

## **Stateczność zabezpieczeń przeciwoerozyjnych wykonywanych w systemie GeoQiube na skarpach budowli ziemnych uszczelnianych geomembraną**

**Dr inż. Andrzej Batog – Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego  
Dr inż. Maciej Hawrysz – Pracownia Badań Geotechnicznych GHEKO, Wrocław**

Skarpy budowli ziemnych wymagają w licznych przypadkach wykonania uszczelnienia za pomocą geomembran. Dotyczy to przede wszystkim składowisk odpadów niebezpiecznych, a niekiedy również osadników, zbiorników wodnych oraz wałów przeciwpowodziowych. We wszystkich przypadkach geomembrana powinna być ubezpieczona warstwą ochronną lub osłonową z gruntu. W takim rozwiązaniu występuje zagrożenie osuwem powierzchniowym warstwy okrywowej po powierzchni geomembrany. W celu ograniczenia możliwości

wystąpienia tego rodzaju zagrożenia można łagodzić nachylenie skarp lub stosować geomembrany uszorstkowane o zwiększonym współczynniku tarcia z gruntem. Oba te rozwiązania nie zawsze pozwalają uzyskać wymagany zapas stateczności. W 2012 roku opracowano innowacyjny sposób ochrony przeciwoerozyjnej skarp GeoQiube, który według założeń producenta pozwala zapewnić stateczność warstwy okrywowej ułożonej na skarpie o znacznym nachyleniu uszczelnionej geomembraną. W proponowanym rozwiązaniu stosuje się tzw. geomembraną

szykanowaną, która ma poprzecznie dospawane wstęgi z otworami. Szykany te umożliwiają mocowanie (wiązanie) geosiatki komórkowej układanej na powierzchni geomembrany. Takie rozwiązanie pozwala uniknąć znacznego łagodzenia nachylenia uszczelnianych skarp w celu zapewnienia wymaganego zapasu stateczności.

W artykule przedstawiono uwagi autorów dotyczące stateczności proponowanego rozwiązania, w szczególności odnoszące się do nieuwzględnionego przez producenta ograniczenia wysokości (długości) skarpy, która jest ubezpieczana za pomocą tego systemu. Przedstawiono wyniki analiz stateczności wskazujące na możliwość wystąpienia osuwiska lub uszkodzeń zabezpieczenia przy zbyt wysokich (długich) skarpach. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń wskazano możliwość modyfikacji sposobu projektowania tej interesującej metody uszczelnienia i zarazem biologicznego ubezpieczenia przeciwerozyjnego skarp.

### CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU OCHRONY PRZECIWEROZYJNEJ SKARP GEOQIUBE

System GeoQiube to nowy i innowacyjny sposób zabezpieczenia stateczności warstw rekultywacyjnych układanych na geomembranach. Opracowało go w 2012 roku dwóch polskich producentów geosyntetyków Taboss i OBR Płock. Dotychczas w pracach rekultywacyjnych prowadzonych na skarpach znaczący problem stanowiło zapewnienie stateczności warstw gruntów układanych na geomembranie. W takim przypadku jako zabezpieczenie przed osuwem powierzchniowym nie można stosować sprawdzonych rozwiązań w postaci mat przeciwerozyjnych lub geokraty, ponieważ kotwienie ich szpilkami stalowymi do podłoża powoduje przebicie geomembrany i utratę wymaganej szczelności pokrycia powierzchni skarp. Na skarpach o ograniczonej długości i łagodnym nachyleniu jako rozwiązanie alternatywne, chociaż obciążone wadami, można wykonać połączenie geokraty klipsami do odciągów linowych zamocowanych do betonowych bloków kotwiących umiejscowionych na koronie skarpy i ułożyć na powierzchni geomembrany.



Rys. 1. Sposób mocowania geokraty do geomembrany za pośrednictwem dospawanej szykany w systemie GeoQiube

Systemem GeoQiube rozwiązuje się problem połączenia geokraty z geomembraną bez naruszenia szczelności obiektu. Rozwiązanie polega na zastosowaniu geomembrany szykanowanej. Szykany to wstęgi z geosyntetyku dospawane do powierzchni geomembrany, o wymiarach i w odstępach dopasowanych do wielkości komórek geokraty. Wstęgi o długości 0,50 m są zaopatrzone w otwory do mocowania geokraty sześciokątnej, co ogranicza efekt punktowej koncentracji naprężenia w komórkach (rys. 1). Według twórców tego rozwiązania można uzyskać konstrukcję, która równoważy siły utrzymujące i zsuwające bez naruszania szczelności powierzchni.

### PRZYKŁAD ZABEZPIECZENIA SKARPY SKŁADOWISKA

Omawiane rozwiązanie dotyczy rekultywowanej hałdy odpadów przemysłowych stanowiącej składowisko siarczanu żelaza. Bryła składowiska jest uformowana z dwóch skarp o nachyleniu około 1 : 2 (kąt  $\beta = 28^\circ$ ) rozdzielonych półką pośrednią o szerokości 16 m.

Początkowo założono, że rekultywacja składowiska będzie wymagać pokrycia wierzchowiny i skarp hałdy geomembraną uszorstkowaną HDPE bez jej zakotwienia do korpusu hałdy. Jako warstwę ochronną na geomembranie oraz jako podłoże do rekultywacji biologicznej przewidziano ułożenie warstwy gruntu wzbogaconego glebą urodzajną o miąższości 0,30 m na koronie i 0,25 m na skarpach. Do utrzymania warstwy ochronnej na skarpach przewidziano zastosowanie geokraty GEOWEB wysokości 340 mm mocowanej linkami kewlarowo-winyłowymi zakotwionymi w blokach betonowych ułożonych w pobliżu krawędzi skarp.

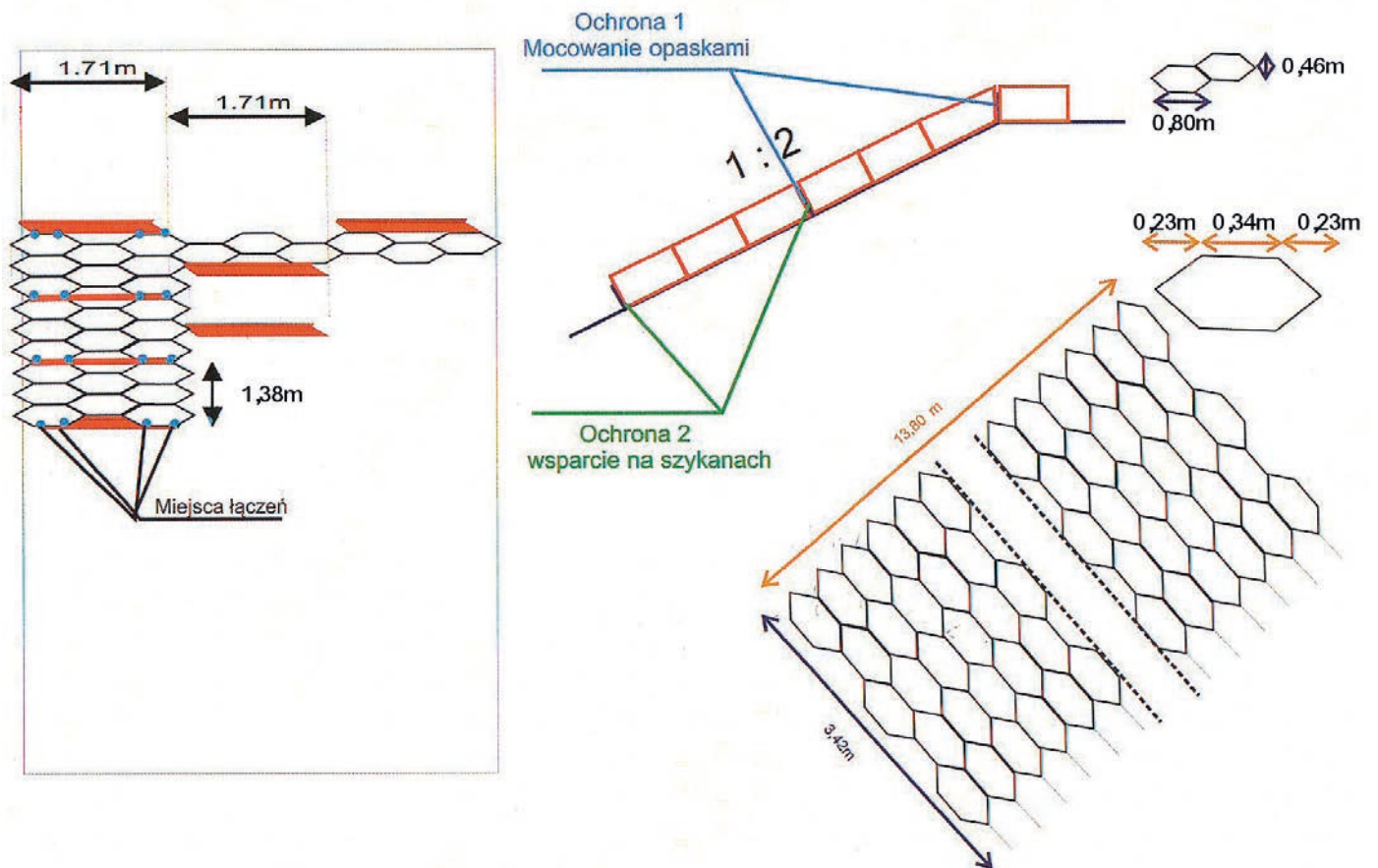
Biorąc pod uwagę wady takiego rozwiązania, przyjęto do realizacji zamiennie rozwiązanie projektowe ochrony przeciwerozyjnej warstw mineralnych na powierzchni składowiska w postaci systemu GeoQube. System ten miał zapewnić szczelne pokrycie hałdy, rozwiązując jednocześnie problem połączenia geokraty z geomembraną za pośrednictwem opasek z tworzywa sztucznego, mocowanych do przyspawanych do geomembrany szykan. Sposób rozmieszczenia szykan oraz ich połączeń z geokratą pokazano na rys. 2.

### OBLICZENIA WERYFIKACYJNE STATECZNOŚCI SKARP UBEZPIECZONYCH SYSTEMEM GEOQIUBE

Po wykonaniu ubezpieczenia skarp doszło do awarii w postaci zsuwu powierzchniowego na górnej skarpie osuwiska (rys. 3). Ścięciu uległy połączenia szykan z geokratą wypełnioną gruntem. Poniżej przedstawiono obliczenia weryfikacyjne stateczności tego rozwiązania, które wskazują na nieuwzględnienie przez autorów systemu występującego ograniczenia w wysokości (długości) skarpy, która jest ubezpieczana, oraz przyjęcia niewłaściwych parametrów tarcia gruntu o geomembraną.

Do analiz weryfikacyjnych pobrano próbki gruntów użytych do formowania ubezpieczenia i przeprowadzono szereg badań laboratoryjnych. Wyznaczono wartości parametrów fizycznych gruntu zasypowego, oznaczono go jako mieszaninę różnych materiałów gruntowych z przewagą piasków i żwirów z niewielkim

## GeoQiube 340mm



Rys. 2. Schemat rozmieszczenia szykan oraz ich połączeń z geokrąta



Rys. 3. Osuwisko powierzchniowe na skarpie ubezpieczonej systemem GeoQiube

dotądkiem  $2 \div 3\%$  substancji organicznych. Materiał zasypowy charakteryzował się dobrą zagęszczalnością i małą wysadzino-wością. Dla tego materiału wyznaczono wartości parametrów wytrzymałości na ścinanie w aparacie bezpośredniego ścinania, ponadto wyznaczono jego kąt tarcia o geomembranę w wersji gładkiej  $\delta_1$  oraz szorstkiej (fakturowanej)  $\delta_2$ . Wartości kątów tarcia wewnętrznego określono w próbkach o wilgotności naturalnej oraz w stanie mokrym.

W obliczeniach statycznych przeprowadzanych zgodnie z opracowaniem [1] przyjęto sytuację obliczeniową odnoszącą się do utraty stateczności warstwy gruntu zasypowego umieszczonego w komórkach geokratty nieprzytwierdzonej do szykan na geomembranie. Przyjęty schemat obliczeniowy odnosi się do typowej analizy stateczności skarpy o nieograniczonej wysokości uformowanej z gruntu niespoistego bez uwzględnienia sił hydrodynamicznych związanych z przepływem wody przez warstwę zasypową [2]. Obliczeniami objęto dwa przypadki:

- przypadek 1 – poślizg warstwy rekultywacyjnej po geomembranie gładkiej,
- przypadek 2 – poślizg warstwy rekultywacyjnej po geomembranie szorstkiej.

Przeanalizowano warunki równowagi systemu na poślizg. Obliczenia wartości sił wykonano do pojedynczego elementu powtarzalnego (rys. 2) o wymiarach  $1,71 \text{ m} \times 1,38 \text{ m}$  i polu powierzchni  $A = 2,4 \text{ m}^2$ .

Wartość niezrównoważonej siły zsuwającej  $Z$  wyznaczono z wzoru:

$$Z = B^* - T \quad (1)$$

gdzie :

$B^*$  – składowa styczna ciężaru materaca (grunt zasypowy w geokracie) na powierzchni geomembrany z uwzględnieniem współczynnika bezpieczeństwa  $F = 1,5$ ;

$$B^* = F \cdot (A \cdot h \cdot \gamma \cdot \sin \beta) = 1,5 \cdot (2,4 \cdot 0,2 \cdot 21 \cdot \sin 28^\circ) = 7,1 \text{ kN},$$

$T$  – siła oporu wynikająca z tarcia gruntu zasypowego o powierzchnię geomembrany;

- przypadek 1 – poślizg warstwy rekultywacyjnej po geomembranie gładkiej:

$$T_1 = A \cdot h \cdot \gamma \cdot \cos \beta \cdot \text{tg } \delta_1 = 2,4 \cdot 0,2 \cdot 21 \cdot \cos 28^\circ \cdot \text{tg } 17^\circ = 2,7 \text{ kN},$$

- przypadek 2 – poślizg warstwy rekultywacyjnej po geomembranie szorstkiej:

$$T_2 = A \cdot h \cdot \gamma \cdot \cos \beta \cdot \text{tg } \delta_2 = 2,4 \cdot 0,2 \cdot 21 \cdot \cos 28^\circ \cdot \text{tg } 30^\circ = 5,1 \text{ kN}.$$

Zatem wartość niezrównoważonej siły zsuwającej  $Z$  jednego powtarzalnego elementu systemu Tqp-340 GeoQiube wyniesie:

- przypadek 1 – poślizg warstwy rekultywacyjnej po geomembranie gładkiej:

$$Z_1 = B^* - T_1 = 7,1 - 2,7 = 4,4 \text{ kN},$$

stąd minimalna liczba opasek o wytrzymałości obliczeniowej  $R_f = 0,65 \text{ kN}$  mocujących ten element do geomembrany  $n_{1\min}$  powinna wynieść:  $n_{1\min} = Z_1 / R_f = 4,4 / 0,65 = 7$ , co odpowiada zastosowaniu co najmniej trzech opasek na  $1 \text{ m}^2$  zainstalowanego modułu ubezpieczenia;

- przypadek 2 – poślizg warstwy rekultywacyjnej po geomembranie szorstkiej

$$Z_2 = B^* - T_2 = 7,1 - 5,1 = 2,0 \text{ kN},$$

stąd minimalna liczba opasek mocujących rozważany element do geomembrany  $n_{2\min}$  powinna wynieść:  $n_{2\min} = Z_2 / R_f = 2,0 / 0,65 = 1,3$ , co odpowiada zastosowaniu co najmniej dwóch opasek na  $1 \text{ m}^2$  zainstalowanego modułu ubezpieczenia.

## WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń weryfikujących stwierdzono, że wykonane ubezpieczenie miało zmniejszoną liczbę szykan i opasek mocujących w porównaniu do liczby wymaganej, co wpłynęło na brak stabilności systemu. Stwierdzono także wystąpienie szeregu odstępstw od projektu, np. do realizacji zabezpieczenia zastosowano mniej korzystną geomembranę gładką w miejsce uszorstkowanej, wytrzymałość opasek była mniejsza od wymaganej.

Zwraca również uwagę podejście obliczeniowe przyjęte przez producenta systemu GeoQiube, w którym nie uwzględnia się właściwości reologicznych systemu, mimo że materiały, z jakich składa się on (geomembrana, geokratta, opaski), takimi cechami charakteryzują się i podlegają pełzaniu. Jest niezbędne zatem uwzględnienie w projektowaniu systemu właściwych kryteriów zniszczenia elementów mocujących związanych z dopuszczalnymi odkształceniami, które według danych literaturowych wynoszą około 30% w momencie zniszczenia.

Nie bez znaczenia jest również fakt projektowania systemu GeoQiube wytworzonego z materiałów geosyntetycznych bez uwzględnienia zasad podawanych w polskich zaleceniach wydanych przez Instytut Techniki Budowlanej [3] i Instytut Badawczy Dróg i Mostów [4], a także normach europejskich [5] i zaleceniach niemieckich [6]. W szczególności należy zwrócić uwagę na normę brytyjską BS [5], w której długoterminową wytrzymałość geosyntetyku ustala się między innymi w stanie granicznym użytkowania – odkształcenia materiału, na podstawie jego wytrzymałości na pełzanie.

## LITERATURA

1. Jermolowicz P.: Zasady projektowania warstw uszczelniających z zastosowaniem geomembran w obiektach typu składowiska, wylewiska, zbiorniki. Warunki techniczne wykonania i odbioru oraz podstawowe obliczenia statyczne, Toruń 2013.
2. Wiłun Z.: Zarys geotechniki. Wyd. KiŁ, Warszawa 1998.
3. Wysokiński L., Kotlicki W.: Projektowanie konstrukcji oporowych, stromych skarp i nasypów z gruntu zbrojonego. Seria Instrukcje, Wytyczne, Poradniki ITB nr 429/2007.
4. IBIDiM. Wytyczne wzmocnienia podłoża gruntowego w budownictwie drogowym. Warszawa 2002.
5. BS 8006 British Standard. Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills. BSI 2010.
6. EBGeo – Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik, 2010.