

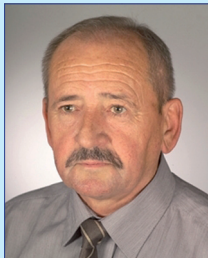


MARIAN GŁAŻEWSKI



KONRAD PIECHOWICZ

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy
– Mazowiecki Ośrodek
Badawczy
k.piechowicz@itep.edu.pl



EUGENIUSZ NOWOCIEN

Instytut Uprawy
Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut
Badawczy w Puławach
nowocien@iung.pulawy.pl

Roboty ziemne, rekultywacyjne i pratotechnika¹ w drogownictwie

Liniowe roboty ziemne w pasie drogowym, a w szczególności skarpy drogowe nasypów i wykopów, narażone są na erozję wodną powierzchniową i wietrzną w trakcie budowy i eksploatacji [1, 2, 3, 5, 6, 9, 17].

Skarpy, ze względu na silnie nachylone powierzchnie, podlegają procesom erozji przyspieszonej. Dlatego ich wykonawstwo, polegające na odpowiednim profilowaniu, a następnie umocnieniu oraz zagospodarowaniu, jest jednym z ważniejszych ogniw w systemie prac rekultywacyjnych i pratotechnicznych [11, 12].

Istotne jest, aby skutecznie chronić powierzchnie skarp przed działaniem czynników denudacyjnych. Wody opadowe z nawierzchni drogowych nie mogą bezpośrednio spływać na nieumocnione pobocza gruntowe i skarpy (fot. 1). Pobocza powinny być umocnione techniczno-biologicznie równocześnie z wykonaniem podbudów nawierzchni, a trawy na skarpach mieć wykształcony trzeci listek [7, 12, 15, 16]. Usuwanie skutków zniszczeń erozyjnych pochłania do 20% kosztów robót ziemnych [16].



Fot. 1. Umocnienia betonowe zniszczone przez spływającą wodę ze skarpy (fot. M. Głażewski)

Podstawowym medium w rekultywacji jest nośnik biologiczny, którym powinna być ziemia urodzajna (gleba). Jeżeli zaś grunt jest płonny, to należy wprowadzić do niego substancje zastępujące glebę lub współdziałające w wytworzeniu jej głównych składników odżywczych [2, 15]. Dlatego koniecznym jest dokładne każdorazowe ustalenie, czy dany grunt zawiera dostateczną ilość składników do zagospodarowania biologicznego, a następnie, czy do projektowanego typu wegetacji będzie się nadawał; w tym celu konieczne będą nie tylko standardowe analizy geotechniczne, ale również gleboznawcze i środowiskowo-biologiczne [12, 13]. Istotny wpływ będzie mieć również powiązanie zagadnień stateczności zboczy i skarp z wegetacyjnymi możliwościami rozwoju roślinności na nich w funkcji ich pochylenia [13, 15].

Drogowe zabiegi pratotechniczne dotyczą czynności związanych z uprawą zieleni przydrożnej, jej użytkowaniem i pielęgnowaniem, mają na celu utrzymanie poboczy, skarp, rowów i ścieków w takim stanie, aby mogły spełniać swoje funkcje, tzn. chronić skarpy korpusu drogowego przed erozją i bez przeszkód odprowadzać wody opadowe [12, 13].

Projektowane budowle ziemne wymagają uwzględnienia geotechnicznych właściwości gruntów pod względem posadowienia, stateczności oraz utrzymania [3]. Bez uwzględnienia tych czynników powstaną szkody materialne, które nawet jeśli nie doprowadzą do katastrofy budowlanej, to spowodują zwiększenie nakładów inwestycyjnych bądź nadmierny wzrost kosztów utrzymania. Aby spełnić te warunki, konieczne jest przygotowanie szczegółowych specyfikacji technicznych (specyfikacji technicznych wykonania i odbioru robót).

Charakterystyka robót ziemnych i rekultywacyjnych

Roboty ziemne są robotami budowlanymi, które polegają na wydobywaniu, przemieszczaniu i ponownym wbudowaniu gruntu. Roboty te występują również przy wykonywaniu nasypów i wykopów drogowych [10, 11].

Roboty rekultywacyjne mają za zadanie przygotowanie nasypów i wykopów drogowych do biologiczno-inżynierskiego zagospodarowania [12, 13]. Zagospodarowanie takie jest niezbędne do wytworzenia warunków eliminujących erozję powierzchniową oraz do przygotowania gruntu mineralnego przydatnego do produkcji roślinnej i rewegetacji roślinnej.

¹ Leksykon naukowo-techniczny WNT Warszawa 2001 następująco definiuje **pratotechnikę** – zespół racjonalnie stosowanych zabiegów przy uprawie, pielęgnowaniu i użytkowaniu łąk i pastwisk, w celu stworzenia korzystnych warunków do wzrostu i rozwoju runi

Ogólne specyfikacje techniczne

Specyfikacje techniczne stosuje się w wielu krajach jako nieodłączny element systemu przetargowego działającego w gospodarce rynkowej. Są one załącznikiem do umowy podpisywanej przez zleceniodawcę i wykonawcę, obowiązującym w zakresie wykonania i odbioru robót. Od kilku lat na drogach krajowych i wojewódzkich w Polsce specyfikacje techniczne stanowią stały czynnik, regulujący sposób postępowania przy realizacji inwestycji.

Wszystko jednak co nowe, szczególnie na obszarze prowadzania, budzi w okresie przejściowym szereg wątpliwości i zastrzeżeń, dopóki nie zostaną wypracowane stosowne wzorce i standardy. Tak też jest i w przypadku specyfikacji technicznych w zakresie robót ziemnych.

Specyfikacje techniczne, wprowadzone Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 18 maja 2004 r. [4], to odrębne dokumenty nie wchodzące w skład dokumentacji projektowej, ale są integralną częścią umowy. Zakres merytoryczny i forma specyfikacji technicznych określone w rozporządzeniu, są zbliżone do przyjętych w w Ogólnych Specyfikacjach Technicznych (OST) opracowanych i wdrażanych wcześniej na mocy zarządzenia Dyrektora Generalnego Dróg Publicznych już od 1992 r. Zniesienie obligatoryjności norm i przyjęcie zasad normalizacji europejskiej, praktycznie równocześnie z wstąpieniem Polski w 2004 r. do Unii Europejskiej, zmieniły status OST, opracowywanych na zlecenie GDDP, ale w związku z brakiem krajowych zasad wdrażania norm europejskich do praktyki, poszczególne biura projektowe i projektanci musieli samodzielnie wprowadzać modyfikacje do dotychczasowych zapisów w OST. Efekty tego stanu są różne. Pojawiło się też sporo błędów w szczegółowych specyfikacjach technicznych. Wydaje się też, że niektórzy projektanci zapominają dość często o tym, że specyfikacje techniczne mają uszczegóławiać dokumentację, podawać informacje pominięte w projektach, a wpływające na jakość wykonania robót ziemnych, mają wskazywać na ściśle określoną technologię wykonawstwa, zapewniającą uzyskanie właściwych, określonych w specyfikacji, parametrów geotechnicznych. Często popełnianym błędem w szczegółowych specyfikacjach technicznych jest nadmierne przywiązywanie wagi przez ich autorów do określenia sposobu wykonania danej roboty, a nie do efektu końcowego, jakim winien charakteryzować się wykonany element. W wielu specyfikacjach technicznych, dotyczących wykonawstwa budowli ziemnych, podaje się np. typ i liczbę walców, liczbę ich przejść w czasie zagęszczania, grubość zagęszczanej warstwy, a pomija rzecz najważniejszą, tj. wymagany wskaźnik zagęszczenia gruntu I_s . W takiej sytuacji wykonawca nie jest odpowiedzialny za wynik końcowy, a jedynie jest zobligowany do przestrzegania zaleceń, co do technologii wykonania robót ziemnych.

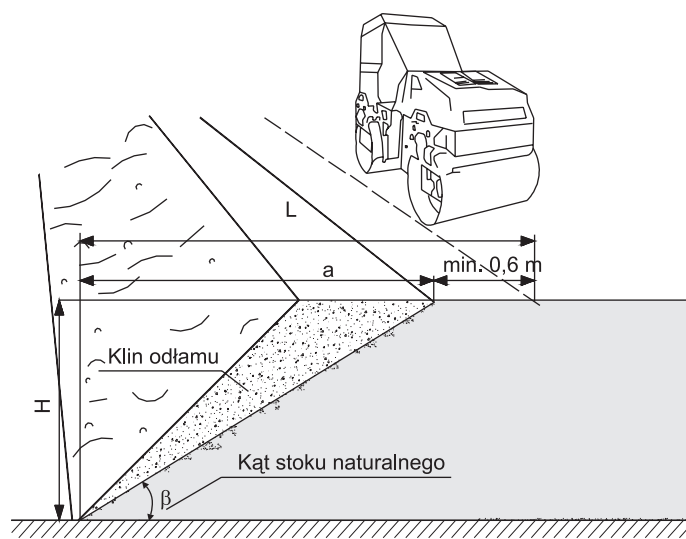
Wykonywanie nasypów

W procesie wykonywania nasypów należy uzyskać taki wskaźnik zagęszczenia gruntu, w kolejnych układanych warstwach nasypu, który zabezpieczyłby budowlę ziemną przed osiadaniem oraz zapewnił trwałość, nośność i stateczność

bezpośrednio po zakończeniu robót ziemnych. Z wyżej wymienionych powodów należy dobrać właściwą technologię zagęszczania [6, 10].

Zagęszczenie gruntu w nasypach, w celu zabezpieczenia ich przed późniejszym osiadaniem, należy stosować w przypadkach, kiedy wykonanie nawierzchni następuje bezpośrednio po zakończeniu robót ziemnych, tzn. gdy nasyp ma stanowić trwale ustabilizowane i nośne podłoże nawierzchni [6, 10].

W technologii zagęszczania gruntów w nasypie znajdują zastosowanie różnego rodzaju maszyny, takie jak walce kołowe statyczne lub wibracyjne gładkie, żebrowane, okołkowane lub na pneumatykach, a także różnorodne ubijaki i płyty zagęszczające. Aby możliwe było bezpieczne zagęszczanie nasypów, operator maszyny budowlanej musi zachować bezpieczną odległość od krawędzi nasypu, uwzględniającą klin odlamu i kąt stoku naturalnego (rys. 1.) [8].



Rys. 1. Klin odlamu przy zachowaniu bezpiecznej odległości od krawędzi zagęszczanego nasypu [8]

Klin odlamu jest częścią skarpy, której obsunięcie się (obezwanie) może nastąpić pod wpływem własnego ciężaru gruntu tam zalegającego, a obsunięcie się gruntu nie wymaga przyłożenia siły z zewnątrz, np. przez dodatkowe obciążenie brzegu korpusu drogowego (przekopu, wykopu).

Kąt stoku naturalnego odnosi się do gruntów sypkich i oznacza największy kąt, przy którym grunt może się utrzymać w zboczu (skarpi) w stanie równowagi trwałej, np. podczas kształtowania nasypów przed zagęszczeniem i/lub po mechanicznym zagęszczeniu warstwy.

Określenie zasięgu klina odlamu polega na obliczeniu odległości bezpiecznej, licząc od dolnej krawędzi nasypu wg wzoru:

$$L = a + 0,6 \text{ m}$$

w którym:

a – zasięg klina odlamu, zależny od wysokości korpusu drogowego – H ,

L – bezpieczna odległość ustawienia maszyny od krawędzi wykopu.

W przypadku gruntów spoiстых $a = H$, w przypadku gruntów sypkich $a = 1,5 H$.

Maszyna budowlana w czasie pracy powinna być ustawiona w odległości co najmniej 0,6 m poza granicę naturalnego klina odłamu gruntu [8, 9]. Jest to niebezpieczna strefa zagrożona obsunięciem się skarpy i powinna być oznakowana.

Wskaźnik zagęszczania gruntów (I_s) oznacza się wg wzoru:

$$I_s = \frac{\rho_d}{\rho_{ds}}$$

w którym:

ρ_d – gęstość objętościowa szkieletu badanego gruntu zagęszczonego [$\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$],

ρ_{ds} – maksymalna gęstość objętościowa gruntu [$\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$], oznaczona metodą badania (gęstość odpowiadająca wilgotności optymalnej oznaczonej przy użyciu metody Proctora).

Wskaźnik ten w górnych partiach nasypów powinien wynosić $0,98 \div 1,00$ w zależności od przeznaczenia danego nasypu, w dolnych zaś może być nieco mniejszy, ok. $0,90 \div 1,0$, zależnie od rodzaju i przeznaczenia danej budowli ziemnej.

W wyniku zagęszczania gruntu, jego ciężar objętościowy w nasypie po zagęszczeniu jest większy, aniżeli ciężar objętościowy tego gruntu w jego stanie pierwotnym (w wykopie), grunt bowiem ulega przegęszczeniu w stosunku do swego stanu naturalnego [9].

Wg [10] wskaźnik zagęszczenia na skarpach powinien wynosić co najmniej $I_s \geq 0,95$ na głębokości $0,3 \div 0,5$ m (rys. 2)

Jako zastępcze kryterium oceny wymaganego zagęszczenia gruntów, w stosunku do których trudne jest pomierzenie wskaźnika zagęszczenia, przyjmuje się wartość wskaźnika odkształcenia I_0 równego stosunkowi modułu odkształcenia wtórnego E_2 do pierwotnego E_1 :

$$I_0 = \frac{E_2}{E_1}$$

Wartości wskaźnika odkształcenia I_0 wahają się w granicach $2,0 \div 4,0$ w zależności od rodzaju gruntu i jego wskaźnika zagęszczenia [10].

Do gruntów ulepszanych spoiwami hydraulicznymi wymagane jest uzyskanie wskaźnika $I_s = 1,0$ w warstwie ulepszo-

nego podłoża, a $I_s = 0,97$ w strefie obliczeniowej głębokości przemarzania.

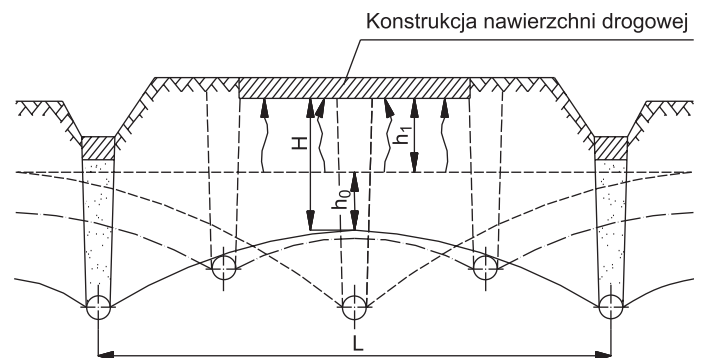
Jako zastępcze kryterium można stosować pomiar wskaźnika odkształcenia I_0 , którego wartość pomierzona bezpośrednio po zagęszczeniu, nie powinna być większa niż 2,2. Na skarpach powierzchniowa warstwa gruntu o grubości do 20 cm powinna mieć wskaźnik zagęszczenia $I_s \geq 0,95$.

Z zagęszczenia gruntu na skarpach można zrezygnować pod warunkiem układania warstw nasypu z poszerzeniem o co najmniej 50 cm, a następnie zebrania tego nadkładu technologicznego [11].

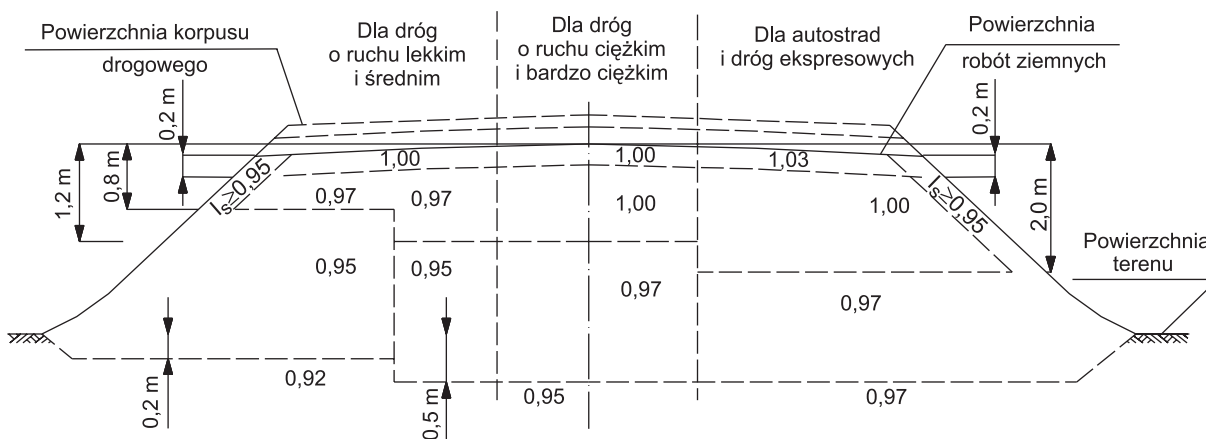
Całościowej oceny cech nośności warstwy gruntu dokonuje się na podstawie pomiaru wtórnego modułu odkształcenia E_2 , metodą VSS.

Odwodnienie korpusu drogowego i drenaż skarp

Niweleta drogi powinna być wzniesiona ponad zwierciadło wody gruntowej co najmniej 0,7 m w gruntach przepuszczalnych, a 1,1 m w gruntach o średniej przepuszczalności i 1,6 m w gruntach nieprzepuszczalnych [9]. W przypadkach wysokiego poziomu zwierciadła wody gruntowej należy je obniżyć, stosując ciągi drenarskie, które umieszcza się pod poboczami lub pod rowami (rys. 3).



Rys. 3. Rozstaw drenów w przekroju poprzecznym nasypu drogowego [9]



Rys. 2. Wymagane wartości wskaźnika zagęszczenia w poszczególnych strefach nasypu w zależności od przeznaczenia drogi [10]

Przy założonym rozstawie drenów L oblicza się zagłębienie obniżonego zwierciadła wody gruntowej w stosunku do konstrukcji nawierzchni H wg wzoru:

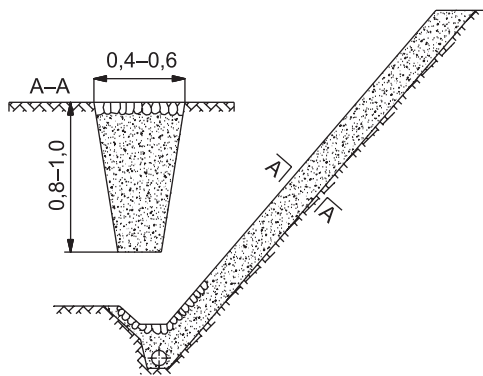
$$H = h_0 + h_1 \quad h_0 = \frac{L}{2} \cdot \sqrt{\frac{q_0}{k}}$$

w którym:

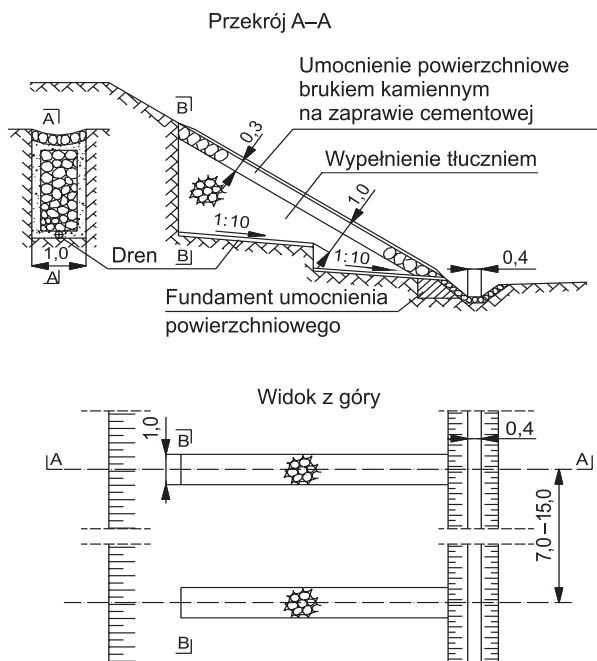
- h_0 – obniżone zwierciadło wody gruntowej [m];
- h_1 – pierwotne położenie zwierciadła wody gruntowej [m];
- q_0 – spływ jednostkowy do drenu [$\text{m}^3 \cdot \text{dobę}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$];
- k – współczynnik filtracji gruntu [$\text{m} \cdot \text{dobę}^{-1}$].

Drenaż skarp wykonuje się, aby zapobiec wyciekom wody na powierzchnie skarpy, prowadzącym do zniszczeń erozyjnych. Drenaż skarp zazwyczaj wykonuje się w formie sączków kamiennych, a zbierająca się woda odprowadzana jest sączkami prostopadłymi do drenu rurowego (rys. 4).

Lokalne osuszenie skarp z mniejszymi wyciekami wodnymi można przeprowadzić wg konstrukcji jak na rysunku 5. Dolna część drenażu skarp powinna być poniżej granicy przemarzania gruntu.



Rys. 4. Przekrój powierzchniowego sączka skarpowego [9]



Rys. 5. Sączki wgłębne poprzeczne odwadniające [9]

Powierzchniowe odpływy na skarpach powinny być umocnione narzutem kamiennym (fot. 4). Brak takiego umocnienia lub tylko częściowe umocnienie sprzyja zjawisku erozji na skarpach i ich niszczeniu (fot. 5).



Fot. 4. Odpływ powierzchniowy umocniony narzutem kamiennym (fot. M. Głazewski)



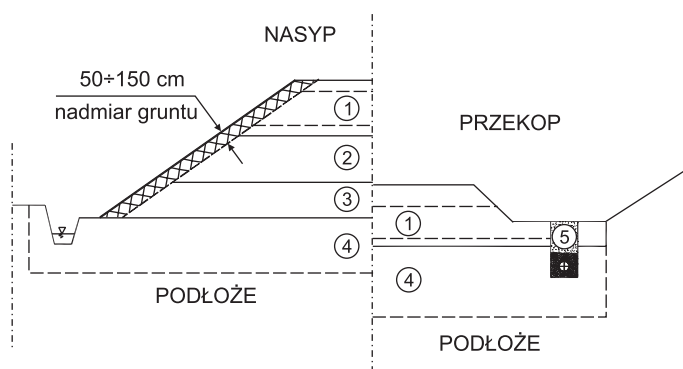
Fot. 5. Częściowo umocniony odpływ. Brak pełnego zabezpieczenia powoduje zamulanie wylotu (fot. M. Głazewski)

Przygotowanie skarp do zadarnienia

Przy wznoszeniu nasypów budowlanych wymagane jest zagęszczenie ich korpusów oraz skarp przy wilgotności optymalnej. Przy tej wilgotności zjawiska erozji wietrznej nie występują, a jeśli są, to tylko w marginalnej formie, nawet przy wbudowywaniu w nasypy mieszanek popiołowo-żużlowych. Tradycyjne sposoby przygotowania powierzchni skarp w przekopach i nasypach pokazano na rysunkach 6 i 7.



Rys. 6. Zebrana warstwa gruntu (jeśli zachodzi konieczność humusowania; nie dotyczy w przypadku stosowania hydroobsiewu) [13]



- ① – warstwa ochronna (zespół warstw: odsączająca, mrozoodporna, separująca)
- ② – korpus nasypu
- ③ – warstwa odcinająca
- ④ – podłoże wzmocnione
- ⑤ – zasypka urządzeń odwadniających

Rys. 7. Nadmiar gruntu do usunięcia z uwagi na konieczność [13]:
– uzyskania wymaganego wskaźnika zagęszczenia,
– uwzględnienia klina odłamu gruntu.

Podsumowanie

Szkodliwy wpływ wody na drogowe budowle ziemne niewątpliwie istnieje od dawna (od czasu wybudowania pierwszych dróg), ale stał się istotnym problemem, gdy zaczęto budować drogi szybkiego ruchu (autostrady i drogi ekspresowe).

Budowle ziemne, w tym zwłaszcza skarpy drogowe, są narażone na erozję powierzchniową żłobinową, w trakcie ich budowy i późniejszej eksploatacji. Dlatego istotne jest, aby skutecznie chronić powierzchnie skarp przed erozją. Odpowiednio dobrane do danej budowli ziemnej i właściwie wykonane umocnienia przeciwoerozyjne pozwalają na znaczne ograniczenie (a nawet wyeliminowanie) kosztów związanych z usuwaniem skutków erozji powierzchniowej (efemerycznych żłobin i bruzd erozyjnych).

Właściwa technologia formowania zbocza (z zachowaniem wymaganego zagęszczenia) i sposób nakładania poszcze-

gólnych warstw ochronnych o odpowiednich właściwościach powinny zapewniać skuteczną ochronę przeciwoerozyjną powierzchni pochyłych z utworów antropogenicznych. Nieprzestrzeganie tych zasad, ujętych dotychczas częściowo w obowiązujących normach, specyfikacjach i instrukcjach, skutkuje potrzebą zwiększenia nakładów inwestycyjnych na usuwanie zniszczeń na skarpach, poboczach i rowach przez skoncentrowany spływ wody.

Bibliografia

- [1] N.J. Coopin, I.G. Richards, Use of Vegetation in Civil Engineering, CIRIA – Butterworths, Londyn 1990
- [2] Z.M. Karczun, L.G. Indeka, Ochrona Środowiska, Aries, Warszawa 1999
- [3] S. Pisarczyk, Grunty nasypowe, Oficyna PW, Warszawa 2004
- [4] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 18.V.2004 r., W sprawie określenia metod i podstaw sporządzania kosztorysu inwestorskiego, obliczania planowanych kosztów prac projektowych oraz planowanych kosztów robót budowlanych określonych w programie funkcjonalno-użytkowym, rozdz. 2 § 2.1., § 3.1. (Dz. U. Nr 130, poz. 1389)
- [5] M. Głazewski, E. Nowocień, K. Piechowicz, Roboty ziemne i rekultywacyjne w budownictwie komunikacyjnym, WKiŁ, Warszawa 2011
- [6] PN-S-02204:1998. Drogi samochodowe. Odwodnienia dróg
- [7] M. Głazewski, Hydroobsiew jako metoda ochrony przeciwoerozyjnej pochyłych powierzchni utworów antropogenicznych. Rozprawa doktorska, IBMER Nr bibl. XXVIII/771, Warszawa 2003
- [8] M. Jodłowski, Operator maszyn do robót ziemnych, WiHK KaBe s.c., Krosno 2000
- [9] Z. Wiłun, Zarys geotechniki, WKiŁ, Warszawa 2007
- [10] PN-S-02205:1998. Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania
- [11] M. Głazewski, Skarpy i pobocza w procesach budowy i eksploatacji dróg, L Techniczne Dni Drogowe, Międzyzdroje 2007
- [12] M. Głazewski, W. Ziaja, Przygotowanie skarp do zamianowania, Drogownictwo 3/1992
- [13] M. Głazewski, Hydrodynamic seeding with use of sewage sludge and fly ash for slope protection. International symposium on Slope Stability Engineering, 8-11 November IS-Shikoku 1999
- [14] PN-B-12082, 1996: Urządzenia wodno-melioracyjne. Darniowanie. Wymagania i badania przy odbiorze.
- [15] W. Ziaja, Dobór traw i roślin do odsiewu pasa drogowego, Drogownictwo 1/1993
- [16] M. Głazewski, K. Piechowicz, Budowa i umocnienie przeciwoerozyjne skarp drogowych, Drogi i mosty 3/2009
- [17] PN-B-12099:1997. Zagospodarowanie pomelioracyjne. Wymogi i badania ■

Z prasy zagranicznej

Badania dotyczące zwiększenia bezpieczeństwa na szwedzkich drogach w tunelach

Unia Europejska przeznaczyła 1,4 mln euro na badania dotyczące maksymalizacji bezpieczeństwa na planowanej obwodnicy Sztokholmu w Szwecji, na której zlokalizowanych będzie aż 18 km tuneli. Głównym celem projektu badawczego jest zapobieganie i ograniczenie ryzyka wypadków w tunelach. Jedne z głównych badań obejmują też sprawdzenie systemów przeciwpożarowych i ewakuacyjnych w symulowanym środowisku i testy na temat zachowań podczas wypadków w tunelach. Projekt będzie również obejmował badania nad korzystnym wyborem systemu wykrywania dymu i ognia. Prace mają być zakończone do grudnia 2014 roku.

<http://www.worldhighways.com>