

dr inż. Leon Maro  
członek Komitetu Nauki PZITB  
Łódź \*)

## Przeciwoerozyjne zabezpieczanie skarp geosyntetykami

### 1. Wstęp

Ubiegłoroczne długotrwałe i obfite deszcze, które nawiedziły Polskę, pokazały jak istotnym zagadnieniem jest prawidłowe antyerozyjne zabezpieczenie skarp różnego rodzaju konstrukcji ziemnych, jak np. skarp autostrad, wałów przeciwpowodziowych czy też składowisk odpadów.

Omówieniu tego czynnika poświęcony jest niniejszy referat, bowiem praktyka pokazuje, że lekceważenie lub niewłaściwe rozwiązanie tego zagadnienia prowadzi w wielu przypadkach do poważnych awarii (zerwania dużych partii lub całości zabezpieczenia i destrukcji skarpy).

A oto dwa przykłady:

- a) skarpa zabezpieczona przeciwoerozyjnie geosiatką płaską, związaną z korpusem skarpy długimi gwoździami.

Rozwiązanie to od szeregu lat bardzo dobrze zdaje egzamin.



---

\*) 91-341 Łódź, ul. Brukowa 139. tel. (42) 659 12 24; kom. 601-423-288; e-mail: [leon@maro.net.pl](mailto:leon@maro.net.pl)

Ten sam system zastosowany w innej lokalizacji do przeciwoerozyjnego zabezpieczenia skarpy. Stan po tegorocznych długotrwałych opadach:



Projektant popełnił błąd nie uwzględniając w doborze zabezpieczenia rodzaju gruntu w korpusie skarpy, zbudowanym z iłów pylastych, które zostały wypłukane ze skarpy i zaległy obok.

b) skarpa zabezpieczona przeciwoerozyjnie geokrata, związaną z korpusem skarpy szpilkami stalowymi.



Ten sam system powierzchniowego zabezpieczenia po zsunięciu się ze skarpy



Projektant popełnił błąd przyjmując parametry szpilek kotwiących zwyczajowo „na wycucie” zamiast przeprowadzić stosowne obliczenia.

## **2. Opis metody zabezpieczania skarp geokrąą**

Wśród wielu metod powierzchniowego zabezpieczania przeciwoerozyjnego skarp wyróżnia się bardzo skuteczne nawet w trudnych warunkach gruntowych i stromych skarpach zabezpieczanie geokrąą teksturowaną i perforowaną, o wysokości  $H_k = 75 \div 150$  mm w zależności od kąta nachylenia skarpy.



Przed ułożeniem geokrąy należy wyrównać i w razie potrzeby dobrze zagęścić powierzchnię skarpy (np. zagęszczarką płytową wibracyjną) zgodnie z wymaganiami PN-S-02205 [1] do uzyskania wskaźnika zagęszczenia  $I_s \geq 0,97$ .

W przypadku podłoża spoistego zaleca się również przed montażem geokraty ułożyć warstwę geotekstylii (geotkaniny lub geowłókniny) współpracujących z geokratą i spełniających rolę filtracyjno – separacyjną.

Komórki geokraty należy zakotwić w podłożu na całej powierzchni skarpy stalowymi szpilkami typu „U” i „J” ze stali „St0” o średnicy i długości oraz w odstępach wynikających z obliczeń. Dla zminimalizowania koncentracji naprężeń w geokracie należy w kolejnych rzędach poziomych szpilki rozmieszczać w układzie „mijkowym” (przesunięte w stosunku do szpilek w sąsiednich rzędach poziomych).

Po rozłożeniu i prowizorycznym umocowaniu sekcji geokraty (kołkami drewnianymi lub prętami stalowymi) należy sąsiednie sekcje połączyć paskami plastikowymi zaciskowymi (co druga komórka w połączeniach pionowych i każda komórka w połączeniach poziomych) i połączenie sekcji zakotwić w podłożu (korpusie skarpy) szpilkami co 2 komórki. Wzdłuż skrajnych krawędzi konstrukcji zabezpieczającej należy zakotwić wszystkie komórki.

Geokrata, a także leżąca pod nią geotkanina lub geowłóknina, winna być wywinięta na koronę wału wzdłuż górnej krawędzi skarpy na długość  $\geq 1/5$  długości skarpy, lecz nie mniej niż 1,50 m. Wzdłuż górnej krawędzi skarpy dwa skrajne rzędy geokraty, wywinięte na koronę wału, winny być zakotwione w podłożu w każdej komórce szpilkami typu „U” ze stali St0 o parametrach takich samych jak na powierzchni skarpy i dociśnięte konstrukcją drogi. Niekiedy stosuje się zakotwienie geosyntetyków przez zagłębienie ich w rowie kotwiącym o szerokości  $b \geq 0,40$  m i wysokości  $h \geq 0,60$  m, wykopanym w koronie nasypu w odległości  $L \geq 0,75$  m od krawędzi skarpy, który następnie zasypuje się zagęszczonym gruntem. Jest to rozwiązanie stosowane w przypadku, gdy na koronie nasypu nie ma konstrukcji dociskowej drogi.

Po ułożeniu i zakotwieniu geokraty wypełnia się jej sekcje materiałem ziemnym w następujący sposób:

Na rozłożone sekcje geokraty należy wysypać i równomiernie rozłożyć ziemię roślinną warstwą o grubości przewyższającej o  $3 \div 5$  cm wysokość sekcji geokraty, a następnie zagęścić do uzyskania wskaźnika zagęszczenia wg. Proctora  $I_s \geq 0,95$ . Do zagęszczania materiału wypełniającego zaleca się stosować zagęszczarki płytowe wibracyjne.

Na wypełnione sekcje geokraty należy posiać trawę, przysypać ją z drabiny warstwą ziemi urodzajnej o miąższości od 1 do 2 cm, uwałować i zraszać wodą w częstotliwości odpowiadającej potrzebom przez ok. 30 dni. Zraszanie należy wykonywać deszczownicami lub zraszaczami ogrodniczymi. Niedopuszczalne jest polewanie z węża bez urządzeń rozpryskujących wodę.

Zabezpieczenie przeciwoerozyjne skarp zaleca się wykonywać w okresie sprzyjającym wzrostowi i wegetacji roślin tj. od 1 kwietnia do 15 października, w miarę możliwości niezwłocznie po ukształtowaniu i dogęszczeniu powierzchni skarp.

Jak wspomniano wyżej, komórki geokraty należy zakotwić w podłożu na całej powierzchni skarpy stalowymi szpilkami typu „U” i „J” ze stali „St0” o średnicy i długości oraz w odstępach wynikających z obliczeń. Do powierzchniowego zabezpieczenia skarpy stosuje się najczęściej geokratę o małych komórkach (210 x 260 mm) i wysokości  $H_k = 75, 100$  lub  $150$  mm, mocowaną do podłoża (skarpy) szpilkami stalowymi o średnicy  $\varnothing = 8 \div 18$  mm i minimalnej długości  $L = 600$  mm. W przypadku łagodniejszych skarp stosuje się również geokratę o komórkach średnich (250 x 350 mm) lub niekiedy dużych (410 x 520 mm).

### 3. Algorytm obliczania zabezpieczania skarp geokratą

O stabilności konstrukcji zabezpieczającej, przymocowanej do podłoża szpilkami, decyduje kilka czynników, a w szczególności rodzaj i stan gruntu w korpusie skarpy i związany z tym moduł podatności podłoża przy obciążeniach poziomych, kąt pochylenia skarpy oraz parametry szpilek kotwiących (głębokość zakotwienia, średnica i rozstaw szpilek kotwiących). Właściwe dobranie tych czynników wiąże się z koniecznością wykonania dość żmudnych obliczeń.

W celu ułatwienia projektantom wykonywania tych obliczeń opracowano program komputerowy, dołączony do poradnika projektanta i wykonawcy pt. „Geosyntetyki do powierzchniowego wzmocnienia gruntu” [2], pozwalający szybko, a jednocześnie optymalnie dobrać dla konkretnego przypadku najwłaściwsze parametry szpilek kotwiących konstrukcję zabezpieczającą skarpe.

Algorytm programu opiera się na porównaniu obliczonej wartości momentu utrzymującego szpilki  $M_u$  z wartością momentu wywracającego  $M_w$ , przy czym:

- obliczeniowa wartość momentu utrzymującego szpilki (na  $1 \text{ m}^2$  skarpy)

$$M_u = C_t \times \varnothing \times t^3 \times n_s / 36 \quad [\text{kNm}]$$

- obliczeniowa wartość momentu wywracającego szpilki (na  $1 \text{ m}^2$  skarpy)

$$M_w = H_s \times [(h_g + n_z) / (2 + 2 \times t / 3) \times \gamma] \quad [\text{kNm}]$$

gdzie:

$C_t$  – normowy moduł podatności podłoża dla głębokości zakotwienia  $t$   $[\text{kN/m}^3]$

$\varnothing$  – założona średnica szpilki  $[\text{m}]$

$t$  – głębokość zakotwienia szpilki  $[\text{m}]$

$n_s$  – liczba szpilek na  $1 \text{ m}^2$  skarpy

$H_s$  – siła do przeniesienia przez szpilki  $[\text{kN/m}^2]$

$h_g$  – wysokość geokraty  $[\text{m}]$

$n_z$  – naddatek ziemi przykrywającej obsiew lub hydroobsiew  $[\text{m}]$

$\gamma$  – współczynnik przeciążenia.

Dla utrzymania układu w równowadze musi być zachowany warunek:

$$M_u \geq M_w$$

Stąd, po podstawieniu, znajdujemy konieczną liczbę szpilek na 1 m<sup>2</sup> skarpy w zależności od rodzaju i stanu gruntu w skarpie, kąta pochylenia skarpy, wysokości geokraty, średnicy szpilek i głębokości ich zakotwienia – z wzoru

$$n_s = 36 \times M_w / (C_t \times \sigma \times t^3) \quad [\text{szt}]$$

Na tej podstawie ustalamy rozstaw szpilek w funkcji wielokrotności wymiarów poziomych komórek geokraty (rozstawu zgrzewów taśm geokraty).

#### **4. Przykłady praktycznego zastosowania metody**

Prawidłowość opisanej metody potwierdziły zaprojektowane wg. niej i wykonane zabezpieczenia szeregu skarp w Polsce, m.in. skarpy nad Wisłą (w rejonie Amfiteatru) w Płocku, skarp składowiska odpadów komunalnych dla Poznania w Suchym Lesie, skarpy autostrady A1 w rejonie Czerniewic, skarp zbiornika wyrównawczego w C.H. „Auchan” w Szczecinie oraz skarpy w Parku Logistycznym PROLOGIS w Rawie Mazowieckiej, przy czym w większości przypadków stosowano geokratę TABOSS.

Najbardziej spektakularnym przykładem praktycznego zastosowania przedstawionej metody powierzchniowego zabezpieczenia skarpy jest zrealizowany w Słowacji przy zastosowaniu geokraty TABOSS projekt osłony przeciwerozyjnej hałdy toksycznych odpadów poprodukcyjnych obok huty aluminium w Ziar nad Hronom, o powierzchni ok. 5 ha i wysokości stu kilkudziesięciu metrów, o bardzo zróżnicowanych i nieregularnych skarpacech.

Korpus hałdy jest zbudowany z nasypowych gruntów słabonośnych o zróżnicowanej strukturze (odpadów poprodukcyjnych huty aluminium z domieszką mułów, ilów piaszczystych, piasków ilastych i pyłów próchnicznych).

Poziom wody gruntowej w hałdzie, zróżnicowany w zależności od nasilenia opadów, nie ma istotnego wpływu na projektowane powierzchniowe zabezpieczenie skarpy.

Z uwagi na warunki gruntowo-wodne oraz rodzaj materiału, z którego jest wykonany nasyp składowiska, przyjęto przed ułożeniem geokraty rozścielenie na powierzchni skarpy warstwy bentomatu zabezpieczającego hałdę przed przenikaniem wód opadowych, mogących wypłukiwać z hałdy związki toksyczne i przenosić je do otoczenia. Pasma bentomatu przyjęto rozścielić w układzie pionowym, łączone na zakład min. 30 cm i uszczelnione na złączach masą bentonitową.

Pochylenie skarpy jest zróżnicowane, dlatego obliczenia wykonano dla sześciu wariantów kąta pochylenia  $\alpha = 20, 25, 30, 35, 40$  i  $45^\circ$ .

Przyjęto pionowy układ sekcji geokraty na skarpie pasmami o szerokości 2,60 m oraz wysokości 6,20 m oraz wywinięcie i zakotwienie geokraty w koronie nasypu na szerokości nie mniejszej niż 3,00 m.

Zaprojektowano zakotwienie komórek geokraty w podłożu stalowymi szpilkami typu „U” (ze względów technologicznych oraz z uwagi na bardzo

zróżnicowany stan hałdy) ze stali gładkiej „St0” o  $f_d = 190$  MPa, zabezpieczonymi antykorozyjnie (przez ocynkowanie), o długości min. 1150 mm, średnicy  $\varnothing = 16$  mm oraz rozstawie wynikającym z obliczeń w zależności od kąta pochylenia skarpy.

Biorąc pod uwagę nachylenie skarpy, przyjęto perforowaną i teksturowaną geokratę TABOSS o wysokości 150 mm i wymiarach komórek  $B_k = 260$  mm i  $H_k = 200$  mm, o wymiarach sekcji po rozłożeniu wynoszących  $B_s = 2,60$  m i  $H_s = 6,20$  m, której komórki będą wypełnione kruszywem oraz pokryte hydroobsiwem wg. projektu rekultywacji skarpy składowiska odpadów.

Z uwagi na nieregularny kształt składowiska zaprojektowano mocowanie konstrukcji zabezpieczającej równomiernie na całej powierzchni skarpy.

W celu zminimalizowania koncentracji naprężeń w geokracie przyjęto rozmieszczenie szpilek w kolejnych rzędach poziomych w układzie „mijankowym” (przesunięte o  $2,5 \times B_k = 65$  cm w stosunku do szpilek w sąsiednich rzędach poziomych).

Na podstawie obliczeń przeprowadzonych dla pochylenia skarpy od  $20^\circ$  do  $45^\circ$  przyjęto rozstaw szpilek:

- w pionie od 0,90 m do 1,70 m
- w poziomie co 1,30 m

Wzdłuż górnej krawędzi skarpy w dwóch skrajnych rzędach geokraty, wywiniętych na koronę, przyjęto zakotwienie w podłożu w odstępach 0,78 m (co trzy komórki) szpilkami typu „U” w układzie mijankowym.

Sekcje geokraty przyjęto układać przy pomocy szablonów (ram montażowych) gwarantujących dokładne rozciągnięcie sekcji, łącząc sąsiednie sekcje podwójnymi paskami plastikowymi zaciskowymi o wytrzymałości na zrywanie  $\geq 1,14$  kN (w każdej komórce w połączeniach pionowych i poziomych) i kotwiąc połączenie sekcji w podłożu (korpusie skarpy) w połączeniach poziomych szpilkami typu „U” co 3 komórki oraz w połączeniach pionowych co  $4 \div 5$  komórek.

Dla zapewnienia pełnej szczelności izolacji z maty bentomatowej przyjęto, że przed zasypaniem geokraty będzie wykonany wokół każdej szpilki stożek ze szpachli bentonitowej 1 : 3 (1 część granulowanego bentonitu na 3 części wody) o wysokości około 5 cm i średnicy podstawy około  $10 \div 15$  cm. Na koniec przewidziano wypełnienie geokraty, poczynając od korony skarpy kruszywem i ziemią roślinną, a następnie pokrycie hydroobsiwem wg. instrukcji producenta.

## Literatura

- [1] PN-S-02205. Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania.
- [2] Maro L. Geosyntetyki do powierzchniowego wzmocnienia gruntu. Poradnik projektanta i wykonawcy. Wyd. LEMAR. Łódź 2010.