



MARIAN GŁAŻEWSKI¹⁾
KONRAD PIECHOWICZ²⁾

BUDOWA I UMOCNIE NIE PRZECI WEROZYJNE SKARP DROGOWYCH

STRESZCZENIE. Drogowe budowle ziemne, w tym zwłaszcza skarpy drogowe są narażone na erozję powierzchniową w trakcie ich budowy oraz późniejszego eksploataowania. Usuwanie skutków erozji pochłania do 20 % kosztów robót ziemnych. Dlatego istotne jest, aby skutecznie chronić powierzchnie skarp przed działaniem czynników denudacyjnych.

W artykule omówiono sposoby zabezpieczeń skarp budowli ziemnych przed zniszczeniami erozyjnymi, uwzględniając przede wszystkim naturalne umocnienia skarp. Pobocza muszą być umocnione techniczno-biologicznie wraz z wykonaniem podbudowy, natomiast vegetacja trawy na skarpach powinna być na etapie rozwoju trzeciego listka. Należy również systematycznie wykonywać zabiegi pratotechniczne (podsiewy, użyźnianie i koszenie).

1. WPROWADZENIE

Roboty ziemne w budownictwie komunikacyjnym uznaje się za zakończone po oddaniu do ruchu obwodnicy, odcinka autostrady, linii kolejowej. Natomiast zupełnie pomijane są sprawy umocnień poboczy i zabezpieczenia skarp przed erozją. Droga samochodowa, linia kolejowa, obwałowania ziemne rzek – są to budowle, których skarpy wymagają zabezpieczenia, zanim wytworzy się naturalne umocnienie roślinne [1 - 2].

Szkodliwy wpływ wody na drogowe budowle ziemne znany jest od czasu wybudowania pierwszych dróg. Nad ograniczeniem zakresu szkodliwości tego wpływu od wielu lat pracują inżynierowie komunikacji w krajach, które intensywnie rozbudowują

¹⁾ dr inż. – emeryt, Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa, Warszawa

²⁾ mgr inż. – Instytut Budownictwa, Elektryfikacji i Mechanizacji Rolnictwa, Warszawa

oraz modernizują drogi. Woda jest potrzebna przy budowie, utrzymaniu i eksploatacji tras komunikacyjnych, jednakże jej nadmiar wywiera destrukcyjny wpływ na budowę ziemne. Uwidacznia się to poprzez pogarszanie warunków stateczności skarp i wytrzymałości podłoża gruntowego. W rezultacie nadmiar wody przyczynia się do wzrostu kosztów, pracochłonności, materiałochłonności i energochłonności budowy oraz utrzymania tras komunikacyjnych, jak również do obniżania ich walorów eksploatacyjnych.

Pojawiają się też dodatkowe koszty usuwania zniszczeń erozyjnych, na niektórych odcinkach sięgające do 15 %, a w skrajnych przypadkach nawet do 20% kosztów robót ziemnych (koszty wytworzenia całej szaty roślinnej i późniejsze zabiegi pratotechniczne wahają się w granicach 8 - 10 % kosztów robót ziemnych). Uwidacznia się to poprzez pogarszanie warunków stateczności skarp i wytrzymałości podłoża gruntowego. Złe zabezpieczenie nasypów ziemnych przed szkodliwym działaniem wody, zmusza do ograniczania obciążeń i szybkości, a tym samym powoduje zmniejszenie przepustowości dróg. Podstawową przyczyną tego zjawiska jest niedostosowanie technik projektowania, technologii i organizacji budowy oraz modernizacji dróg do odmiennych parametrów takich jak: większe głębokości wykopów i wysokości nasypów, objętości robót ziemnych i powierzchni skarp, znaczne kubatury obiektów. Coraz trudniejsze są też warunki budowy, spowodowane koniecznością ochrony gruntów rolnych i leśnych. Z tego powodu trasy komunikacyjne często prowadzi się przez tereny nieprzydatne rolniczo, podmokłe i zabagnione oraz ogranicza powierzchnie ukopów, jak również tereny pozyskiwania darni. Często napięte harmonogramy budów zmuszają wykonawców do prowadzenia robót w niekorzystnych warunkach atmosferycznych, w okresach intensywnych opadów i w okresach późnej jesieni a nawet zimy.

Z dotychczasowych wnikliwych obserwacji oraz kilkuletnich własnych doświadczeń [3] wynika, że przy wykonywaniu robót wykończeniowych i rekultywacyjnych można sprowadzić do minimum zakres robót związanych z usuwaniem zniszczeń erozyjnych. Osiągnąć to można np, poprzez zastosowanie hydromechanicznego nanoszenia na skarpy substancji użyźniających: mieszanki nasion traw i motylkowatych z dodatkiem ściółki, przefermentowanych osadów ściekowych i emulsji bitumicznej lub lateksowej pełniących rolę zabezpieczenia przed spływającą wodą dopóki nie wytworzy się zwarta okrywa roślinna. Zabiegi te popularnie nazywa się hydromulczowaniem lub hydroobsiewem i stosuje się przeważnie na powierzchniach pochyłych, tj. skarpach, zboczach, stokach itp.

Celem artykułu jest przedstawienie zagadnienia, natychmiastowego tj. niezwłocznie po zakończeniu budowy, zabezpieczenia skarp budowli ziemnych przed działaniem erozji oraz pokazanie opłacalności stosowania techniczno-biologicznych metod umocnienia skarp.

2. SKARPA, ZBOCZE, STOK NATURALNY (NADSKARPOWY)

Skarpa stanowi element konstrukcyjny budowli ziemnych. Jej umocnienie może być biologiczne, bądź techniczne (sztuczne). Jako umocnienie biologiczne najczęściej stosowana jest darń wzmocniona krzewami. Umocnienie sztuczne, wykonywane jest z betonu lub innych materiałów.

Sposób umocnienia skarpy zależy od jej przeznaczenia, a także od środowiska w jakim będzie się znajdowała (częste opady atmosferyczne, narażenie na działanie sływów powierzchniowych i tworzenie się żłobin) oraz od rodzaju i właściwości gruntów, wymaganego stopnia zabezpieczenia oraz warunków miejscowych. Przez pojęcie skarpa należy rozumieć nie tylko pochylone powierzchnie, lecz również przyległe pasy poziome („brewki”) o odpowiedniej, wymaganej, szerokości na koronie i u jej podnóża [4].

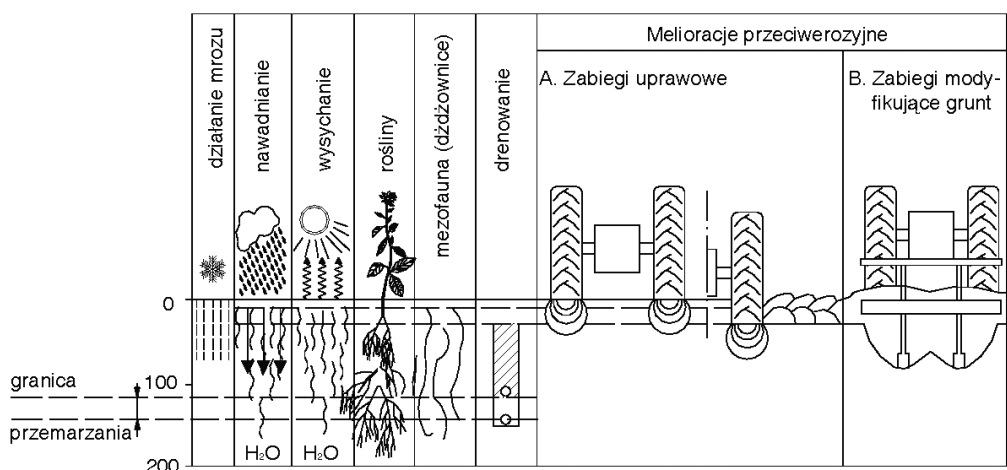
Pokrycie roślinnością skarpy nasypów lub przekopów napotyka na znaczne trudności. Na powierzchni skarpy nowo powstałej budowli ziemnej, nie występują idealne warunki glebowe dla rozwoju roślin, wobec tego, wprowadzana roślinność musi odgrywać rolę pionierską w procesie glebotwórczym. Pochylenia sprawiają, że nakładana warstwa ziemi urodzajnej – zabieg niezbędny do uzyskania polepszenia warunków siedliskowych – ma tendencję do zsuwania się. Podobnie jest w przypadku przemieszczeń nawozów oraz nasion, z górnej w dolną część skarpy [5]. Stąd też diametralnie różne są warunki rozwoju u góry i u dołu skarpy (rys. 1). U góry, gdzie jest najmniejsze uwilgotnienie, roślinność jest szczególnie narażona na nieprzyjęcie się, a system korzeniowy często ulega obnażaniu z powodu wywiewania gleby. W zimie wiatry bardzo często wywiewają z tych miejsc pokrywą śnieżną, co przyczynia się do wymarzania i osłabiania roślin. U dołu skarpy gromadzi się natomiast ziemia urodzajna przemieszczona z górnej części skarpy, gdzie poziom próchniczny ma większą miąższość i gromadzi dzięki temu większe zapasy wody, co poprawia warunki wzrostu i rozwoju roślin.



Rys. 1 Intensywnie rozwinięta roślinność u podnóża skarpy (ubogie zazielenienie na skarpie)

Fig. 1. Intensive vegetation at the foot of the slope (poor vegetation on the slope)

Równie duże zróżnicowanie warunków siedliskowych może występować w wykopach oraz przekopach, gdzie na większości powierzchni skarp mamy do czynienia tylko ze skałą macierzystą (gruntem płonnym), która może charakteryzować się bardzo różnymi warunkami, jeśli chodzi o naturalną żyzność, jak i stosunki wodne. Rysunek 2 odzwierciedla czynniki kształtujące powstawanie profilu gleb na powierzchniach skarp.



A. Zabiegi agrouprawowe

- wyrównanie:
 - skarpowanie
 - plantowanie
- mieszanie:
 - kultywatorowanie
 - bronowanie
 - włókowanie
 - frezowanie
- moletowanie (góra skarpy)
- bruzdowanie (dół skarpy)

B. Zabiegi modyfikujące i użyźniające grunty

- humusowanie
- mulczowanie (ściółkowanie)
 - wapnowanie (gipsowanie)
 - matowanie (iłowanie)
- nawożenie ograniczno-mineralne
- hydromulczowanie (hydroobsiew)

Rys. 2. Czynniki kształtujące profil gleb inicjalnych na skarpach [1]

Fig. 2. Factors influencing the initiative soil profile on the slope [1]

W trakcie wykonywania liniowych budowli ziemnych zdejmuje się całą warstwę darniowo – glebową, co powoduje, że odsłonięte grunty – zwłaszcza na pochyłościach podlegają intensywnej wodnej i wietrznej erozji. Dlatego uzyskanie stateczności, prawidłowego utrzymania i estetyki skarp drogowych (zwałowisk gruntów antropogenicznych, a także zboczy i stoków naturalnych) jest zadaniem trudnym do wykonania.

3. SZKODY POWODOWANE PRZEZ WODĘ

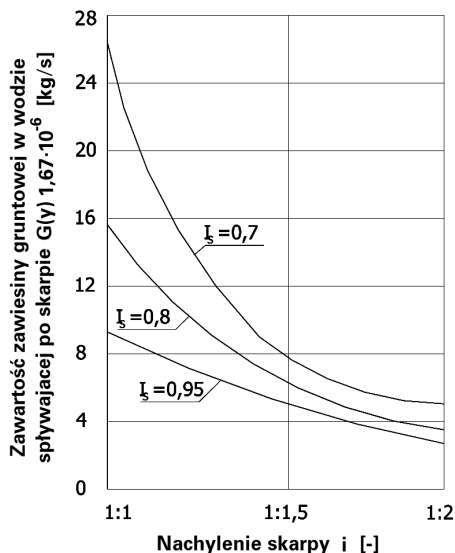
3.1. UWAGI OGÓLNE

Do erozji gleby na skarpach dochodzi nawet wtedy, gdy ogólna i miejscowa stateczność skarpy jest w pełni zabezpieczona. Z nieumocnionych skarp i zboczy (rys. 3), nawet bez uwzględnienia skupisk uszkodzeń spowodowanych rozmyciem, z każdego hektara następuje corocznie zmyw erozyjny w wielkości od 150 do 200 m³ gruntu [6 - 7].



Rys. 3. Żleby erozyjne na skarpie powstałe wskutek żłobinowych zmywów
Fig. 3. Erosive gutters created by grooving run-off

Erozja budowli ziemnych jest czynnikiem hydromechanicznego naruszenia struktury gruntu. Intensywność zniszczeń erozyjnych zależy zwłaszcza od odporności gruntu na erozję od jego fizykomechanicznych właściwości (rys. 4), a także od kąta nachylenia i długości zbocza/skarpy. Wraz ze zwiększeniem pochylenia powiększa się powierzchnia gromadzenia i ilość spływającej wody, a także prędkość strumienia czyli jego energia kinetyczna (rys. 5).



Równania krzywych określających zależność $G(y)$ od pochylenia skarpy i

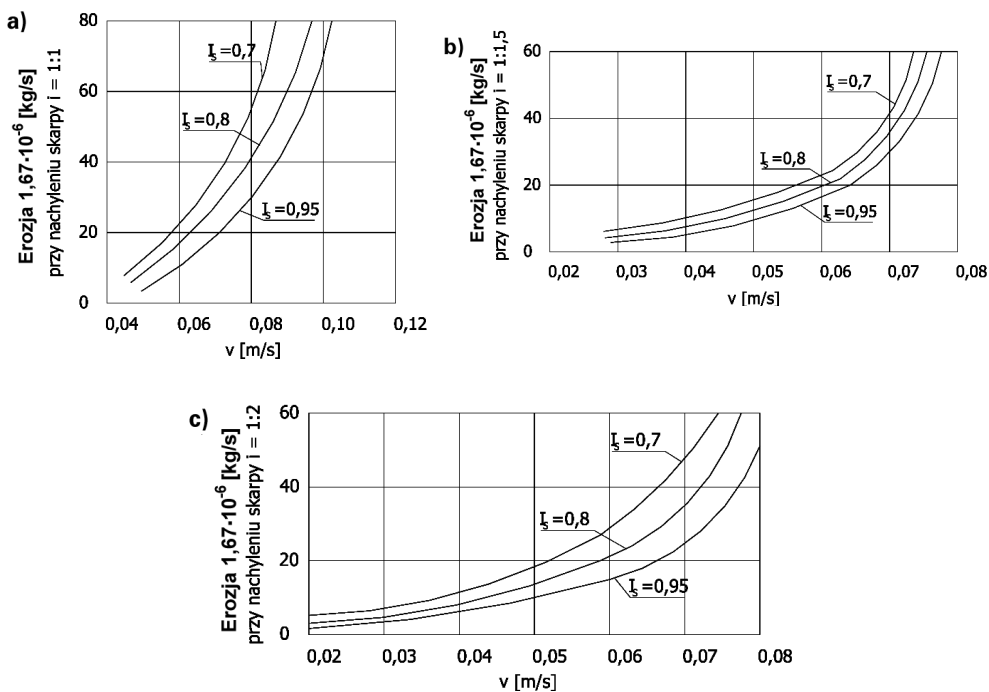
$$\text{dla } I_s = 0,7; G(y) = 94,16 + 280i + 96,32i^2$$

$$\text{dla } I_s = 0,8; G(y) = 32,86 + 74,72i + 108i^2$$

$$\text{dla } I_s = 0,95; G(y) = 213,6 + 712,9i + 749,3i^2$$

Rys. 4. Zależność między ilością gruntu unoszonego z wodami opadowymi a nachyleniem skarpy oraz wskaźnikiem zagęszczenia I_s [7]

Fig. 4. Relationship between soil mass in flowing rain water, slope angle and consolidation factor I_s [7]



Rys. 5. Zmyw erozyjny gruntu przy 10-cio minutowym deszczu w potoku spływającej wody przy różnych prędkościach spływu [7]

Fig. 5. Erosive flow of water at 10 minutes of rain water flowing with different speeds [7]

3.2. RODZAJE SZKÓD

Z dużym uogólnieniem można zaproponować następujący podział szkodliwego działania wody w drogownictwie:

- a) utrudnienie wykonywania i rekultywacji wykopów i ukopów z powodu występowania erozji i sufozji gruntu, zwiększonego ciężaru przewożonej masy i konieczności pompowania wody,
- b) długotrwałe konsolidowanie podłoża zbudowanych z gruntów ściśliwych w wyniku powolnego odfiltrowywania wody,
- c) osuwanie i spływanie skarp oraz stoków nadskarpowych w wyniku zmniejszenia wytrzymałości i zwiększenia ciężaru gruntu (rys. 6),
- d) zmniejszenie przepuszczalności drenaży i filtrów w wyniku kolmatacji drobnych cząstek gruntu,
- e) zamulanie drenaży i kanałów produktami splukiwanymi z powierzchni terenu oraz wypłukiwanymi z gruntu (rys. 7),
- f) korazyjne niszczenie (spowodowane działaniem wiatru) materiałów w budowlach drogowych, melioracyjnych itp.



Rys. 6. Obryw mas gruntu na skarpie
Fig. 6. Ripping of soil mass on the slope



Rys. 7. Zerodowane pobocze. Brak tymczasowych krawężników do odprowadzania wód opadowych z jezdni

Fig. 7. Eroded shoulder. Lack of temporary gutters for piping away rain water from road

Wszystkie opisane powyżej czynniki przyczyniają się do powstania erozji przyspieszonej, co schematycznie przedstawiono w tablicy 1.

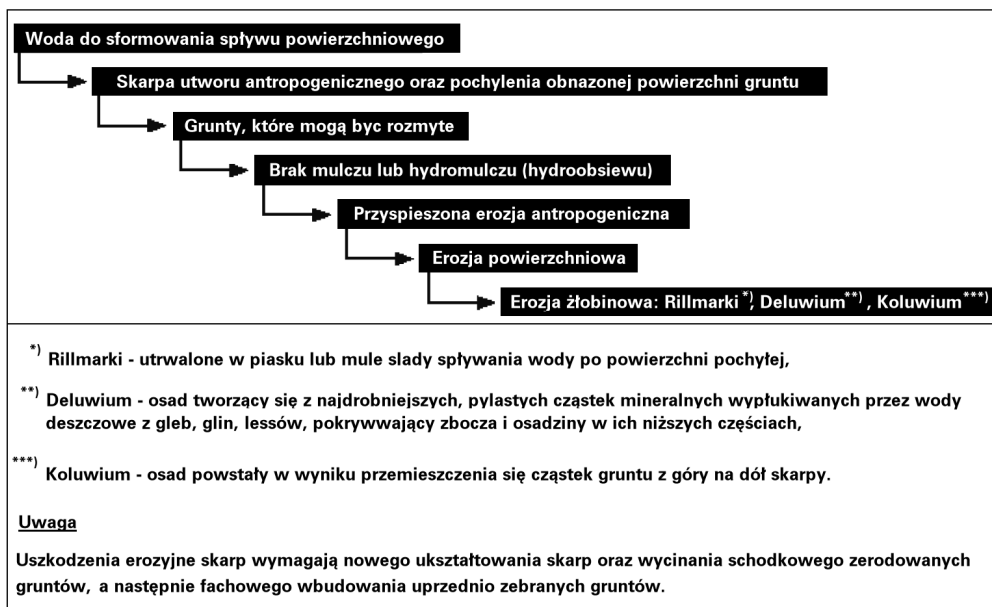
3.3. BŁĘDNE ZABEZPIECZENIA PRZECIWEROZYJNE

W zakresie zabezpieczeń przeciw erozji najczęściej są popełniane następujące błędy:

- roboty ziemne wykończeniowe (równanie, zagęszczanie i moletowanie powierzchni ziemnych) wykonuje się z dużym opóźnieniem w stosunku do podstawowych robót ziemnych i z tego powodu powstają głębokie rynny erozyjne, a wyerodowany grunt zamula rowy, przepusty i okoliczne pola,

- skarpy nasypów i powierzchnie zahumusowane nie są dostatecznie dogęszczone. Słabo zagęszczony grunt ułatwia dzikim zwierzętom kopanie nor (rys. 8). Wydrążone korytarze w korpusie nasypu znacznie osłabiają jego stateczność. Szczególnie nieprawidłowe jest pozostawienie źle zagęszczonego gruntu wypełniającego rynny erozyjne i przestrzeń przy przyczółkach mostowych,
- nieprawidłowo rekultywuje się zdegradowane powierzchnie ziemne (niewłaściwa jakość, nieprawidłowe przechowywanie i niedostateczna grubość warstwy ziemi urodzajnej, brak stosowania mineralnych nawozów startowych) (rys. 9),
- nie zabezpiecza się obsianych powierzchni oraz nasion przed nadmierną utratą wilgotności, wyflukiwaniem (ekosiatki przeciwerozyjne i cieniujące),
- nie stosuje się utrwalania obsianych powierzchni w celu zabezpieczenia nasion przed wywianiem, wyflukiwaniem lub wydziobaniem przez ptaki (siatki cieniujące),
- nie pielęgnuje się dostatecznie porostu w początkowym okresie wegetacji (nawadnianie, dodatkowe nawożenie, koszenie),
- wykonuje się obsiew w okresach pozawegetacyjnych (od 15.IX do 15.IV),
- stosuje się nieprawidłowe ubezpieczenia rowów (niedostosowanie do wielkości spadku) i terenu poniżej ścieków skarpowych,
- nie stosuje się podsypiek z gruntów odpornych na erozję i sufozję pod schody, ścieki (rynsztoki) i ubezpieczenia skarp.

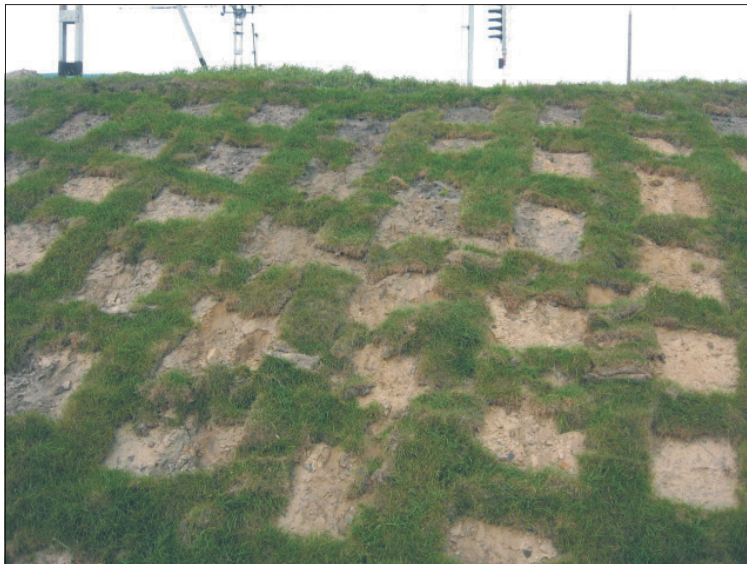
Tablica 1. Powstawanie antropogenicznej erozji przyspieszonej
Table 1. Creation of accelerated antropogenic erosion





Rys. 8. Niedostateczne zagęszczenie skarpy sprzyja powstawaniu nor dzikich zwierząt, co ma niekorzystny wpływ na stateczność skarpy

Fig. 8. Insufficient soil consolidation enables digging burrows by wild animals and cause disadvantage for slope stability



Rys. 9. Nieprawidłowo wykonane darniowanie w kratę na skarpie – brak podkładu z warstwy ziemi urodzajnej, oraz nie przymocowano pasów darniny do podłoża

Fig. 9. Improperly placed turf on the slope without udercoat of humus and attachment to the slope

Erozja wywołuje potrójne szkody w otaczającym środowisku:

- a) niszczy wytworzone naturalne lub sztucznie powierzchnie skarp, w wyniku, czego zwykle następuje zmniejszenie, a nawet zanik (utrata) stateczności korpusu nasypu oraz deformacja jego wyglądu pod względem estetycznym;
- b) wytworzone u podnóży skarp i w miejscach odkładów usypiska z wyerodowanych cząstek gruntu zanieczyszczają przyległe uprawy rolnicze i utrudniają właściwe ich odwodnienie;
- c) mieszane z wodą lub z wiatrem cząsteczki gruntu zamulają zbiorniki wodne i czynią szkody w faunie wodnej. Są one spowodowane tym, że przy projektowaniu bierze się pod uwagę tylko zagadnienia miejscowej stateczności (soliflukcja i osuwiska); jednak jest to niewystarczające dla pełnego zabezpieczenia skarp przed rozmyciem i wywiewaniem.

Czynnikami, które wpływają na podatność erozyjną gleb są:

- topografia powierzchni (nachylenie i długość skarpy/zbocza),
- stan zagęszczenia gruntu (gleby),
- przepuszczalność gruntu (gleby),
- stosowanie nawozów sztucznych (NPK),
- zabiegi uprawowe i wprowadzona roślinność.

W celu przeciwdziałania procesowi erozji gleb wykonuje się różnego rodzaju zabiegi agrotechniczne.

3.4. ZABIEGI AGROGEOTECHNICZNE

Stosuje się następujące zabiegi w zależności od warunków miejscowych:

- a) likwidacja rillmarek – usunięcie drobnych rynienek erozyjnych o głębokości ≤ 10 cm,
- b) bezpośredni siew rzutowy krzyżowy wybranych mieszanek traw i motylkowatych (najczęściej ręczny) z grabieniem i ubijaniem,
- c) humusowanie z uprzednim wykonaniem poziomych bruzd, naniesieniem ziemi urodzajnej, dogęszczeniem naniesionej warstwy, siew rzutowy krzyżowy dobranych kompozycji nasion traw i motylkowatych oraz moletowanie (dogęszczenie) obsianych powierzchni,
- d) hydromechaniczne naniesienie warstw użyźniająco-przeciwerozyjnych (mulczowanie, hydromulczowanie) z zastosowaniem odpowiednich do warunków miejscowych środków nośnych (mediów) oraz mieszanek nasion traw i motylkowatych, a także obsiew,
- e) darniowanie w kratkę z humusowaniem i hydroobsiew (preferowane),
- f) geosyntetyki, humusowanie i obsiewy,

g) płotki faszynowe wypełnione ziemią urodzajną i obsiane ręcznie lub hydroobsiew (preferowane).

4. SZATA ROŚLINNA

Roślinność jest szeroko stosowana w budownictwie ziemnym jako sposób redukcji negatywnego wpływu prac inżynieryjno-budowlanych i estetyki krajobrazu. Może ona również odgrywać ważną rolę z powodu swojego bezpośredniego wpływu na glebę, zarówno na powierzchni (zadarniając i umacniając), jak i na głębokości, zwiększając poprzez zwarty system korzeniowy wytrzymałość na ścinanie i ośrodk gruntowego. Wegetacja może także bardzo znacząco wpływać na wilgotność gruntu. Wszystkie te oddziaływania mogą być korzystne, w zależności od okoliczności, ale przede wszystkim mają bezpośredni związek z inżynierią komunikacyjną. Zagadnienie stateczności, prawidłowego utrzymania i estetyki skarp wszelkich komunikacyjnych budowli ziemnych, zwałowisk utworów antropogenicznych, (składowisk odpadów przemysłowych) a także zboczy i rowów w głównej mierze koncentruje się wokół podstawowego zagadnienia np. wybudowania drogi, podtorza, wału przeciwpowodziowego, ziemnego muru oporowego, a najmniejsze zaangażowanie uwidoczni się przy pracach uznanych za mniej ważne przy formowaniu skarp, np. zasypywanie przyczółków mostowych.

Nowoczesne środki do biologicznego umacniania niestabilnych powierzchni na zboczach i skarpach powinny spełniać następujące wymagania:

- skutecznie stabilizować grunty, również na okoliczność obfitych deszczów (a nawet nawalnych krótkotrwałych), do czasu ukorzenia się siewek,
- ograniczać do minimum zabiegi agrotechniczne i pratotechniczne (podsiew, użyźnianie oraz koszenie w celu wytworzenia zwartej szaty roślinnej),
- przyczyniać się do poprawy zasobności nawozowej ustabilizowanego ośrodka gruntowego, i stosunków wodnych warunkujących życie biologiczne,
- zmniejszać funkcję stabilizatora gruntu w miarę rozwoju okrywy roślinnej,
- nie wносить do gruntu elementów niekorzystnych lub uciążliwych dla środowiska, nierozkładalnych lub trudno rozkładalnych.

Wymienione warunki mogą spełniać m.in. środki zawierające składniki pochodzenia organicznego.

Składniki organiczne, które są produktem rozkładu materii roślinnej i zwierzęcej, mogą występować w formie płynnej, mulistej oraz plastycznej. Mogą one skutecznie wpływać na wodę w gruncie w następujący sposób:

- okrywa świeżej materii organicznej (ściółka, mierzwa, mulcz) osłabia zagęszczający wpływ uderzeń kropli deszczu, które bez tej okrywy powodowałyby zamykanie się porów i szczelin skurczowych w wierzchniej warstwie gruntu, co w konsekwencji zwiększałoby spływ powierzchniowy ograniczając wsiąkanie (infiltrację) w grunt; okrywa taka spowalnia spływ wody i zapobiega erozji gruntu,

- świeża materia organiczna tworzy rodzaj dywanu (lepiszcze + ściółka) zabezpieczającego wierzchnię gruntu przed wyparowaniem przy wysokich temperaturach powietrza i silnych, wysuszających wiatrach,
- materia organiczna utrzymuje właściwy stan wilgotności powierzchni gruntu, umożliwiając przy utrzymującym się reżimie wilgotnościowym szybkie kiełkowanie nasion i wzrost siewek,
- materia organiczna dostarcza pokarmu dla drobnoustrojów, które zasiedlając wierzchnia warstwę inicjują życie biologiczne,
- rozkładająca się materia organiczna wydziela dwutlenek węgla, przekształcający się następnie w kwas węglowy, który w wyniku reakcji chemicznej z minerałami w gruncie przynosi poprawę jego troficzności,
- rozłożona materia organiczna zwiększa ilość namulów i przekształca strukturę gruntu umożliwiając tworzenie się szczelin, pęknięć i rys skurczowych, ułatwiających wsiąkanie wody deszczowej oraz napowietrzanie gruntu,
- proces rozkładu materii organicznej i jej łączenia się z minerałami zawartymi w gruncie stwarza warunki do absorpcji wody oraz transportu związków pokarmowych do systemu korzeniowego roślin. Ma to szczególne znaczenie w gruntach piaszczystych, gdzie w przypadku braku ww. procesów woda i zawarte w niej minerały przefiltrowałyby szybko przez warstwę piasku i nie zostałyby zaabsorbowane przez korzenie roślin.

5. TRAWY I MOTYLKOWATE DROBNONASIE NNE

Trawy są najbardziej odporne ze wszystkich roślin na działanie zanieczyszczeń np. pochodzących z dróg. Dlatego nadają się do zagospodarowania terenów w takich strefach.. Dziko rosnące gatunki i ekotypy traw pochodzenia lokalnego ze względu na trudności w pozyskaniu nasion – nie mają większego znaczenia dla zagospodarowania stref ochronnych. Dlatego też stosowane są rozmaite uprzednio sprawdzone mieszanki (kompozycje) traw i motylkowatych drobnonasiennych [9].

Podstawowymi warunkami intensywnej wegetacji traw [10] są korzystne stosunki wodne i pokarmowe oraz minimalna zawartość substancji toksycznych w środowisku glebowym. Tego rodzaju warunki można stworzyć niemal wszędzie, nawet w przypadku występowania dużych nachyleń i znacznych koncentracji zanieczyszczeń w przyziemnej części atmosfery.

Wybór gatunków traw do umocnienia budowli ziemnych nie jest przypadkowy. Roślinność przeznaczona do tego celu powinna spełniać następujące warunki:

- szybko rosnać w celu zabezpieczenia powierzchni skarp,
- posiadać dobrze rozwinięty system korzeniowy, który dodatkowo wzmacnia podłoże,
- tworzyć trwałą i zwartą okrywę roślinną w ciągu całego roku,
- mieć niewielkie wymagania pokarmowe,

- nie wymagać częstego koszenia,
- posiadać dużą odporność na zmienne warunki pogodowe.

Trawami, które spełniają ww. wymagania i mogą wytworzyć murawy są trawy niskie, posiadające dobrze rozwinięty i gęsty system korzeniowy, tym samym tworząc zwartą obudowę roślinną. Gatunki podstawowe, z których można komponować mieszanki do obsiewu terenów drogowych z przeznaczeniem na murawy to:

- kostrzewa czerwona rozłogowa (*Festuca rubra genuina Hack*),
- kostrzewa owcza (*Festuca ovina L.*), kępowa,
- kostrzewa różnolistna (*Festuca heterophylla Lam.*), luźnokępowa,
- mietlica biaława (*Agrostis alba L.*), rozłogowo - luźnokępowa,
- mietlica pospolita (*Agrostis vulgaris With* lub *Agrostis tennis Sibth.*), rozłogowo - luźnokępowa,
- wiechlina łąkowa (*Poa pratensis L.*), rozłogowo - luźnokępowa,
- życica trwała (*Lolium perenne L.*), zwana też rajgrasem angielskim, luźnokępkowa (trawa ochronna),

Oprócz traw, gatunkami roślin włączonych w skład mieszanek przeznaczonych do obsiewu skarp są motylkowate:

- komonica różkowa (*Lotus corniculatus L.*),
- koniczyna biała (*Triforium regens L.*),
- lucerna nerkowata (*Medicago lupulina L.*).

Normę wysiewu nasion określa się w kg danego gatunku w odniesieniu do 1 ha. Zależy ona od gatunku i wielkości nasion (masy tysiąca nasion M_m , wyrażonej w gramach), oraz od czystości nasion (zanieczyszczeń innymi nasionami, plewami, słomą itp. wyrażonymi w % wagowych) i zdolności kiełkowania (procentu nasion, które wykiełkowały w określonym czasie). Czystość i zdolność kiełkowania stanowią o wartości użytkowej nasion wyrażanej wzorem:

$$W_u = (\text{czystość} \times \text{zdolność kiełkowania}) / 100 .$$

Wartości użytkowe dla wyżej wymienionych gatunków traw podano w tablicy 2.

Normę wysiewu podaje się również w ilości nasion przypadających na 1 dm² powierzchni.

W tablicy 3 podano M_m dla wyżej wymienionych gatunków traw oraz zalecana liczbę nasion przypadająca na jednostkę powierzchni w siewie czystym S_{cz} na trawniku według danych amerykańskich (A) i polskich (P) oraz potrzebną ilość nasion w kg/ha, odpowiadającą polskiej normie zagęszczenia i przy gęstości siewu 100 sztuk na dm² powierzchni.

Tablica 2. Wartości użytkowa normalna $W_u(n)$ niektórych gatunków traw
 Table 2. Values for farm plants $W_u(n)$ and grass species

Nazwa gatunku	$W_u(n)$ [%]
Kostrzewa czerwona	77
Kostrzewa owcza	76
Kostrzewa różnolistna	77
Kostrzewa rozłogowa	77
Mietlica biaława	78
Mietlica pospolita	76
Wiechlina łąkowa	75
Życica trwała	84
Komonica zwyczajna	77
Koniczyna biała	78
Koniczyna różowa	79
Lucerna nerkowata	76

Tablica 3. Normy wysiewu dla poszczególnych gatunków traw i motylkowatych
 Table 3. Seedeng standards for grass species and lagumins

Nazwa gatunku	M_m	Liczba nasion na 1 dm ²		S_{cz} [kg/ha] dla (P)	S_{cz} [kg/ha] przy gęstości siewu 100 szt na 1 dm ²
		A	P		
Rajgras wyniosły	2,5 ÷ 4,3	–	50	125 ÷ 215	250 ÷ 430
Stokłosa bezostna	3,0 ÷ 4,8	–	40	150 ÷ 240	300 ÷ 480
Kostrzewa czerwona	1,03	210 - 270	61	63	103
Kostrzewa owcza	0,62	210 - 260	90	56	62
Kostrzewa różnolistna	1,03	–	61	63	103
Mietlica biaława	0,06	430 - 880	400	24	6
Mietlica pospolita	0,06	480 - 960	400	24	6
Wiechlina łąkowa	0,22	240 - 380	109	54	22
Życica trwała	1,47	180 - 220	86	126	147
Komonica zwyczajna	1,25	–	45	56	125
Koniczyna biała	0,65	–	55	36	65
Lucerna nerkowata	2,05	–	35	72	205

Na podstawie danych z ostatniej kolumny powyższej tablicy, można przystąpić do układania mieszanek (kompozycji), wybierając odpowiednie gatunki i ustalając ich udział procentowy. Rzeczywistą wartość użytkową $W_u(rz)$ oblicza się wg wzoru na wartość użytkową, natomiast $W_u(n)$ przyjmuje się z tablicy 1:

$$\frac{W_u(n) \times S_{cz} \times K \times U}{W_u(rz) \times 100} = \text{ilość nasion danego gatunku [kg / ha]},$$

gdzie:

- $W_u(n)$ – wartość użytkowa normalna [%],
- $W_u(rz)$ – wartość użytkowa rzeczywista [%],
- S_{cz} – ilość nasion w siewie czystym [kg/ha],
- K – współczynnik korekcyjny dla gatunków drobno i grubonasiennych [%],
- U – udział procentowy gatunku w mieszance [%].

Przy doborze gatunków i mieszanek przydatnych do wykonania zadarnień należy uwzględnić:

- sposób użytkowania zadarnienia na terenie ziemnego obiektu budowlanego i w pasach ochronnych,
- skład mechaniczny profilu glebowego i żyzność gleb w tym (zawartość próchnicy/humusu, składników pokarmowych) oraz wilgotność,
- wartość użytkową utworów antropogenicznych np. popiołów lotnych, jeśli były wprowadzane do gleby,
- rodzaj i wielkość zanieczyszczenia atmosfery,
- zadania sanitarne szaty roślinnej w stosunku do atmosfery i gleby.

Głębokość siewu powinna wynosić 0,6 ÷ 1,2 cm, a w żadnym wypadku nie powinna przekraczać 1,5 cm. Im drobniejsze nasiona tym przykrywająca je warstwa ziemi powinna być cieńsza. Chodzi tu o dostęp światła. Wschodzące siewki należy zabezpieczyć przed nadmiernym wysychaniem poprzez ściółkowanie, najlepiej siewką słomianą w ilości 3 ÷ 5 ton/ha. Nowo obsiane tereny w pierwszym okresie po obsiewie wymagają starannej pielęgnacji.

Funkcje zadarnionych powierzchni są zróżnicowane, w zależności od przeznaczenia, począwszy od trawników ozdobnych do kanałów stanowiących przewietrzanie gleby, (skarpy, użytki ekologiczne w strefach oddziaływania dróg).

W pierwszym przypadku wprowadza się te rośliny, które najlepiej w danych warunkach spełniają wymagania zieleni trawnikowej. W drugim przypadku wystarcza darń chroniąca glebę przed niszczącym działaniem wody i wiatru.

Szacie roślinnej można przypisać także funkcję oczyszczania gleb i przyziemnej części atmosfery po skażeniu (kontaminacji), a jednocześnie ochronę wód podziemnych przed zanieczyszczeniami pochodzącymi z gleb. Niezbędna jest wtedy roślinność dająca duże plony roślin. Bujna roślinność na skarpach jest jednak niepożądana, ponieważ stan zanieczyszczenia biomasy dyskwalifikuje jej użyteczność (rys. 10). Konieczne jest więc systematyczne koszenie run i usuwanie pokosów poza obręb stref ochronnych.

Skład gatunkowy mieszanek dobiera się stosownie do istniejących lub specjalnie ukształtowanych warunków glebowych, funkcji roślinności darniowej, oraz ekspozycji (nasłonecznienia) skarp.



Rys. 10. Brak zabiegów pratotechnicznych na skarpie spowodował wytworzenie się zbyt bujnej roślinności i nadmiaru biomasy

Fig. 10. Lack of pratotechnic treatment caused bush and exceeding amount of biomass

6. ZAKRES PRZEDSIĘWZIĘĆ PRZECIWIEROZYJNYCH

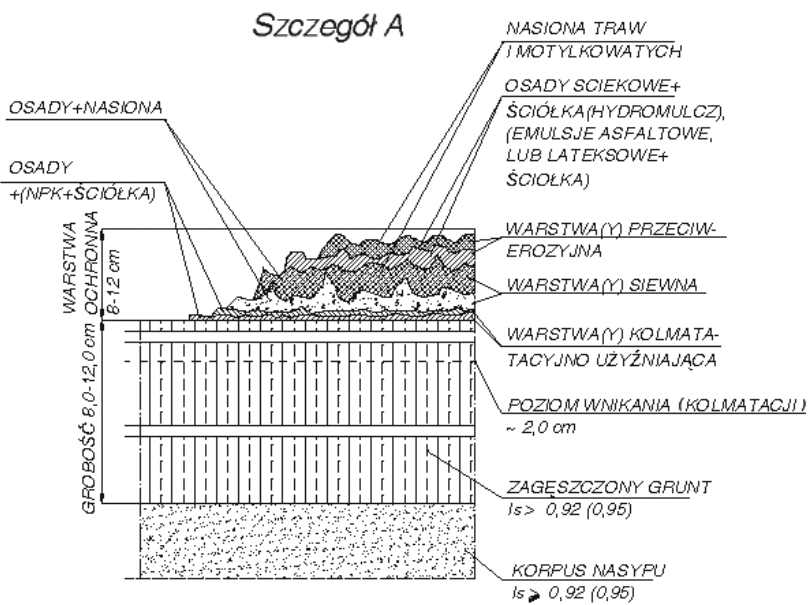
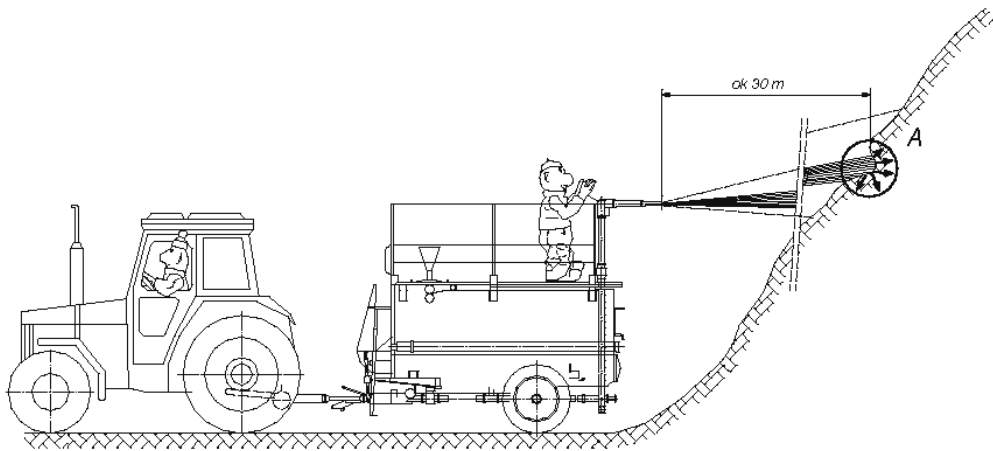
Umocnienie skarp drogowych budowli ziemnych należy projektować uwzględniając występujące zagrożenia związane z niekorzystnymi warunkami gruntowo-wodnymi. Stateczność i umocnienie skarpy stanowią ważny czynnik wpływający na bezpieczeństwo ruchu drogowego. Zastosowane rozwiązanie powinno charakteryzować się wysokim stopniem pewności.

W uzasadnionych przypadkach wykonywania robót ziemnych [11], zwłaszcza w okresach późnojesiennych, a nawet lekkich zim, jako umocnienie skarp należy stosować:

- konstrukcje inżynierskie, takie jak: ściany oporowe, przypory, grunty zbrojone,
- geosiatki, geowłókniny itp.,
- domieszki stabilizatorów chemicznych,
- ażurowe konstrukcje betonowe (rys. 11),
- urządzenia osuszające lub umacniające skarpe, takie jak: drenaż skarpowe, geosyntetyki przestrzenne,
- hydroobsiew, hydromulczowanie (rys. 12 i 13),
- tymczasowe krawężniki.



Rys. 11. Ubezpieczenie skarpy ażurowymi płytami betonowymi
Fig. 11. Slope reinforcement with openwork concrete plates



Rys. 12. Hydrodynamiczne nanoszenie (rapowanie) komponentu siewnego formującego warstwy ochronnej na skarpie [3]
 Fig. 12. Hydrodynamic plot of seeding mixture creating biological protection of the slope [3]



Rys. 13. Hydrosiewnik na samochodzie [12]

Fig. 13. Hydroseeder on the truck [12]

Wymagania dotyczące hydroobsiewu:

- a) Wykonanie techniczno-biologicznego umacniania skarp nasypów powinno być zgodne z technologią, która jest dokładnie omówiona np. w Ogólnej Specyfikacji Technicznej D - 06.01.01.001 „Umocnienie powierzchniowe skarp, rowów i ścieków (rynsztoków)”. Proces techniczno-biologicznego umacniania skarp nasypów należy przeprowadzić pod nadzorem merytorycznym i technologicznym jednostek naukowo-badawczych, które zajmują się tego rodzaju tematyką;
- b) Wyposażenie hydrosiewnika w aparaturę (wskaźniki), umożliwiającą pomiar na wale mieszadła mocy lub momentu obrotowego w celu doboru odpowiedniej do warunków atmosferycznych i gruntowo-wodnych konsystencji (lepkości) mieszanki siewnej;
- c) Właściwe przygotowanie składu hydromieszanki i dobór mieszanek traw oraz modyfikujących. W przypadku wykorzystywania osadów ściekowych, uzyskujemy z oczyszczalni ścieków dopłatę około 100 zł/tonę np. w Warszawie przy 20 % suchej masie;
- d) Możliwość przejazdu wzdłuż nasypu lub wykopu ciągnika z hydrosiewnikiem.

Stosowanie innych technologii techniczno-biologicznego umacniania skarp nasypów jest jeszcze bardziej kosztowne od podanej metody tradycyjnej i wynosi nawet 20 zł/m²; nie zawsze jednak techniki te gwarantują dobre efekty zabezpieczające. W tablicy 4 przedstawiono różnicę kosztów między metodą tradycyjnego siewu a hydroobsiewem.

Tablica 4. Zestawienie wyjaśniające istotne różnice w technologi i kosztach między dwoma stosowanymi metodami obsiewu skarp nasypów i przekopów

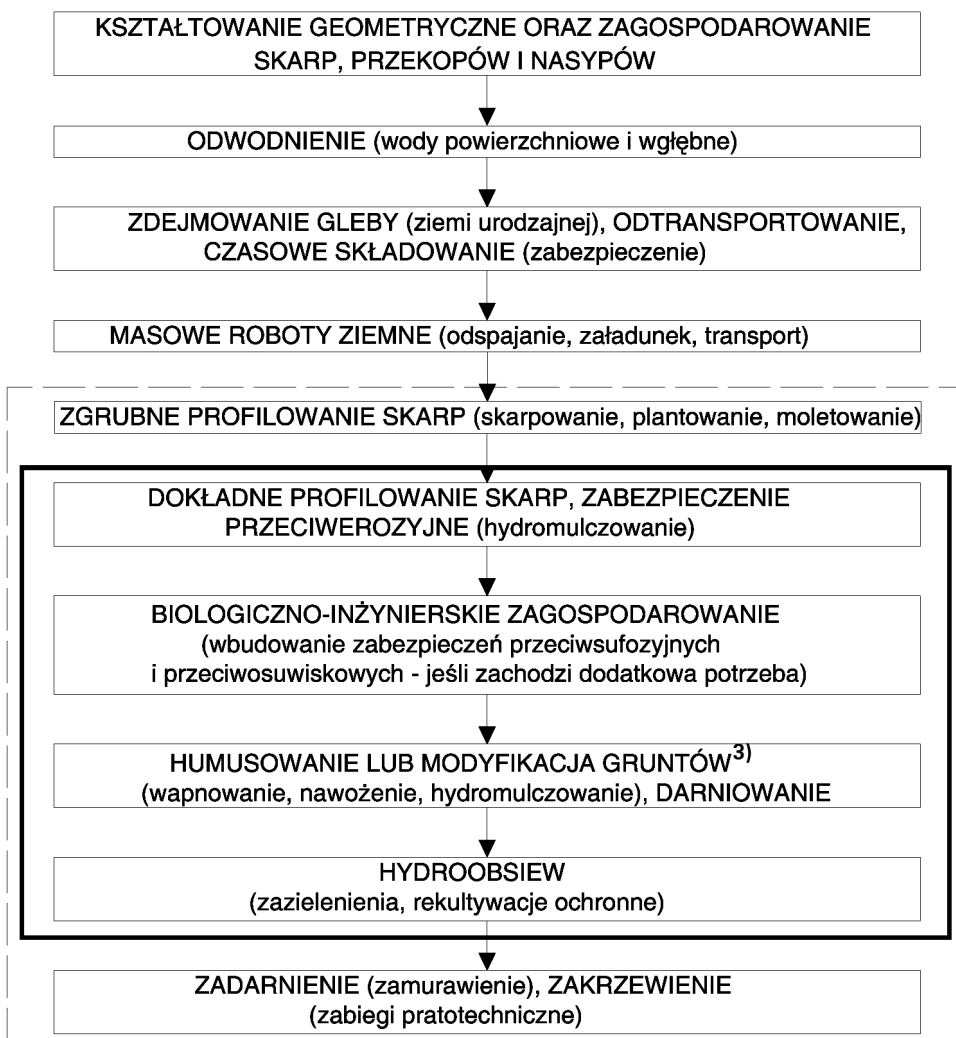
Table 4. Comparison of different technologies and cost for two methods of planting slopes

Wyszczególnienie warunków oraz czynności technologicznych	Metoda tradycyjna (humusowanie)	Ośrodek naukowo-badawczy prowadzący nadzór	Metoda hydroobsiewu (hydromulczowanie)	Ośrodek naukowo-badawczy prowadzący nadzór
<p>1) Warunki wynikające z normy PN-S-002205 styczeń 1998, oraz ogólnej specyfikacji technicznej D-06.01.01. Umocnienie skarp, rowów i ścieków Warszawa 2001 r. dotyczące przygotowania podłoża skarpy tj.</p> <p>a) miąższość warstwy zagęszczonej skarpy min. 0,5m,</p> <p>b) wskaźnik zagęszczenia w ww. warstwie $I_s > 0,95$,</p> <p>c) wynikająca z ww. punktów a) i b) porowatość gruntu powinna zapewnić to, że woda zawarta w kapilarach będzie wystarczająca do rozwoju traw, osiagających trzeci rozwinięty listek. Aby spełnić ten wymóg, wskazane jest deszczowanie skarpy lub też prowadzenie robót po obfitych deszczach,</p> <p>d) uzyskanie warunków wymientonych w punktach a) i b) wymaga stosowania naddatku^{*)} – tymczasowej warstwy, która będzie zdejmowana ze skarpy przed końcowym obsiewem, zgodnie z ww. normą po zakończeniu robót ziemnych i osiągnięciu korony nasypu.</p> <p>2) Zdejmujemy naddatek^{*)} ze skarpy, a następnie:</p> <p>a) wykonujemy poziome bruzdy w odstępach ok. 1 m na głębokość 7 do 10 cm aby zwiększyć stabilność nałożonej urodzajnej ziemi, którą dogęszczamy i uzyskujemy warstwę o miąższości min. 10 cm. Warstwę tę moleujemy,</p> <p>b) sianie krzyżowe mieszanek traw, a następnie wałowanie (moletowanie) tej powierzchni,</p> <p>c) deszczujemy powierzchnię o ile istniejące warunki atmosferyczne nie zapewnijają wystarczają wilgotności gleb w okresie 40 do 60 dni.</p> <p>Koszty zastosowanej metody obsiewu</p>	<p>Najczęściej nie wykonuje się naddatku^{*)}, co powoduje, że często musimy usuwać skutki erozji wodnej na powierzchni skarpy</p> <p>Czynność na ogół konieczna</p> <p>8 ÷ 10 zł/m²</p> <p>10,2 ÷ 12,7 zł/m²</p>	<p>Nadzór nad przestrzeganiem wymogów geotechnicznych oraz agroprawowych podczas siewu i zabiegów pratotechnicznych w okresie gwarancji i rękojmi (dla skarpy północnej – 2 lata, dla skarpy południowej – 3 lata)</p> <p>o wystawie nasłonecznionej dla skarpy</p>	<p>Warunki identyczne jak w metodzie tradycyjnej (poz. a ÷ d)</p> <p>Sianie sześciokrotne krzyżowe hydroobsiewnikiem w celu uzyskania minimum trzech warstw</p> <p>Czynność zbędna</p> <p>Suma pozycji 1d) + 2 b) 1 zł + 3 zł = 4 zł/m²</p> <p>4 zł/m²</p>	<p>Nadzór nad przestrzeganiem wymogów geotechnicznych oraz agroprawowych podczas hydromulczowania/ hydroobsiewu i zabiegów pratotechnicznych w okresie gwarancji i rękojmi (dla skarpy o wystawie zacienionej północnej – 2 lata, dla skarpy o wystawie nasłonecznionej południowej – 3 lata)</p> <p>1,3 ÷ 1,8 zł/m²</p> <p>5,3 ÷ 5,8 zł/m²</p>
<p>Całkowite koszty uwzględniające nadzór technologiczny (poz. 2 + 3 i poz. 4 + 5)</p> <p>^{*)} Dotychczas nie ujęto konieczności wykonywania naddatku technologicznego (poszerzenia) w ogólnej specyfikacji technicznej budowy nasypu D-02.00.00:2002. Roboty ziemne [12].</p>				

W przypadku kształtowania skarp prawidłowy algorytm postępowania przedstawiono w tablicy 5.

Tablica 5. Czynności wykonywane przy kształtowaniu (formowaniu) oraz zagospodarowaniu gruntów na pochyłościach > 3 %

Table 5. Stages of shaping and development of soils on the slopes > 3 %



Objasnienia:

- konieczne zabezpieczenie przeciwerozyjne (hydroobsiew)
- - - - - zalecane zabezpieczenie przeciwerozyjne (hydromulczowanie)

³⁾ Modyfikacja gruntów – w tym wypadku wymieszanie podłoża gruntowego skarpy z ziemią urodzajną

Zgodnie z wymaganiami normy BN-88/8934-02 „Podtorze i podłoże kolejowe, roboty ziemne, wymagania i badania”, na skarpach powinna być wytworzona warstwa ziemi urodzajnej, zawierająca co najmniej 2 % części organicznych, którą należy obsiać mieszaną nasion traw i motylkowatych drobnonasiennych w ilości 20-30 g/m², dobraną odpowiednio do warunków siedliskowych. Po upływie 12 miesięcy od wykonania obsiewu maksymalny wymiar pojedynczych niezadarnionych miejsc nie powinien przekraczać 0,5 m²/100m². W uzasadnionych przypadkach można stosować inne sposoby umocnienia skarp, wg. indywidualnych projektów technicznych. W wyżej wymienionej normie oraz w normie branżowej BN-72/8932-01 „Budowle drogowe i kolejowe.. Roboty ziemne”. Wymagane minimalne wskaźniki zagęszczenia korpusu drogowego wynoszą $I_s \geq 0,95/0,92/$, zaś w normie BN-83/8959-01 „Urządzenie melioracji wodnych. Nasypy. Wymagania i badania” podano, że dla gruntów spoistych $I_s \geq 0,92/0,90/$, a dla gruntów sypkich $I_D \geq 0,55$. Ponadto w tej normie jest zapis: „Skarpy nasypu powinny mieć zagęszczenie takie same jak nasyp”.

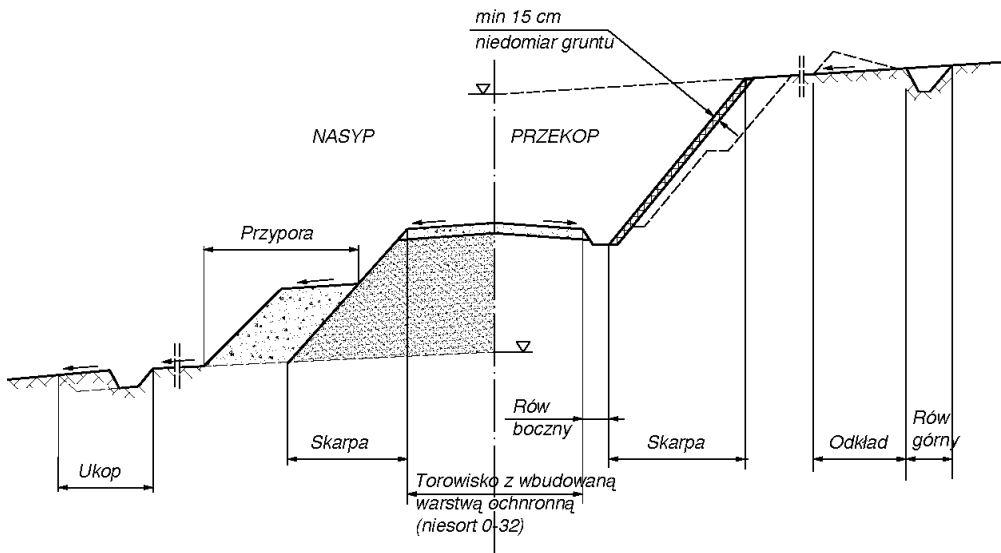
Opierając się na normie PN-S-02205: 1998 wartość wskaźnika zagęszczenia powinna wynosić: dla skarp $I_s \geq 0,95'$. W wyniku przeprowadzonych badań geotechnicznych na kilkunastu obiektach [13], zwłaszcza na skarpach utworzonych z gruntów jałowych, przy pomocy urządzeń do uprawy rekultywacyjnej stwierdzono, że podłoże pod warstwą urodzajną może mieć wyjątkowo dla skarp o wystawie północnej minimalny wskaźnik zagęszczenia $I_s \geq 0,90$.

Przy wznoszeniu nasypów budowlanych wymagane jest zagęszczenie ich korpusów oraz skarp przy wilgotnościach optymalnych. W tych warunkach zjawiska erozji wietrznej nie występują, a jeśli są to tylko w niewielkim zakresie, nawet nasyp jest zbudowany z gruntów podatnych na unoszenie przez wiatr takich jak popioły lotne lub mieszanki popiołowo-żużłowe.

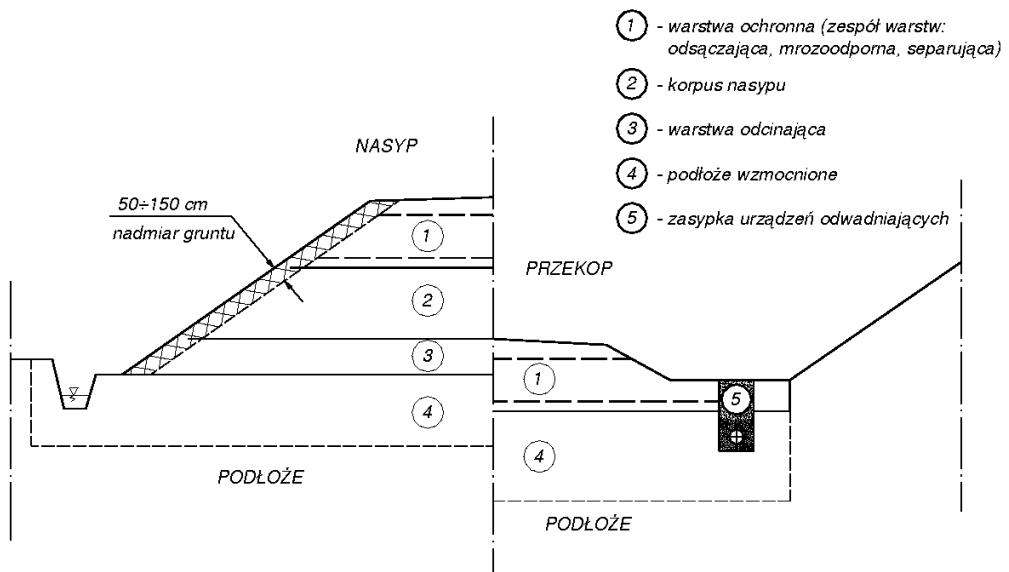
Tradycyjne sposoby przygotowania powierzchni skarp w przekopach i nasypach pokazano na (rys. 14 i 15).

W przypadku stosowania hydroobsiewu, w wykopach, nie ma potrzeby zdejmowania z powierzchni skarpy kilkunastocentymetrowej warstwy gruntu i nakładania na jej miejsce warstwy ziemi urodzajnej (humusu), co znacznie zmniejsza koszty zadarnienia.

Doświadczenia praktyczne [13] wskazują, że nie ma możliwości wykonania nasypu, którego wskaźnik zagęszczenia I_s byłby większy od 0,95 w przypadku nachylonej powierzchni skarpy o miąższości warstwy 0,5. Jedynym sposobem jest kolejne wykonanie nasypu o większej szerokości, a następnie zdjęcie tzw. nadmiaru technologicznego gruntu po uformowaniu nasypu. Wynika to z faktu, że urządzenia zagęszczające nie mogą zbliżyć się do krawędzi skarpy, ze względu na niebezpieczeństwo osunięcia się gruntu. Sposób prowadzonych robót powinien umożliwiać pozyskiwanie pasów darni do zadarnień krzyżowych.



Rys. 14. Zebrana warstwa gruntu (konieczność humusowania)
 Fig. 14. Removed layer of soil (turfing necessity)

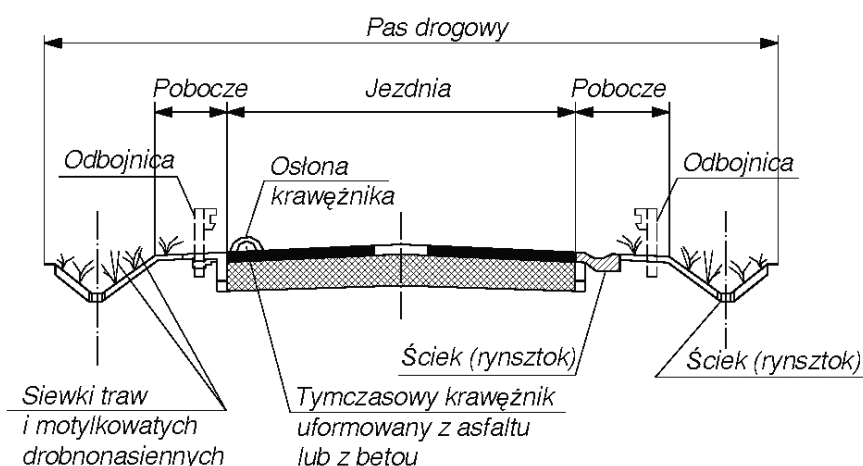


Rys. 15. Nadmiar gruntu (zakreskowana część skarpy) do usunięcia z uwagi na konieczność uzyskania wymaganego wskaźnika zagęszczenia I_s oraz uwzględnienia klinu odłamu gruntu
 Fig. 15. Excess of soil (shaded part of slope) for removing with respect on necessity of obtaining required consolidation factor I_s and regarding ripping wedge of soil

Nie zachowanie wymaganego wskaźnika zagęszczenia może spowodować:

- osunięcie skarpy (kął stoku naturalnego oraz klin odłamu),
- wyschnięcie traw i motylkowatych rosnących na skarpie (brak podciągania kapilarnego).
- zły stan skarp, uniemożliwiający pozyskiwanie pasów darni przeznaczonych do zadarnień krzyżowych.

Po wykonaniu robót, do czasu wytworzenia się zwartej okrywy roślinnej, potrzebne jest wstępne zabezpieczenie przeciwerozyjne obsianych powierzchni skarp np. za pomocą tymczasowych krawężników lub ujęć ścieków po boku nawierzchni a także dodatkowe zabezpieczenie naddatków skarp, zwłaszcza na nasypach (rys.16) [14].



Rys. 16. Stopniowe zagospodarowanie poboczy, skarp rowów i ścieków
Fig. 16. Partial development of shoulders, slopes and gutters

8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Budowle ziemne, w tym zwłaszcza skarpy drogowe, są narażone na erozję, powierzchniowo-żłobinową, w trakcie ich budowy i późniejszej eksploatacji. Dlatego istotne jest, aby skutecznie chronić powierzchnie skarp przed erozją. Trawy (siewki → porost → ruń) przejmują funkcję przeciwerozyjną oraz są odporne na działanie mrozu gdy rozwinię się trzeci listek trawy, tj. dla skarp o wystawie zacienionej (północnej) po 40 dniach, a dla skarp o wystawie nasłonecznionej (południowej) po 60 dniach od momentu obsiewu.

Aby okrywa roślinna skarp dobrze spełniała swoją funkcję, należy dobrać odpowiednie mieszanki (kompozycje) traw i motylkowatych w zależności od ekspozycji skarpy (strona północna lub południowa). Na stronę południową należy dobrać gatunki odporne na długotrwałe nasłonecznienie.

Właściwa technologia formowania zboczy oraz skarp (z zachowaniem wymaganego zagęszczenia), jak i sposób nakładania poszczególnych warstw hydromieszanki o odpowiednich właściwościach gwarantują skuteczność hydroobsiewu jako metody ochrony przeciwoerozyjnej powierzchni pochyłych z utworów antropogenicznych. Nieprzestrzeganie tych zasad, ujętych dotychczas częściowo w obowiązujących normach, specyfikacjach i/lub instrukcjach, skutkuje potrzebą zwiększenia nakładów inwestycyjnych, a równie często jest przyczyną strat w produkcji rolniczej (zanieczyszczenie rowów melioracyjnych) np. przy budowie obwodnic drogowych [15].

BIBLIOGRAFIA

- [1] *Coopin N.J., Richards I.G.*: Use of Vegetation in Civil Engineering. CIRIA - Butterworths, Londyn 1990
- [2] *Begemann W., Schiechl H.M.*: Inżynieria ekologiczna w budownictwie wodnymi ziemnymi. Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1999
- [3] *Głażewski M.*: Hydroobsiew jako metoda ochrony przeciwoerozyjnej pochyłych powierzchni utworów antropogenicznych. Rozprawa doktorska, IBMER, nr bibl. XXVIII/771, Warszawa 2003
- [4] *Makowski J.*: Geotechniczne zasady projektowania skarp. Przegląd Kolejowy Drogowy nr 4/1976
- [5] *Głażewski M, Ziaja W.*: Przygotowanie skarp do zadarnienia: Drogownictwo, nr 3/92
- [6] *Morgan R.P.C.*: Soil erosion and conservation. Longman Scientific and Technical, New York 1991
- [7] *Jewgieniew I.E., Sawin W.W.*: Zaszczita prirodnoj sredy pri stroitelstwie i soderżani awtomobilnych dorog. Wyd. Transport, Moskwa 1989
- [8] *Toepfer A.C.*: Herstellung von Gelandeeinschnitten und Böschungen. Ernst & Sohn Wydanie V cz.2, Berlin 1996
- [9] *Ziaja W.*: Dobór traw i roślin do obsiewów pasa drogowego. Drogownictwo nr 1/1993
- [10] *Dzierżawski K, Głażewski M, Makowski J.*: Ingenieurbiologische Bepflanzung der Böschungen - Dynamische Hydrosaat mit Anwendung der Abwasserablagerungen. Prace Instytutu Badawczego Dróg i Mostów, nr 1/90
- [11] Wytyczne projektowania dróg I i II klasy technicznej. GDDP. Opr. Transprojekt-Kraków, 1995
- [12] *Begemann W, Schiechl H.M.*: Ingenieur Biologie. Handbuch zum Okologischen Wasser der Erdbau. Bauverlag GmbH, Wies und Berlin 1999
- [13] *Głażewski M.*: Badania procesów erozji wodnej skarp budowli ziemnych. Drogi i Mosty, nr 2/2005

- [14] *Głażewski M.*: Wznoszenie, formowanie, zagęszczenie, plantowanie przypór budowli ziemnych oraz naddatków skarp. Seminarium „Inżynieria wznoszenia budowli ziemnych oraz zabezpieczenia techniczno-biologiczne skarp”. Energopomiar, Gliwice 2003
- [15] *Głażewski M., Kalotka J.*: Hydrodynamic seeding with the use of sewage sludge and fly-ash for slope protection. International symposium „Slope Stability Engineering”, IS-Shikoku/Japan. A.A. Balkema, Rotterdam/Bookfield, 1999

CONSTRUCTION AND STRENGTHENING OF ROAD SLOPES

Abstract

Construction of roads by passes and express roads drastically impacts natural environment. All of road earth constructions, especially road slopes, are exposed to the process of surface erosion during construction and then operation. Elimination of erosion effects takes up about 20% of earth work total cost. That is why the effective protection of slope surface against negative impact of denudation factors is very important.

In the paper the methods of slope reinforcement in earth constructions, especially applying natural methods, are presented. Together with road earthworks, technical and biological reinforcement of shoulders must be made, and vegetation of grass on the slopes should be developed up to three-leaf stage. Also pratotechnic works (seedind, fertilization, mowing) should be done regularly.

