

Wykorzystanie systemów geokomórkowych w zabezpieczeniach osuwisk cz. I

Utworzono: środa, 25, sierpień 2010 07:41 Bożena Trzpis, Adam Kessler



Zabezpieczanie osuwisk w budownictwie drogowym wiąże się z koniecznością rozwiązania szeregu problemów technicznych i geologicznych obejmujących stabilizację i wzmocnienie gruntów, systemy drenaży i uporządkowanie gospodarki wodnej oraz naprawę uszkodzonych odcinków infrastruktury komunikacyjnej, a także często ich modernizację. Do każdego z tych obszarów należy dobrać odpowiednie rozwiązania konstrukcyjne i środki techniczne. Zabezpieczenie osuwiska stanowi kompleksową budowlę geotechniczną, gdzie coraz szersze zastosowanie znajdują nie tylko techniki wiertnicze i tradycyjne materiały budowlane, ale również technologie oparte na geosyntetykach.

W latach 2004-2008 w ramach realizacji Programu Ośłony Przeciwośuwiskowej powstała możliwość praktycznego zastosowania i sprawdzenia szeregu technicznych rozwiązań i konstrukcji przy zabezpieczaniu osuwisk w różnych warunkach geologicznych, topograficznych i morfologicznych. Wymienione czynniki w połączeniu z ograniczeniami wynikającymi z istniejącej infrastruktury technicznej oraz uwarunkowaniami przestrzennymi wynikającymi z własności gruntów, miały wpływ na opracowanie takich konstrukcji i technologii, które łączyły w sobie pewność zabezpieczenia z jak najmniejszą ingerencją terytorialną.

Osuwisko, czyli ruch mas gruntowych na zboczu czy skarpie jest jednym z procesów geologicznych. Utrata stateczności gruntu budującego skarpe czy zbocze wynika z przekroczenia wytrzymałości gruntu na ścinanie wzdłuż tzw. powierzchni poślizgu. Proces ten wywołany jest przez siły grawitacji pochodzące od ciężaru gruntu i obciążeń zewnętrznych oraz przez siły hydrodynamiczne spowodowane przez przepływ wody. W przypadku szlaków komunikacyjnych, budowa drogi zakłócająca naturalną morfologię terenu często przez zbytne podcięcie zbocza, zbytne pochylenie skarpy, zbyt słabe zagęszczenie nasypu czy niewłaściwe odwodnienie,

Wykorzystanie systemów geokomórkowych w zabezpieczeniach osuwisk cz. I

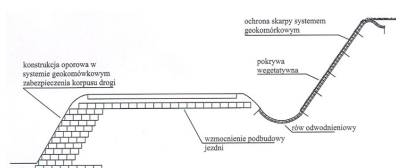
Utworzono: środa, 25, sierpień 2010 07:41 Bożena Trzpis, Adam Kessler

podwyższa znacznie zagrożenie osuwiskowe. W wielu obszarach dodatkowo mamy do czynienia ze sprzyjającymi powstaniu osuwiska niekorzystnymi warunkami geologicznymi.

Charakter form osuwiskowych może być różny, począwszy od stosunkowo płytkiego spłyzywania mas gruntowych, spływów, obrywów do osuwisk właściwych z przemieszczeniem mas gruntowych wzdłuż płycej lub głębiej położonej powierzchni poślizgu. Technologie przyjęte do zabezpieczenia osuwiska powinny łączyć w sobie stabilizację gruntów, odwodnienie powierzchniowe i wgłębne z równoczesną odbudową i ukształtowaniem geometrii skarp z odpowiednim umocnieniem konstrukcyjnym. Wymagania środowiskowe warunkują ponadto, aby zabezpieczenie osuwiska było w harmonii z otaczającym krajobrazem i spełniało normy ochrony środowiska naturalnego. Przedstawione w artykule zagadnienia i podane zalecenia wynikają z praktyki w projektowaniu i realizacji zabezpieczeń kilkunastu osuwisk karpackich, gdzie zastosowano technologię stabilizacji i wzmocnienia gruntów opartą m.in. o geosyntetyczne systemy komórkowe.

Zabezpieczenie osuwiska jako budowla geotechniczna

Zabezpieczenie osuwiska stanowi kompleksową budowlę geotechniczną, naprawiającą skutki oraz eliminującą przyczyny mające wpływ na powstania osuwiska. Taka budowla geotechniczna obejmuje konstrukcje odwadniające, różnego typu przypory, iniekcje, gwoździowanie, palowanie i mikropalowanie, kotwienie, konstrukcje oporowe i zabezpieczenia przeciwerozyjne. Szerokie zastosowanie w konstrukcjach geotechnicznych przy zabezpieczaniu osuwisk znalazły materiały geosyntetyczne w postaci geotekstyliów, geomembran i wyrobów pokrewnych. Jedną z nowoczesnych technologii geosyntetycznych zastosowaną w zabezpieczaniu osuwisk jest Komórkowy System Ograniczający - system geokomórkowy (obie nazwy są prawidłowe), oparty na materiale geosyntetycznym o komórkowej strukturze.



W skład tego najbardziej technicznie zaawansowanego, kompleksowego systemu geosyntetycznego wchodzi geosiatki komórkowe o różnej wysokości i wymiarach, wypełnienia konstrukcyjne (gleba, piaski, kruszywa, beton), elementy łączące, systemy kotwienia oraz różnego typu geosyntetyki płaskie i geostekstyli. Systemy geokomórkowe zostały zastosowane z powodzeniem na kilkunastu osuwiskach na obszarze Małopolski, Podkarpacia i Śląska przy rozwiązywaniu problemów konstrukcyjnych w trudnych warunkach gruntowo-wodnych przy odbudowie korpusów drogowych, drenażach, ścianach oporowych i zabezpieczeniach stromo nachylonych skarp i zboczy. Na rys. 1 przedstawiono podstawowe zastosowania komórkowego systemu ograniczającego przy zabezpieczeniach konstrukcyjnych

Wykorzystanie systemów geokomórkowych w zabezpieczeniach osuwisk cz. I

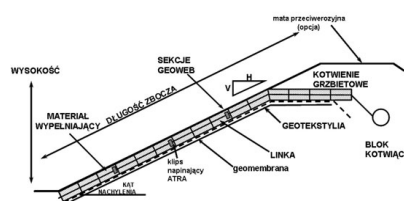
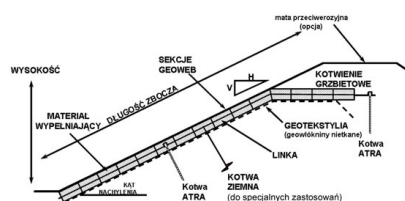
Utworzono: środa, 25, sierpień 2010 07:41 Bożena Trzpis, Adam Kessler

osuwisk w budownictwie komunikacyjnym

Podstawowe zastosowania i zasady projektowania systemów geokomórkowych w zabezpieczaniu osuwisk

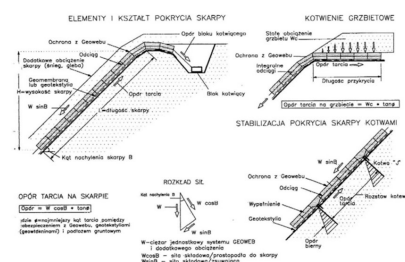
Zabezpieczenia przeciwoerozyjne i stabilizacja powierzchni skarp i zboczy

Systemy geokomórkowe mogą być stosowane w szerokim zakresie do ochrony powierzchni skarp i zboczy narażonych na oddziaływanie sił erozyjnych, do wzmocnienia powierzchni, pełnienia funkcji drenaży powierzchniowych oraz utrzymania pokryć zarówno roślinnych, jak i pokryć twardych. System możemy stosować zarówno do stabilizacji powierzchni skarp nasypów i wykopów, kształtowania powierzchni terenu, jak i zabezpieczenia linii brzegowej cieków wodnych. Na rys. 2 i 3 przedstawione są typowe schematy zabezpieczeń skarpy lub zbocza systemem geokomórkowym [3]. Ze względu na fakt, że ideą zastosowania tych systemów jest stworzenie konstrukcji geotechnicznej stwarzającej warunki dla harmonijnego rozwoju środowiska naturalnego, istotne jest właściwe jego zaprojektowanie, biorąc pod uwagę również czynniki działające na system w fazie jego budowy.



Zasady projektowania - stateczność systemu

Wszelkie zabezpieczenia ochronne mające m.in. na celu utrzymanie szaty roślinnej lub innych pokryć na mniej lub bardziej stromych skarpach i zboczach mają naturalną tendencję do poślizgu w dół, któremu przeciwstawiają się opory tarcia na kontakcie systemu z podłożem gruntowym. W przypadku zabezpieczeń geosyntetycznych obejmujących geotekstylię i geomembrany opór ten jest ograniczony przez stosunkowo niskie współczynniki tarcia charakterystyczne dla tych materiałów. Na rys. 4 przedstawione są schematy stanowiące podstawę do analizy stateczności i projektowania konstrukcji systemu geokomórkowego w odniesieniu do zabezpieczenia skarp.



Stateczność zabezpieczenia zapewnia się przez właściwy dobór systemu kotwienia

Wykorzystanie systemów geokomórkowych w zabezpieczeniach osuwisk cz. I

Utworzono: środa, 25, sierpień 2010 07:41 Bożena Trzpis, Adam Kessler

w aspekcie geometrii skarpy, parametrów geotechnicznych gruntu budującego skarpe, stosowanych materiałów geotekstylnych i geomembran, warunków hydrologicznych i dodatkowych okresowych obciążeń powierzchni skarpy (np. śnieg, lód). Analiza stateczności systemu pozwala na wybór systemu kotwienia, rodzaj, długość, średnicę i rozstaw kotew oraz innych elementów, takich jak: linki naciągowe, klipsy oporowe itp. Powyższe dane powinny być określone w dokumentacji technicznej zabezpieczenia osuwiska. Przy projektowaniu zabezpieczeń przeciwerozryjnych i stabilizacji skarp systemem geokomórkowym dla osuwiska komunikacyjnego zaleca się stosować współczynnik bezpieczeństwa wynoszący co najmniej 1,5.

Dobór wypełnienia geokomórek

Do wypełnienia sekcji geokomórek w zależności od wymagań można użyć następujące materiały:

- glebę z dobraną szatą roślinną (wypełnienie wegetatywne),
- materiały ziarniste (piaski, żwiry, kruszywa skalne),
- beton o różnej wytrzymałości i wykończeniu powierzchni,
- kompozycję w/w materiałów (pokrycia specjalne).

Wypełnienia wegetatywne są stosowane, gdy przewidywane spływy powierzchniowe będą okresowe lub o umiarkowanej intensywności (czas trwania poniżej 24 h). Wypełnienia wegetatywne są odporne na szczytowe prędkości przepływu 6 m/s, o ile pokrycie roślinne jest dobrze rozwinięte i ustabilizowane. Należy pamiętać, że zanim ustabilizuje się szata roślinna istnieje możliwość zmniejszenia objętości wypełnienia komórek spowodowana jego osiadaniem i nawodnieniem. Przy wypełnieniach wegetatywnych zaleca się stosowanie hydroobsiewu lub/ i czasową osłonę matą przeciwerozryjną.

W przypadku wypełnienia sekcji geokomórek materiałami ziarnistymi typu żwirów i kruszyw skalnych zaleca się zachować odpowiednią granulację materiału, starając się, aby maksymalna średnica ziaren nie przekraczała $1/7$ średnicy efektywnej komórki i była mniejsza niż $1/2$ wysokości komórki.

Dobór geotekstyliów podścielających

Zastosowanie odpowiednich geotekstyliów jest jedną z podstawowych zasad w zabezpieczaniu skarp i zboczy systemem geokomórkowym. Zaleca się stosowanie geotekstyliów nietkanych jedno lub dwustronnie igłowanych. W przypadku pokryć wegetatywnych zaleca się stosowanie geotekstyliów nietkanych, igłowanych o wytrzymałościach na rozciąganie rzędu 4-6 kN/m i o niewysokiej odporności na przebicie, tak aby korzenie roślin mogły przeniknąć przez warstwę geotekstyliów do podłoża tworząc integralne wzmocnienie całej powierzchni skarpy [3]. W przypadku wypełnień kruszywami i betonem należy stosować geotekstylia nietkane, igłowane o większej wytrzymałości na przebicie i rozciąganie (rzędu 10 kN/m).

Dobór wielkości i rodzaju komórek

Najważniejsze czynniki decydujące o doborze typu komórki to nachylenie skarpy lub

Wykorzystanie systemów geokomórkowych w zabezpieczeniach osuwisk cz. I

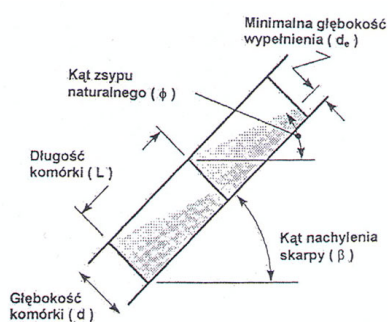
Utworzono: środa, 25, sierpień 2010 07:41 Bożena Trzpis, Adam Kessler

zbozza, intensywność spływu powierzchniowego oraz wymagany minimalny kąt tarcia materiału wypełniającego. Najbardziej odpowiednie dla zabezpieczeń przeciwoerozyjnych są geokomórki o ściankach teksturowanych i perforowanych.

Przy pokryciach wegetatywnych wielkości komórek dobierane są przy założeniu, że pokrycie roślinne będzie ustabilizowane przed jego wystawieniem na projektowane warunki spływu powierzchniowego. W dotychczasowej praktyce stosowano dwa typy komórek: standardowe (np. o wymiarach 203 x 244 mm) i tzw. duże komórki (np. 406 x 488 mm).

W komórkowych systemach ograniczających duże komórki są odpowiednie do wypełnień roślinnych, gdy kąt nachylenia zbocza lub skarpy nie przekracza 30 stopni, a przewidywane spływy powierzchniowe są o umiarkowanej intensywności. Dla skarp o nachyleniu większym niż 30 stopni oraz wystawionych na intensywne lub skoncentrowane przepływy konieczne jest stosowanie standardowych komórek.

Zwykle stosowana głębokość geokomórek z wypełnieniem roślinnym wynosi 75 mm. Umożliwia to utrzymanie roślinności oraz prawidłowy rozwój ukorzenienia na skarpach o nachyleniu do 30 stopni. Dla skarp i zboczy o nachyleniu powyżej 30 stopni konieczne jest stosowanie komórek o głębokości co najmniej 100 mm. Zastosowanie komórek o większej głębokości (150 czy 200 mm) może mieć miejsce przy przywracaniu szaty roślinnej na skalistych zboczach, w zastosowaniu do gruntów o bardzo niskiej odporności na erozję oraz dla skarp z pokryciem roślinnym na bardzo suchych obszarach.



Zasadniczo geosiatki komórkowe dobrze utrzymują glebę na skarpach i zboczach o nachyleniu do 45 stopni, jednakże wykonane w tym systemie zabezpieczenia powierzchniowe o perforowanych komórkach uzbrojonych w dobrze zakotwione linki napinające (odciągi) mogą utrzymać glebę i roślinność na nachyleniach do 65-70 stopni [2].

Przed rozwinięciem się roślinności wewnątrz komórek oddziaływanie hydrauliczne może powodować pewne ubytki, osiadanie lub też zmiany ukształtowania wypełnienia gruntowego, jak to pokazano na rys. 5.

Zależności pomiędzy zmiennymi geometrycznymi są wyrażone poniższymi równaniami:

$$\varphi = \beta - \arctg\left(\frac{d - d_e}{L}\right) \quad (1)$$

lub

$$d = L \tan(\beta - \varphi) + d_e \quad (2)$$

gdzie:

φ = minimalny kąt zsyłu naturalnego materiału wypełniającego komórkę,

β = kąt nachylenia skarpy,

d = głębokość komórki [mm],

L = długość komórki [mm],

d_e = minimalna dopuszczalna głębokość wypełnienia [mm].

Minimalna zalecana głębokość wypełnienia d_e równa się 25 mm. Odpowiednią wielkość komórek dobiera się bazując na minimalnej zalecanej głębokości wypełnienia w komórce oraz korzystając z wykresów i wytycznych udostępnianych przez producentów geokomórek [2].

Dobór systemu linek napinających do kotwienia geokomórek

Wprowadzona w latach 90. do systemu geokomórkowego Geoweb® nowa technika kotwienia polegająca na użyciu syntetycznych linek przewlekanych przez otwory w ściankach komórek umożliwiła dodatkowe zbrojenie i kotwienie zapobiegające wypieraniu sekcji geosiatek komórkowych. Dopełnieniem systemu są tu także nasadki wbijane na kotwy lub służące jako klipsy oporowe. Linki zainstalowane wewnątrz warstwy ochronnej/zasyłu i połączone z kotwami umożliwiają efektywne przeniesienie reakcji od poszczególnych kotew na całe pokrycie. Jest to szczególnie ważne, gdy projektujemy podatne pokrycia ochronne i gdy konieczne jest uzyskanie dostatecznej odporności na wypieranie pokrycia pomiędzy poszczególnymi kotwami.

Ogólnie rzecz ujmując pokrycie ochronne o grubości 75 mm z linkami napinającymi ma odporność na wypieranie odpowiadającą pokryciu ochronnemu o grubości 100 mm. W przypadkach, gdy nie jest możliwe lub nie jest zalecane użycie kotew do mocowania systemu np. w przypadku osłony geomembrany stosujemy klipsy/przetyczki oporowe rozstawione wzdłuż każdej linki w celu przeniesienia obciążeń warstwy pokrycia na linki napinające. Rozstaw klipsów i linek można wyznaczyć analitycznie. Jako linki geotechniczne zwykle stosuje się linki z tworzyw sztucznych takich jak poliestr, polipropylen, polietylen czy kevlar® (aramid®) [4]. Do systemów geokomórkowych zaleca się stosowanie linek poliestrowych o wydłużeniach przy zerwaniu 9-15%. Wytrzymałość linek geotechnicznych na

Wykorzystanie systemów geokomórkowych w zabezpieczeniach osuwisk cz. I

Utworzono: środa, 25, sierpień 2010 07:41 Bożena Trzpis, Adam Kessler

zrywanie waha się od 3 kN do 10 kN przy średnicach od 5 do 8 mm. Linki o wytrzymałości na zrywanie 3-4 kN stosuje się w przypadkach łączenia linek z kotwami gruntowymi. Linki o wyższej wytrzymałości stosuje się w pokryciach ochronnych kotwionych tylko na grzbiecie skarpy oraz w przypadku wypełniania sekcji geokomórek betonem. Linki polipropylenowe mają dużą elastyczność i nie należy ich obciążać powyżej 20% wartości wytrzymałości na zerwanie. Tego typu linki można stosować tylko z kotwami instalowanymi w określonym rozstawieniu. Linki poliestrowe charakteryzują się stosunkowo małą elastycznością. Ich obciążenie nie powinno być wyższe niż 50% ich wytrzymałości na zrywanie [5]. Tego typu linki zaleca się w przypadku długich pokryć ochronnych skarp kotwionych tylko na grzbiecie (np. ochrony geomembran). Ogólny współczynnik bezpieczeństwa najbardziej odpowiedzialnych systemów kotwienia przy użyciu linek syntetycznych jest wynikiem iloczynu cząstkowych współczynników bezpieczeństwa: na pełzanie (np. 2,5 dla poliestru), uszkodzenia mechaniczne (w czasie budowy), korozję środowiskową, redukcje wytrzymałości ze względu na węzły i okoliczności nieprzewidziane.

Bożena Trzpis

Instytut Geotechniki, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska

Adam Kessler

WODEKO Zakład Usług Wiertniczych, Gaotechnicznych i Inżynierii Środowiska,
Kraków

Referat był prezentowany podczas Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej „Problematyka osuwisk w budownictwie komunikacyjnym”, która odbyła się w Zakopanem w dniach 27–29 maja 2009 r. i był publikowany w Zeszytach Naukowo-Technicznych SITK Oddział Kraków, Problematyka osuwisk w budownictwie komunikacyjnym, seria Materiały Konferencyjne, Nr 88, Zeszyt 144, Kraków 2009.

Spis literatury zawiera część III.