

Elżbieta PILECKA, Magdalena MOSKAL

## ANALIZA NUMERYCZNA OSUWISKA W CIĄGU DROGI WOJEWÓDZKIEJ NR 975 W MIEJSCOWOŚCI BOROWA PRZED I PO WYKONANIU ZABEZPIECZENIA

*W artykule omówiony został problem osuwisk w budownictwie komunikacyjnym. Przykład stanowi osuwisko w ciągu drogi wojewódzkiej nr 975 w miejscowości Borowa. Analizowane zbrocze zostało zamodelowane w programie MIDAS GTS NX. Analizę stateczności wraz z wyznaczeniem współczynnika FoS przeprowadzono przy użyciu metody redukcji wytrzymałości na ścinanie (SRM). W kolejnym etapie, analizę przeprowadzono dla ww. osuwiska po wykonaniu zabezpieczenia. Przeprowadzone obliczenia oraz załączone w pracy wyniki dla analizowanego osuwiska drogowego pokazują jakie możliwości posiadają programy do symulacji numerycznych.*

### WSTĘP

Eksploatacja obiektów drogowych w bezpośrednim sąsiedztwie skarp i zboczy sprzyja powstawaniu zsuwów i osuwisk w ich obrębie. Elementy infrastruktury drogowej, jakimi są nasypy budowlane mają za zadanie przeniesić obciążenia wynikające zarówno z ich ciężaru własnego jak i ciężaru poruszających się pojazdów po nawierzchni drogowej na niżej położone rodzime warstwy gruntu. Do utraty stateczności dochodzi wzdłuż dowolnej, ciągłej powierzchni, zwanej powierzchnią poślizgu, jeżeli wartość sił ścinających przekroczy wytrzymałość gruntu na ścinanie. Najistotniejszym problemem związanym ze statecznością nasypów drogowych jest występowanie słabych gruntów w podłożu, które bezpośrednio wpływają na ogólną stateczność budowli. Równie ważne stają się warunki gruntowo-wodne panujące na danym terenie. Infiltracja wód opadowych, która wędruje w gruncie, napotykać na swojej drodze głębiej położone, nośne warstwy gruntowe, dodatkowo pogarsza ich parametry wytrzymałościowe. Na stateczność i trwałość nasypów drogowych ma również wpływ nachylenie terenu w obrębie którego znajduje się przedmiotowa budowla. Wówczas prawdopodobieństwo pojawienia się ruchów masowych jest wprost proporcjonalne do stromości terenu.

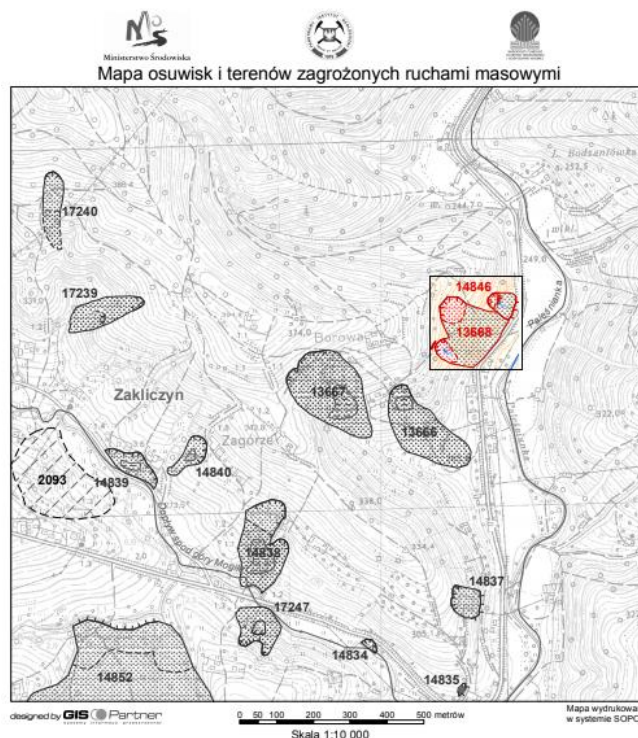
W konsekwencji, niestateczność nasypów drogowych prowadzi do nierównomiernych osiadań korony nasypu, lokalnych obniżen oraz poziomych przemieszczeń jezdni, a przede wszystkim do uszkodzeń nawierzchni drogowej [7] co często uniemożliwia ruch pojazdów samochodowych.

### 1. TEREN BADAŃ

#### 1.1. Opis ogólny terenu badań

Teren objęty opracowaniem zlokalizowany jest w miejscowości Borowa, w powiecie tarnowskim, w gminie Zakliczyn. Do osunięcia terenu doszło w rejonie drogi wojewódzkiej nr 975 na przełomie kwietnia i maja 2010r. . Osuwiska oznaczone numerami 13668 oraz 14846 (rys. 1) wg PIG-PIB [1] zostały sklasyfikowane na większości swojej powierzchni jako nieaktywne (kolor czarny). Granice pewne obu osuwisk zostały przecięte granicami przypuszczalnymi, które wyznaczają części osuwisk sklasyfikowane jako aktywne ciągle

(kolor czerwony). W obrębie wymienionych osuwisk zaznaczono również przejawy wód powierzchniowych w postaci wysięków (kolor niebieski). Zgodnie z PIG-PIB [1] powierzchnia osuwiska nr 13668 wynosi 2,46ha a osuwiska 14846 – 0,39ha.



Rys. 1. Mapa rozważanego osuwiska [1]

Powyżej korpusu drogi, na skarpie o wysokości ok. 4m doszło do rozwinięcia się osuwiska na długości ok. 20m i szerokości ok. 45m. Wystąpiły typowe formy osuwiskowe jak: nisze osuwiskowe, jezior, spękania gruntu, w których stagnuje woda. Po oderwaniu się mas ziemnych z leżącej powyżej skarpy, grunt zaległ na jezdni i doszło do uszkodzenia ww. odcinka drogi. Maksymalna wysokość zrztu mas ziemnych sięgała ok. 2m.

W obrębie analizowanego osuwiska znajdują się jednak rozległe formy osuwiskowe, które mogą zagrażać bezpieczeństwu.

Obecnie największa forma osuwiskowa na tym terenie, zlokalizowana powyżej drogi uznana została za zamartłą (nieaktywną). Powierzchnia poślizgu tego osuwiska znajduje się ok 4,0-4,5m p.p.t. W przypadku jego odmłodzenia może wystąpić poważne zagrożenie dla całej konstrukcji drogi. Cały analizowany teren jest predysponowany do powstawania kolejnych osuwisk. Zgodnie z kartą dokumentacyjną osuwiska [9] za przyczynę powstawania ruchu osuwiskowego, który spowodował uszkodzenie drogi wojewódzkiej uznaje się wody opadowe oraz wody z cieku zlokalizowanego w południowej części stoku. Wody te infiltrują w głąb gruntu gromadząc się na nieprzepuszczalnych warstwach ilów i glin pylastych zwięzłych powodując uplastycznienie gruntów znajdujących się powyżej. W konsekwencji doszło do powstawania ruchów masowych i utraty stateczności zbocza nad drogą. Potencjalna powierzchnia poślizgu znajduje się ok. 2m p.p.t [9].

## 1.2. Budowa geologiczna

Analizowany teren leży we wschodniej części płaszczowiny śląskiej, stanowiącej część głównej jednostki strukturalnej Karpat, tzw. fliszowych Karpat zewnętrznych. Występują tam utwory kredowe – warstwy godulskie w postaci piaskowców przewarstwionych łupkami ilastymi, które uległy wypiętrzeniu i sfałdowaniu. Podłoże skalne zbudowane jest z utworów czwartorzędowych, które sięgają kilku metrów. Występują w postaci rumoszy piaskowcowych i łupkowych, glin zwięzłych z dodatkiem rumoszy oraz glin pylastych. W obszarach dolinnych występują żwiry, piaski drobne i piaski średnie sięgające do ok. 15m w dolinie Dunajca. Na omawianym terenie nie występuje ciągle zwierciadło wód gruntowych, a jedynie dwa poziomy sąceń wód gruntowych. Sączenia te są szczególnie intensywne w obrębie kolumium. Drugi istotny poziom znajduje się w głęboko położonej warstwie piasków gliniastych zalegających na nieprzepuszczalnych ilach. Są to wody deszczowe infiltrujące w głąb podłoża gruntowego [8].

## 1.3. Krótka charakterystyka Karpat Fliszowych

Karpaty zewnętrzne (fliszowe) ze względu na swoją skomplikowaną budowę geologiczną, są w Polsce rejonem szczególnie predysponowanym do powstawania osuwisk. Naprzemiennie ułożone warstwy piaskowców, łupków, mułowców, zlepieńców, ilowców, margli i wapieni sprzyjają powstawaniu ruchów masowych [4]. Kolejnym problemem tego rejonu jest skomplikowana tektonika. Liczne występujące uskoki, o różnych wielkościach przesunięć dzielą masyw na bloki. Silne naruszenia tektoniczne związane są z naruszeniem skał w rejonach uskokowych jak i z wyraźnymi sfałdowaniami [2].

Duże nachylenia zboczy oraz stoków rzecznych również są niekorzystne przy propagacji ruchów osuwiskowych. Najniekorzystniejszym jednak czynnikiem mającym wpływ na stateczność skarp i zboczy są warunki meteorologiczno-hydrogeologiczne. Gwałtowne opady deszczu, roztopy wiosenne czy długie, wilgotne i chłodne okresy, trwające przez kilka miesięcy są szczególnie niebezpieczne. Magazynowanie wody w pokrywach zwietrzelinowych i podłożu skalnym wpływa na pogorszenie własności wytrzymałościowych gruntów a w konsekwencji do powstawania głębokich osuwisk strukturalnych, których zabezpieczenie jest szczególnie trudne.

## 2. ZABEZPIECZENIE OSUWISKA

Aby zahamować ruchy masowe w obrębie drogi wojewódzkiej nr 975 w miejscowości Borowa przewidziano przede wszystkim regulację stosunków wodnych oraz wykonanie zabezpieczenia konstrukcyjnego strefy w bezpośrednim sąsiedztwie drogi [10].

Odwodnienie zbocza i drogi zaplanowano przy pomocy drenażu głębokiego oraz korytami otwartymi dla zabezpieczenia przed nawadnianiem powierzchniowym zbocza i korpusu drogowego.

Aby zabezpieczyć przydrożną skarpe zaproponowano ich stabilizację przy zastosowaniu samo wierzących gwoździ gruntowych o długości ok. 15m w rozstawie podłużnym i poprzecznym co 2m z przesunięciem o 1m. Zabezpieczenie konstrukcyjne w postaci gwoździ zostało osadzone poniżej potencjalnej powierzchni poślizgu (rys. 2, rys. 3, rys. 4).



Rys. 2. Prace przy zabezpieczeniu skarpy (opr. własne, 2.12.2016r)



Rys. 3. Gwoździowanie skarpy (opr. własne, 2.12.2016r)

Jako zabezpieczenie powierzchniowe skarpy zaprojektowano system antyerozyjny komórkowy. Komórki geosiatki zostały wypeł-

nione piaskiem z humusem. Bezpośrednio pod systemem zabezpieczającym ułożona została geowłóknina.



Rys. 4. Zabezpieczona skarpa drogowa [11]

## 3. ANALIZA STATECZNOŚCI

### 3.1. Założenia modelu numerycznego

Zgodnie z Dokumentacją geologiczno-inżynierską [8] wydzielono następujące warstwy geotechniczne:

- warstwa I – koluwium - zbudowana z gruntów średnio spoistych w postaci glin pylastych z domieszką drobnego rumoszu piaszkowca i humusu. Grunty te występują w stanie miękkoplastycznym. Barwa brązowa i szaro brązowa. Miąższość warstwy wynosi 1,6m p.p.t.
- warstwa IIa - zbudowana jest głównie z gruntów średnio spoistych w postaci glin pylastych z humusem i z domieszką drobnego rumoszu piaszkowca. Grunty te są w stanie plastycznym. Barwa brązowa i szaro brązowa. Miąższość do 1,9m..
- warstwa IIb - zbudowana z gruntów zwięzłych spoistych w postaci glin pylastych z rumoszem piaszkowca i domieszką glin piaszczystych. Grunty te są w stanie twardoplastycznym. Barwa brązowa, beżowo brązowa i popielato brązowa. Warstwa osiąga miąższość 0,4-0,6m.
- warstwa III - zbudowana z gruntów mało spoistych w postaci piasków gliniastych z rumoszem piaszkowca i domieszką glin piaszczystych. Grunty te są w stanie twardoplastycznym. Barwa brązowa. Miąższość warstwy od 0,5 do lokalnie nawet 2,5m.
- warstwa IV - zbudowana z gruntów bardzo spoistych w postaci ilów pylastych z rumoszem łupka ilastego i piaszkowca. Grunty w tej warstwie są w stanie półzwałym. Barwa szaro brązowa i ciemno brązowa. Miąższość warstwy od 0,5 do 1,9m.
- warstwa V - zbudowana z gruntów mało spoistych w postaci piasków gliniastych z rumoszem piaszkowca i przewarstwieniami ilów pylastych. Grunty te są w stanie twardoplastycznym. Barwa brązowa i lokalnie rdzawa lub beżowa. Miąższość warstwy do 2,1m.
- warstwa VI – wietrzelina - zbudowana z gruntów bardzo spoistych w postaci ilów pylastych z przewarstwieniami zwięzłego piaszkowca. Grunty w tej warstwie są w stanie półzwałym. Barwa szara i brunatna. Miąższość tej warstwy waha się od 0,4m do 1,6m.

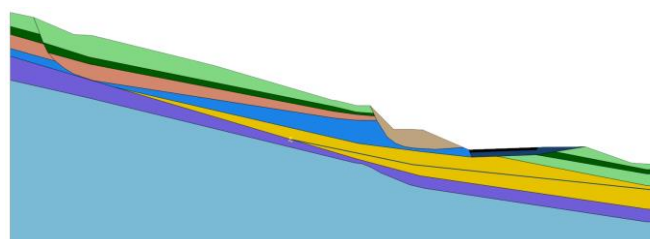
- warstwa VII – piaszkowiec - zbudowana ze skały twardej – piaszkowca, w stropie zwięzłego. Wietrzelina piaszkowca wykształcona jako rumosz lub pospółka, o miąższości do 20 cm, jest w stanie zagęszczonym. Barwa szara.

Tab. 1. Parametry geotechniczne warstw w modelu numerycznym

Oznaczenie	Symbol Gruntu	Model materiałowy	Współczynnik Poissona [-]	Wilgotność naturalna [%]	Gęstość objętościowa [t/m <sup>3</sup> ]	Kohezja [kPa]	Kąt tarcia wewnętrznej [°]	Moduł Young'a [kPa]
■	Jez-dnia	Elastic	0.2	-	2.50	-	-	50 000
■	Pod-budowa	Mohr-Coulomb	0.3	14.0	1.85	0	35	50 000
■	Gπ H KRpc	Mohr-Coulomb	0.3	26.6	1.90	4	3	5 000
■	Gπ H KRpc	Mohr-Coulomb	0.3	21.6	2.10	16	14	29 000
■	Gπz KRpc H	Mohr-Coulomb	0.3	23.4	2.00	16	14	29 000
■	Pg KRpc	Mohr-Coulomb	0.3	13.7	2.15	21	16	37 000
■	Iπ KRli pc	Mohr-Coulomb	0.3	20.1	2.05	60	13	39 000
■	Pg KRpc //Iπ	Mohr-Coulomb	0.3	14.7	2.15	24	17	40 000
■	KW(ii)	Mohr-Coulomb	0.3	21.6	2.05	60	13	39 000
■	KW(pc) ST(pc)	Mohr-Coulomb	0.3	-	1.85	-	39	190 000
■	Zab. antyero- zyjne	Mohr-Coulomb	0.3	14.0	1.85	0	35	60 000

Przy pomocy programu komputerowego MIDAS GTS NX zamodelowano przedmiotowe osuwisko (rys. 5). Parametry geotechniczne poszczególnych warstw geotechnicznych przyjęte do modelu komputerowego przedstawiono w tab. 1.

Droga wojewódzka nr 975 posiada jezdnię asfaltową o szerokości 6,00m. W modelu numerycznym przyjęto obciążenie jezdni dwoma pojazdami. Zakłada się, że każdy z pojazdów wywiera nacisk 100kN/oś, co daje obciążenie kołem pojedynczym o ciężarze 50kN oraz ciśnieniu kontaktowym 200kPa.



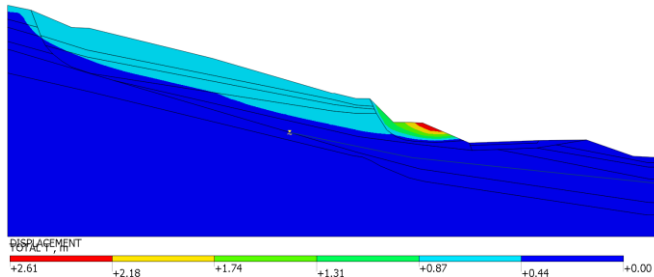
Rys. 5. Model numeryczny analizowanego osuwiska

Wykonane obliczenia miały na celu określenie maksymalnych przemieszczeń mas gruntowych oraz miejsc ich występowania. W ten sposób uzyskano położenie płaszczyzny poślizgu. Wyznaczone zostały również maksymalne odkształcenia całkowite warstw gruntowych oraz współczynnik stateczności FoS. Obliczenia zostały przeprowadzone przy wykorzystaniu metody redukcji wytrzymałości na ścinanie (SRM) [5].

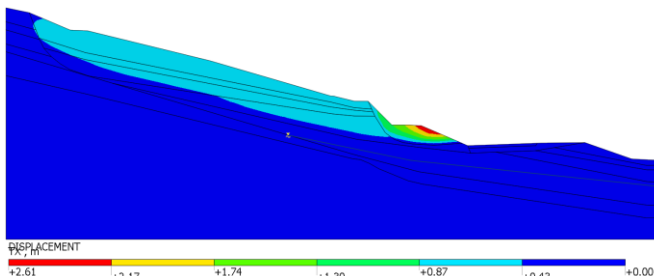
### 3.2. Analiza zbroca przed zabezpieczeniem

W wyniku przeprowadzonych obliczeń dla zamodelowanej bryły uzyskano współczynnik stateczności FoS=1.3. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie [6] analizowana skarpa nie może zostać uznana za stateczną (FoS<1.50).

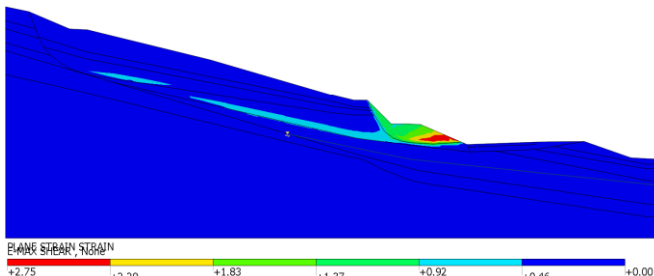
Maksymalne przemieszczenia analizowanej skarpy wynoszą ponad 2m (rys. 6, rys. 7). Najbardziej narażone na ruchy osuwiskowe są płytkie warstwy kolumium zalegające na skarpie bezpośrednio nad drogą wojewódzką. Również w tych warstwach zlokalizowana jest powierzchnia poślizgu. Na pozostałym obszarze skarpy, przemieszczenia maleją do zera. Powyższe wnioski potwierdza mapa maksymalnych odkształceń całkowitych (rys. 8).



Rys. 6. Przemieszczenia całkowite [m]



Rys. 7. Przemieszczenia poziome [m]

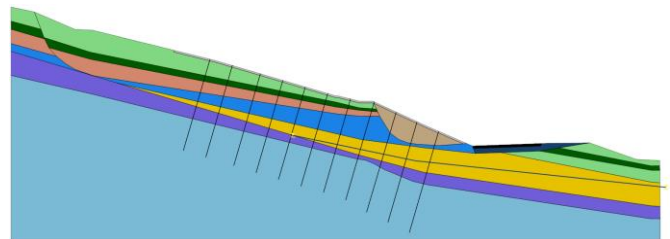


Rys. 8. Maksymalne odkształcenia całkowite [-]

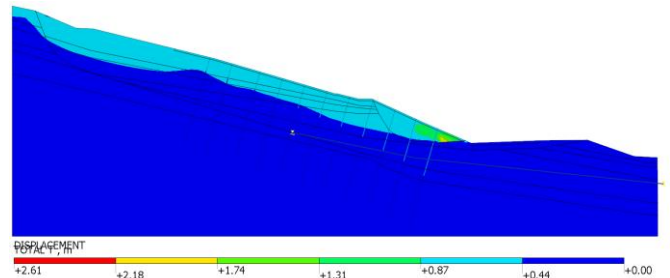
Kolejnym etapem rozważań było przeprowadzenie analizy numerycznej dla przedmiotowej skarpy po wykonaniu zabezpieczenia (rys. 9).

Analiza wykazała, że współczynnik bezpieczeństwa dla skarpy zabezpieczonej wynosi FoS=2.1. Gwoździowanie wydaje się więc odpowiednim rozwiązaniem dla zapewnienia stateczności osuwiska zlokalizowanego nad drogą wojewódzką. Mapy przemieszczeń

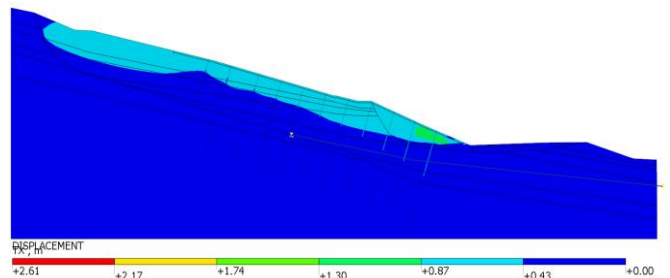
całkowitych (rys. 10), poziomych (rys. 11) oraz maksymalnych odkształceń całkowitych (rys. 12) obrazują lokalizację potencjalnej powierzchni poślizgu.



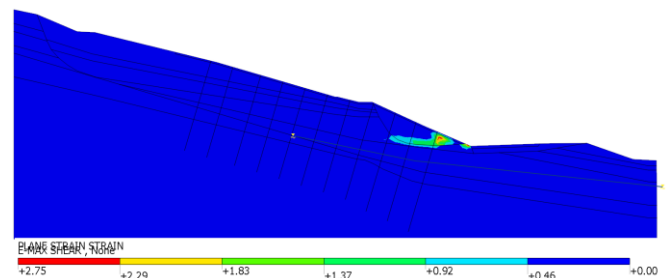
Rys. 9. Model numeryczny skarpy po wykonaniu zabezpieczenia



Rys. 10. Przemieszczenia całkowite [m]



Rys. 11. Przemieszczenia poziome [m]



Rys. 12. Maksymalne odkształcenia całkowite [-]

## PODSUMOWANIE

Niestateczność skarp w obrębie nasypów drogowych oraz samych nasypów drogowych staje się istotnym problemem, zwłaszcza jeśli zlokalizowane są one w niesprzyjających warunkach geotechnicznych jakimi niewątpliwie są Karpaty fliszowe [3]. Należy rozpatrzyć wiele aspektów zarówno przy projektowaniu jak i zabezpieczanie terenów zagrożonych ruchami masowymi aby infrastruktura drogowa spełniała swoje funkcje.

Analizowanej drodze wojewódzkiej nr 975 zagraża ciągle aktywność osuwiskowa ponieważ zlokalizowana jest w rejonie Karpat fliszowych, w których nie może ona zostać wykluczona. Szczególnie niebezpieczne są okresy nasilonych opadów atmosferycznych czy roztopów wiosennych. Gwałtowny wzrost ciśnienia sphywowego wód w obrębie kolumium może prowadzić do spadku wartości paramet

trów wytrzymałościowych gruntów i w konsekwencji do uruchomienia osuwiska.

Wybór odpowiednich metod, materiałów oraz poprawne wykonanie zabezpieczenia może w określonych warunkach geotechnicznych zapobiec ruchom osuwiskowym.

## BIBLIOGRAFIA

1. Jurys L., Woźniak T., Małka A., Rudeńska W., Frydel J., *Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10000, gm. Zakliczyn, pow. Tarnowski, woj. małopolskie*, <http://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/SOPO> [dostęp 15 marca 2018].
2. Pilecka E., Białek M., Manterys T., *The influence of geotechnical conditions on the instability of road embankments and methods of protecting them*, Technical Transactions. Civil Engineering 3-B/2016.
3. Pilecka E., Białek M., Manterys T., *Wyniki próbnych przejazdów auta ciężarowego na sztucznej nierówności usytuowanej na odcinku osuwiskowym drogi krajowej nr 75*, Autobusy 6/2016, str. 389-393.
4. Pilecka E., Moskal M., *Stateczność osuwiska drogowego przed i po zabezpieczeniu w świetle obliczeń numerycznych*, Autobusy 6/2017, str. 381-385.
5. Pilecka E., Szwarek D., *Diagnostyka nasypu drogowego zlokalizowanego na czynnym osuwisku z wykorzystaniem naziemnego skaningu laserowego i numerycznego modelowania*, Autobusy 12/2016, str. 382-386.
6. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz. U. 1999 nr 43 poz. 430).
7. Stilger-Szydło E., Szydło A., *Osuwiska skarp drogowych – przyczyny powstawania, zapobieganie*, Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczypospolitej Polskiej Oddział w Krakowie, Materiały Konferencyjne, Nr 8 (Zeszyt 144), Problematyka osuwisk w budownictwie komunikacyjnym, Wydawnictwo PiT, Kraków 2009.
8. Wąsik L., Jurchak S., Gładysz B., Kusia W., *Ekspertyza Geologiczna dla koncepcji zabezpieczenia oraz opracowania PFU dla uszkodzonego odcinka drogi wojewódzkiej DW nr 975 od. 230 od km 3+080 do km 3+150 w miejscowości Borowa*, Przedsiębiorstwo Usług Geologiczno-Laboratoryjnych „Chemkop - Laborgeo” Sp. z o.o., Kraków, 2010.
9. Wójcik A., *Karta dokumentacyjna osuwiska wraz z opinią*, nr ewid. 12 16-142, nr rob. 305, Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy Oddział Badawczy, 2011.
10. *Zabezpieczenie uszkodzonego w czasie powodzi odcinka drogi w ciągu DW 975 odc. 230 od km 3+080 do km 3+150 w m. Borowa*, koncepcja techniczna zabezpieczenia drogi, branża konstrukcyjna, Przedsiębiorstwo Usług Geologiczno-Laboratoryjnych „Chemkop - Laborgeo” Sp. z o.o., Kraków, 2010.
11. <http://www.zakliczyninfo.pl/index.php/fotoreportaze/960-dla-poprawy-bezpieczenstwa-nowe-chodniki-w-gwozdzcui-fasciszowej-renowacja-osuwiska-w-borowej-regulacja-olszowianki>

### Numerical analysis of landslide next regional route No. 975 in Borowa before and after securing it

*In the paper the problem of landslides in road engineering is discussed. An example is given of a landslide next to regional road No. 975 in Borowa. The analysed slope was modeled in the MIDAS GTS NX. The slope stability analysis and the FoS coefficient were carried out using the shear strength reduction method (SRM). In the next step a numerical analysis was carried out after the security measures were implemented. The results show the capability of numerical simulation programs.*

Autorzy:

dr hab. inż. **Elżbieta Pilecka**, prof. PK – Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Mechaniki Budowli, Katedra Współdziałania Budowli z Podłożem.

mgr. inż. **Magdalena Moskal** – Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Mechaniki Budowli, Katedra Współdziałania Budowli z Podłożem.

JEL: R42 DOI: 10.24136/atest.2018.064

Data zgłoszenia: 2018.05.21 Data akceptacji: 2018.06.15