



WPLYW PROCESÓW GEOLOGICZNYCH NA STABILNOŚĆ POWIERZCHNIOWĄ GRUNTÓW W SĄSIEDZTWIE BUDOWANYCH DRÓG NA PRZYKŁADZIE BUDOWY AUTOSTRADY „KIJÓW – ODESSA”

OLGA I. LAPINA, *o.lapina@mail.ru*

ALEKSANDER W. SZAPOVALOV

Państwowa Akademia Budownictwa i Architektury w Odessie, Ukraina

Streszczenie: W pracy dokonano analizy wpływu właściwości geotechnicznych, parametrów gruntu oraz procesów geologicznych na aktywność procesów osuwiskowych na przykładzie nasypów drogowych wraz z konsekwentnymi następstwami na przykładzie drogi ekspresowej na Ukrainie na trasie Odessa – Kijów. Analizowano przyczyny i uwarunkowania procesów osuwiskowych na rzeczywistych obiektach.

Słowa kluczowe: osuwiska, konstrukcje drogowe, parametry geotechniczne, autostrady, drogi ekspresowe, awarie.

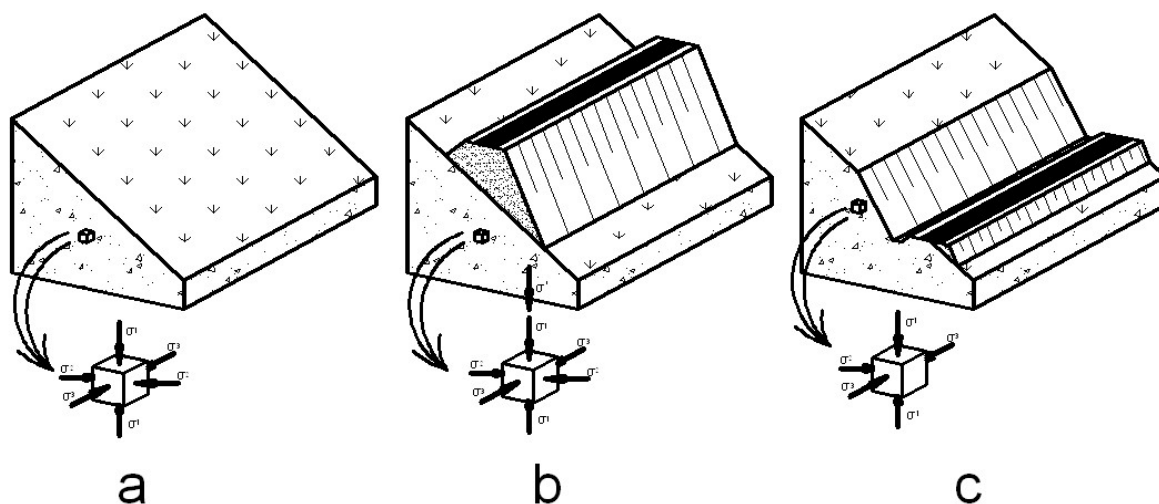
Drogi kołowe, będące w ciągłej eksploatacji, przejmują obciążenia pochodzące od środków transportowych, a także podlegają wpływom rozmaitych naturalnych czynników geofizycznych (klimatycznych, geologicznych, hydrologicznych i innych). Te naturalne czynniki geofizyczne są ściśle z sobą związane, mają charakter kompleksowy i dynamiczny. Budowa magistrali drogowej przynosi zawsze zmiany w jej otoczeniu na skutek wykonywanych nasypów i wykopów, zmian w charakterze spływów powierzchniowych (przerywanie spływów lub zmiana ich kierunków) oraz zakłóceń w formowaniu się pokrywy śnieżnej. Budowe drogowe mogą sprzyjać umocnieniu gruntów, ale i wpływać na powstawanie takich negatywnych skutków, jak osuwiska, osypiska, obwały. Nieuwzględnienie tych czynników w stadium projektowania może doprowadzić do deformacji i zniszczenia zarówno pojedynczych elementów drogi, jak i jej całości. W artykule rozpatruje się wpływy różnych czynników na występowanie procesów osuwiskowych w czasie budowy dróg, a także są omawiane skutki tych procesów na przykładzie obiektów drogowych na terenie Ukrainy. Znaczne szkody drogowe, jakie ponosi się z powodu osuwisk wynikają z błędów popełnionych przez wykonawców dróg oraz służby eksploatacyjne. Jeżeli jakiś element zbocza wykazuje oznaki niestabilności, to w okresie budowy łatwo jest naruszyć warunki równowagi mas ziemnych i spowodować powstanie osuwiska (są to tak zwane osuwiska budowlane lub antropogeniczne). W przypadku pojawienia się ich są możliwe następujące deformacje powierzchni gruntów:

- przemieszczenie darni i górnych warstw gruntu na skarpach (0,8–1,0 m) skutkiem nadmiernego uwilgotnienia gruntu (np. osuwisko na drodze „Kijów – Odessa” km 336 – km 337),
- oderwanie się i przemieszczenie mas ziemnych,
- przemieszczenie całego nasypu na spadzistym zboczu (droga „Nikolaev – Domanevka – Berezki” na odcinku km 168 – km 171; droga „Kijów – Odessa” na odcinku obwodnicy m. Novogrigorovka),
- zsuwnie się mas ziemnych po zboczu zalegających powyżej nasypu,
- zsuwy skarp wykopów (osuwiska na drodze „Kijów – Odessa”, km 311, km 300).

Procesy osuwiskowe są wywoływane łącznym działaniem szeregu przyczyn. Ich łączne działanie (niekiedy długotrwałe) powodują przemieszczenia mas ziemnych. Do czynników wywołujących te procesy zalicza się: budowę geologiczną, rzeźbę terenu, wody podziemne, wody powierzchniowe, opady atmosferyczne, procesy wietrzenia, wstrząsy sejsmiczne oraz niektóre skutki działalności człowieka.

Ogólne warunki, które sprzyjają tworzeniu się osuwisk nazywa się przyczynami pasywnymi, do których zalicza się budowę geologiczną, ruchy tektoniczne oraz rzeźbę terenu. Występowanie powyższych czynników jest charakterystyczne dla dróg prowadzonych w rejonach górskich. Przykładowo, na 2347 km wybudowanych dróg w górskich rejonach wybrzeża Krymu jest notowanych 1500 osuwisk, z których aż 232 powodują zniszczenia na drogach. Główną przyczyną okresowej aktywizacji danych osuwisk są geologiczne cykle nasycania się wodą gruntów, które to występują z cyklicznością 8–10 lat.

Główną przyczyną deformacji gruntów gliniastych prowadzących do ich przemieszczeń są zmiany stanu naprężenia w tych gruntach. W warunkach naturalnych glina znajduje się w stanie tak zwanego hydrostatycznego ściskania, kiedy to naprężenia główne pionowe σ_1 i poziome σ_2 , σ_3 są sobie równe. Przy naruszeniu istniejącego stosunku naprężeń głównych pionowych i poziomych powstająca różnica tych naprężeń powoduje płynięcie glin. Różnica ta może powstawać, kiedy zwiększa się naprężenie pionowe przez obciążenie istniejących zboczy lub zmniejszają się naprężenia poziome w wyniku podcinania zboczy (rys. 1).



Rys. 1. Schemat zmian stanu naprężenia gruntów gliniastych; a) stosunek pionowych i poziomych składowych naprężenia w stanie naturalnym (bez ingerencji); b) zwiększenie składowej pionowej naprężenia po zbudowaniu nasypu

Przykładowo przy prowadzeniu dróg w rejonach górskich i rejonach z poprzecinaną rzeźbą największą ilość przypadków utraty stateczności powierzchniowej gruntów w wyniku zjawisk osuwiskowych objaśnia się przeciążeniem skarp naturalnych (zboczy) nakładanymi na nich nasypami (na drodze „Ałuszt – Jałta” na Krymie 65% osuwisk powstało na skutek przeciążenia zboczy). Przy analizie przekroju powierzchniowego osuwiska okazuje się, że występują tam niewielkie osiadania, ale znaczne przemieszczenia poziome. Przy wykonywaniu projektu rekonstrukcji drogi „Nikolaev – Domanevka – Berezki” na odcinku km 168 – km 171 wydzielono odcinek długości około 230 m, na którym droga jest prowadzona na półce wciętej w zbocze. Zaobserwowano tu poziome przemieszczenie powierzchni gruntu o wartości 8–10 m w dół zbocza (rys. 2) i jednocześnie osiadanie (obniżenie) tej powierzchni, co doprowadziło do zniszczenia nawierzchni drogi. Na tym odcinku nastąpiło uszkodzenie rury przepustu wodnego.

Uległa ona następującym deformacjom i uszkodzeniom: wydłużenie rury z odkryciem szwów łączących poszczególne segmenty z jednoczesnym uszkodzeniem elementów stykowych oraz zamulenie rury. Skutkiem tych uszkodzeń przepust utracił swoją wydolność hydrauliczną (nie był zdolny do przeprowadzenia zwiększonej ilości wody w okresie wezbrań), co doprowadziło do podtopienia nasypu. Przez rozwarte szwy upustu woda dostawała się do otaczającego gruntu, nadmiernie nawilżała go, co z kolei powodowało dodatkowe osiadania i deformacje nawierzchni drogi. W celu zlikwidowania powyższych skutków osuwiska i zapobieżenia dalszej dewastacji dokonano wymiany urządzeń upustowych opracowano system powierzchniowego odprowadzania wód (rowy spływowe, bystrotoki, kaskady). Do tego udrożniono system odprowadzania wód gruntowych oraz zmieniono profil poprzeczny nasypu (łagodniejsze nachylenie skarp). Ogólny koszt robót rekonstrukcji wyniósł około 550 tysięcy dolarów.



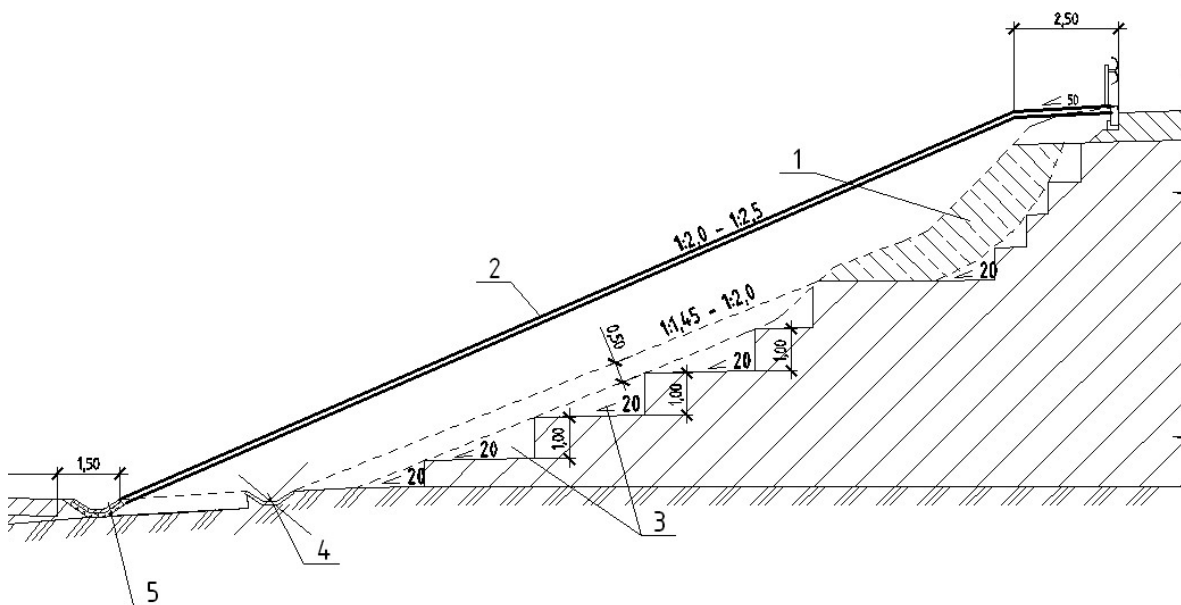
Rys. 2. Poziome przemieszczenie odcinka drogi „Nikolaev – Domanevka – Berezki” km 168 – km 171; na rysunku oznaczono zdeformowaną oś drogi i wielkość przemieszczenia poziomego

Istotnym czynnikiem powodującym powstawanie osuwisk jest nadmierne uwilgotnienie gruntu za sprawą infiltracji wód powierzchniowych i obecność wód gruntowych. W wyniku zwiększonej infiltracji zwiększa się ciężar objętościowy gruntu, a zmniejsza się efektywny kąt tarcia wewnętrznego φ' oraz spójność c' , a w warstwach mas ziemnych tworzą się powierzchnie poślizgu, na których wyżej leżące masy gruntowe odrywając się od masywu, spełzają w wyniku działania siły ciężkości. Przykładem tego okazują się zsuwy pojawiające się na drodze „Kijów – Odessa” już po jej rekonstrukcji. Prace rekonstrukcyjne tej drogi na odcinku od wsi Żeszkov do wsi Krasnoznamenska długości 219 km wykonywane były w latach 2003–2005 (w 2004 r. były zakończone podstawowe prace budowlane) – ogólny koszt robót wyniósł 780 mln \$. Dokumentacja projektowa była wykonywana w przyspieszonych terminach. W czasie projektowania na niektórych odcinkach były przewidywane zmiany kierunku trasy (w celu obejścia zasiedlonej miejscowości lub poprowadzenie trasy po zboczu, aby zmniejszyć jej spadek podłużny). Ponieważ osobliwością odcinka trasy, który przechodzi przez Obwód Odeski są tereny w większości przypadków położone na wododziale, to każda zmiana kierunku trasy zmusza do jej prowadzenia po zboczu.

Już po zakończeniu robót budowlanych w okresie eksploatacji na takich odcinkach pojawiły się oznaki osuwisk wywołane różnymi przyczynami i czynnikami. Przytacza się tutaj niektóre tego przykłady.

Na odcinku „Kijów – Odessa” km 336 – km 337, latem 2010 r. wystąpiło przemieszczenie gruntu skarp nasypowych (osuwisko) na skutek nadmiernego nawilgocenia gruntu przez wody powierzchniowe (rys. 3). Przyczyną było wadliwe działanie systemu odprowadzenia wód powierzchniowych z jezdni drogi. Na tym odcinku nasypy ziemne drogi miały wysokość 5–10 m, spadek podłużny 30–40%. W celu odprowadzenia wód z jezdni po lewej stronie szosy wykonano 15 rynien zrzutowych poprowadzonych po skarpie nasypu do jego podstawy, wzdłuż której znajdował się rów odpływowy odprowadzający zrzucaną rynnami wodę. W czasie eksploatacji drogi nastąpiło zamulenie rynien skarpowych w ich górnej części.

W okresie występowania deszczów nawalnych rów musiał przejąć większy wydatek wody niż przewidywano w projekcie, co podwyższyło poziom wody w rowie odpływowym. Nastąpiło też nadmierne napełnianie się częściowo zamulonych rynien biegnących po skarpie. Przelewająca się woda rozmywała skarpy oraz nawilgała grunt nasypu. Zwiększony ciężar objętościowy gruntu i zmniejszona spójność wymuszały przemieszczenie gruntu skarpy nasypu. Przegląd tego odcinka wykazał następujące rodzaje zniszczeń: obsunięcie mas nasypu skarpy o objętości 5,5 tys. m³, pięć miejsc rozmycia powierzchniowego skarpy z powodu wadliwego działania systemu odprowadzania wód powierzchniowych, zniszczenie betonowego rowu odpływowego u podnóża nasypu o długości 520 m oraz zniszczenie rynien skarpowych o łącznej długości 370 m.



Rys. 3. Schemat odbudowanej skarpowej części nasypu drogi „Kijów – Odessa”, odcinek km 336 – km 337

Czasami przyczyną powstania osuwiska stają się jednocześnie działania kilku czynników, takich jak: błędy w eksploatacji drogi, intensywne opady oraz zjawiska sejsmiczne. Wstrząsy sejsmiczne znacznie obniżają stabilność mas gruntu, ponieważ powodują w gruncie wzrost sił ścinających. Ponadto, wstrząsy takie mogą uszkodzić systemy drenażu i systemy odprowadzania wody ze skarpy nasypu, co prowadzi, jak wiadomo, do nasycenia mas gruntu wodą. Według posiadanych danych aktywność sejsmiczna była przyczyną aktywizacji osuwisk na drodze „Krasnye Okny – Novosamarka”, km 3 i na drodze „Kijów – Odessa” na km 311.

Pierwszego maja 2011 r. w rejonie Wrancza (Rumunia) wystąpiło trzęsienie ziemi o sile 5,7 stopni w skali Richtera. Dzień przed tym, na północy Obwodu Odeskiego zanotowano intensywne opady prowadzące do nasycenia gruntu i podniesienia się poziomu wód gruntowych. Zbieżność tych okoliczności sprzyjała pojawieniu się oznak osuwiska biegnącej w wykopie drogi „Kijów – Odessa” na 311 km (rys. 4). Na tym odcinku droga przechodzi w wykopie o głębokości 17 m. Osuwisko powstało na skarpie wykopu po lewej stronie drogi. Uszkodzony został system drenażowy (wraz z zsuwem mas gruntu nastąpiło przemieszczenie rur drenażu i studzienek kontrolnych) oraz system powierzchniowego odprowadzania wody (wraz z gruntem były wypchane betonowe korytka położone na skarpie wykopu) (rys. 5, 6). Zamknięto lewy pas ruchu.



Rys. 4. Ogólny widok osuwiska na km 311 drogi „Kijów – Odessa”



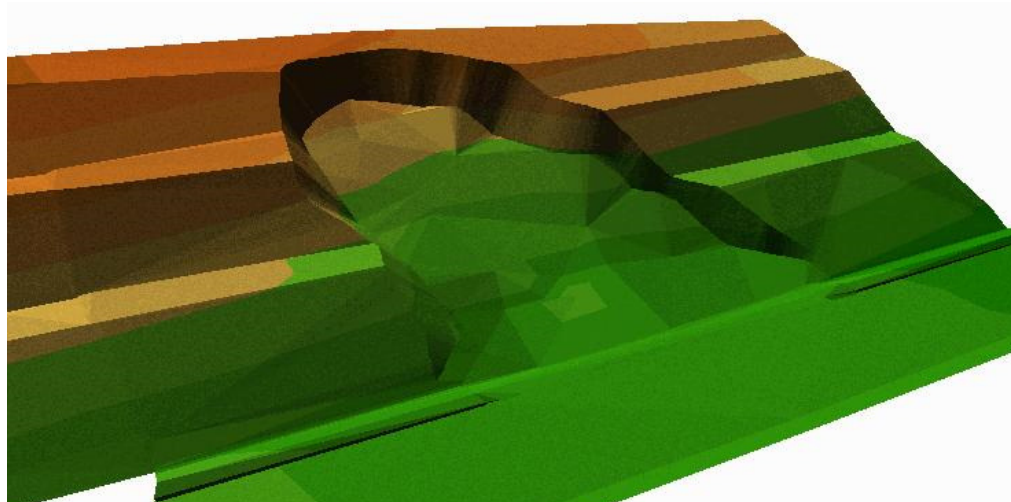
Rys. 5 Przesunięcie mas gruntowych osuwiska. Rys. 6 Zniszczenie powierzchniowego systemu odprowadzenia wód

W likwidowaniu powstałych szkód zdecydowano złagodzić nachylenie skarpy wykopu do 1:4, odtworzyć system drenażowy, a u podnóża skarpy wykopu wykonać ściankę podporową o wysokości 2 m o konstrukcji gabionowej.

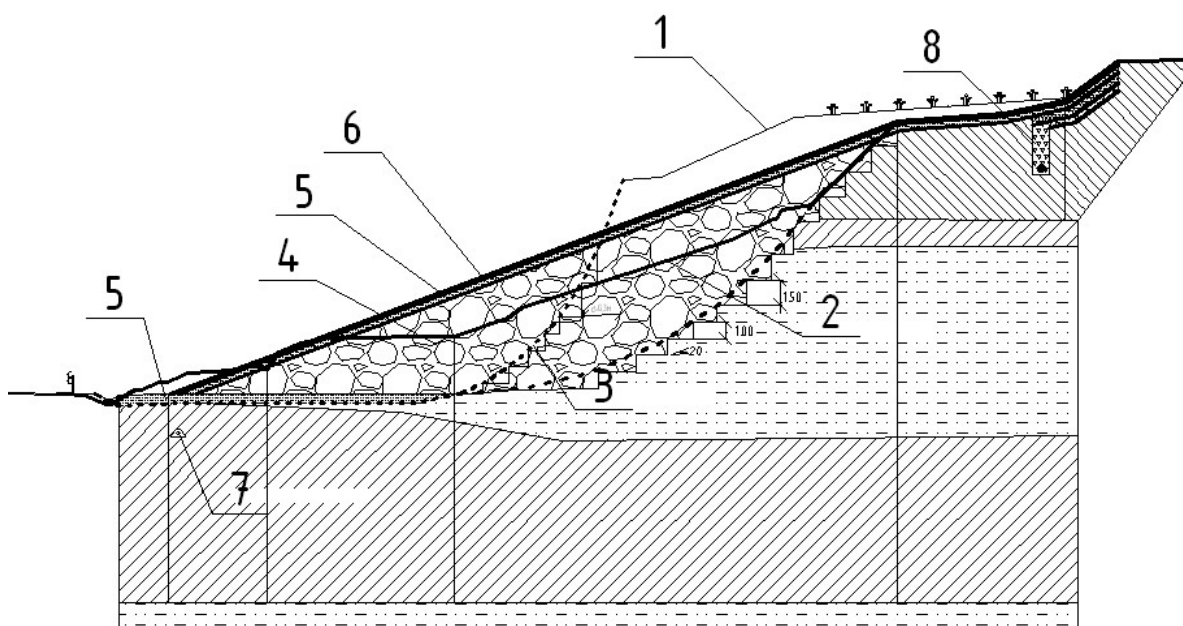
Jednym z najbardziej złożonych procesów osuwiskowych na drodze „Kijów – Odessa” stało się osuwisko wykopu po prawej stronie drogi na km 300 (rys. 7). Oznaki osuwiska pojawiły się

już w maju 2007 r. Jak stwierdzono, osuwisko powstało w wyniku niezadawalającego stanu systemu drenażowego, a możliwe, że miały na to wpływ błędy przy projektowaniu.

Podobnie jak w poprzednim przykładzie osuwisko uszkodziło system drenażowy i system powierzchniowego odprowadzenia wody. W likwidowaniu skutków uszkodzeń: 1) usunięto masy ziemne zsuwu i zastąpiono je gruboziarnistym narzutem kamiennym, odtwarzając kształt skarpy oraz 2) pokryto odtworzoną skarpe warstwami gruntu gliniastego i ziemi urodzajnej (humusu) (rys. 8).



Rys. 7. Cyfrowy model osuwiska na drodze „Kijów – Odessa”, km 300 (stan w styczniu 2011 r.)



Rys. 8. Schemat odbudowy skarpy wykopu po zsuwie na drodze „Kijów – Odessa”, km 300; 1 – linia wyjściowa (pierwotna) skarpy, 2 – powierzchnia osuwiska (styczeń 2011 r.), 3 – powierzchnia osuwiska (maj 2009 rok), 4 – materiał kamienny, 5 – grunt gliniasty, 6 – grunt żyzny (humus), 7 – drenaż, 8 – drenaż skarpy

W projekcie zakładano, że przy tak odtworzonej skarpie materiał kamienny będzie przechwytywał wody gruntowe i kierował je do drenażu usytuowanego w dolnej części skarpy. Nie odtworzono pourywanych ciągów drenażowych, a podłączono je do drenażu w podstawie

skarpy. Prace naprawcze wykonano w lutym 2011 r. kosztem około 200 tys. \$. W dzień po zakończeniu robót rekonstrukcyjnych (rys. 9) zaobserwowano deformację betonowego koryta u podstawy skarpy nasypu służącego do odprowadzania wody. Deformacje te były skutkiem parcia przenoszonego przez materiał kamienny wypełniający skarpe. W ciągu kilku następnych dni materiał kamienny spełził aż na jezdnię drogi. Stateczność skarpy była naruszona ponownie. Nastąpiło to przypuszczalnie na skutek parcia wód gruntowych znajdujących się na niższym poziomie nieuwzględnionego w rozwiązaniach projektowych. Zasięg osuwiska znacznie powiększył się. Stało się pewne, że przyczyną główną było wyjście wód gruntowych, których poziom ujawniono już przy pracach wykopowych, nie wzięto tego jednak pod uwagę.



Rys. 9. Odbudowana skarpa wykopu przed powtórным zniszczeniem (luty 2015 r.)

Podsumowanie

Likwidacja osuwisk to długotrwały i kosztowny proces wymagający znacznych środków materialnych. W aspekcie technicznym każdy przypadek osuwiska na swoje osobliwości i wymaga oddzielnego podejścia. W celu stabilizacji każdego odcinka zagrożonego zsuwami zaleca się następujący kompleks przedsięwzięć:

- wykonanie systemu drenażowego,
- wykorzystanie w budowie gabionów,
- zastosowanie skutecznego powierzchniowego systemu odprowadzania wody,
- wykorzystanie wkręcanych i wbijanych pali,
- budowę ścian podporowych,
- zastosowanie urządzeń kotwiących.

Literatura

1. Drannikov A.M., Strelcev G.V., Kurpasz R.P. „Oползни на автoбилных дорогах” (Osuwiska na drogach kołowych), Wydawnictwo „Transport”, 1972.
2. Vidavniczij naukowo-tehnicznij żurnal „Dorożnaa galuz Ukraini” Nr 3/2009, Nr 2/2011 (Czasopismo naukowo-techniczne: „Drogowa sieć Ukrainy”), Kijów: „Informator”.

GEOLOGICAL PROCESSES IMPACT ON SOIL SURFACE STABILITY BASED ON CONSTRUCTION OF HIGHWAY "KIEV – ODESSA"

Abstract: The impact of various factors on the activity of landslide processes on the roads and embankments are described on an example of transport facilities in Ukraine on the express-way Odessa-Kiev. Individual approaches are described for classification of landslides, different technical solutions and their complexity are presented as well.

Keywords: Soil slide, road constructions, geotechnical parameters, highways, express routes, failures.

Tłumaczył: Doc. dr inż. Stanisław Mackiewicz