowych 3D firmy RIEGL LMS. Austria 2009.
8. Rolla S., Rolla M., Żarnoch W., Tracz M., Budowa dróg cz. I, WSiP, Warszawa 1993.
9. Wilun Z., Zarys Geotechniki, WKŁ, Warszawa 2010,
10. Wrana B., Lectures on soil mechanics. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2014.
11. Zaczek-Peplińska J., Popielski P., Wykorzystanie monitoringu geodezyjnego do weryfikacji modeli numerycznych oddziaływania realizowanej inwestycji na obiekty sąsiednie, Czasopismo Techniczne Politechniki Krakowskiej 2011, z.21.

Road embankment diagnostics located on an active landslide using ground laser scanning and numerical modeling

Paper discusses the diagnostic method of road embankment located on an active landslide using surface measurements obtained ground-based laser scanning RIEGL -400 VZ and the results of numerical modeling of road surface on the active landslide, obtained in the MIDAS GTS NX[®]. The results obtained by both methods were used to assess the suitability of the analyzed pavement for utility transport..

Autorzy:

dr hab. inż. **Elżbieta Pilecka** – Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Ładowej, Instytut Mechaniki Budowli, Katedra Współdziałania z Podłożem.

mgr inż. **Dariusz Szwarewski** – Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Ładowej, Instytut Mechaniki Budowli, Katedra Współdziałania z Podłożem.