

Jacek KAWALEC

Katedra Geotechniki
Politechnika Śląska

WPLYW DOBORU PARAMETRÓW GEORUSZTU NA SKUTECZNOŚĆ STABILIZACJI WARSTWY KRUSZYWA

Streszczenie. Punktem wyjścia rozważań jest ocena aktualnie obowiązujących wytycznych dla oceny poprawności zastosowania geosyntetyków w funkcji zbrojeniowej. Głównym celem artykułu jest przedstawienie rozbieżności pomiędzy parametrami aktualnie wymaganymi przy opisie georusztów a rzeczywistymi cechami mającymi istotny wpływ na skuteczność zbrojenia. Jednym z opisanych przykładów zastosowań są zabezpieczenia konstrukcji drogowych na oddziaływania szkód górniczych.

IMPACT OF GEOGRID PARAMETERS SELECTION ON GRANULAR LAYER STABILIZATION PERFORMANCE

Summary. The considerations are begun with analysis of actual requirements characteristics for geosynthetics for proper evaluation of their use in reinforcement function. Main target of the paper is to present differences between parameters required by valid codes for geogrids and real characteristic important for proper performance of reinforcement. One of described examples is protection of the road construction against mining influences.

1. Wstęp

Geosynetyki związane są z budownictwem od lat sześćdziesiątych ubiegłego stulecia. Pierwsze zastosowania popularyzujące tę grupę materiałów związane były z wykorzystaniem produktów przemysłu włókienniczego, tj. włóknin oraz tkanin. W ślad za nimi w wielu ośrodkach naukowych podjęto badania właściwości tych materiałów pod kątem zastosowań inżynierskich. Efektem takich prac były pierwsze wytyczne stosowania konstrukcji ziemnych z wykorzystaniem geotkanin. Równoległe powstały wytyczne dla projektantów zawierające opis podstawowych cech istotnych dla właściwej identyfikacji materiału pod kątem jego zastosowania. Wytyczne te zawierają opis badań poszczególnych cech materiałowych oraz

wartości dopuszczalne (minimalne lub maksymalne) ich liczbowych odpowiedników. Dalszy rozwój technik wykorzystania geosyntetyków zaowocował powstaniem szerokiej gamy innych produktów z grupy geosyntetyków często o odmiennych cechach od włókien. Dzisiejszą klasyfikację produktów geosyntetycznych w budowni przedstawiono poniżej:

- Geowłókniny
- Geotkaniny
- Geomembrany
- Geokomórki
- Geosiatki
- Georuszty

Oprócz wymienionych powyżej grup produktów coraz większe zastosowania mają produkty będące połączeniem dwóch lub więcej grup produktów w jeden nowy produkt dla konkretnych zastosowań opisanych pojęciem:

- Geokompozyty

Pod względem funkcji zastosowania geosyntetyków możemy podzielić na:

- Zbrojenie
- Filtracja
- Separacja
- Zapewnienie szczelności
- Zabezpieczenie przeciwerozyjne

Funkcję zbrojeniową w konstrukcjach ziemnych pełnią geotkaniny, geosiatki i georuszty. Wszystkie trzy wymienione materiały, choć zgodnie z obowiązującą klasyfikacją [10] zaliczone są do grupy „Geotekstyli i wyroby pokrewne”, cechują się odmiennymi właściwościami oraz zupełnie innym mechanizmem współpracy z gruntem.

Dalsza część referatu koncentruje się na właściwościach jednej z tych trzech grup materiałów określanej jako georuszty.

2. Zastosowania georusztów

Zastosowania georusztów w budownictwie mają swoją ponad 25-letnią tradycję i przyczyniły się do gwałtownego rozwoju zastosowań geosyntetyków w wielu dziedzinach geoinżynierskich. Równoczesny gwałtowny rozwój nowych produktów spowodował duże

rozproszenie właściwości materiałowych, a w ślad za tym również zróżnicowanie zainteresowań poszczególnych badaczy.

Do dnia dzisiejszego rozwój materiałów geosyntetycznych nie doczekał się weryfikacji klasyfikacji materiałowych uwzględniających nowe, często bardzo odmienne od włókien właściwości. Obowiązujące klasyfikacje materiałowe, wywodzące się z okresu początkowego wdrażania geowłókien, narzucają przy ocenie poszczególnych materiałów parametry właściwe dla wyrobów włókienniczych.

Georuszty cechują zdecydowanie odmienne od włókien, istotne z punktu widzenia funkcji zbrojeniowej, właściwości, co powinno mieć odzwierciedlenie w klasyfikacjach. Dobór odpowiednich parametrów winien uwzględniać sposób i czas działania obciążenia materiału.

Podstawową cechą istotną w funkcji zbrojenia georusztami jest stabilizacja ziaren. Cecha ta ma wiodące znaczenie w przypadkach, gdy zbrojenie podlega zmiennemu działaniu obciążenia oraz jest bardzo istotna również w przypadkach długotrwałego działania obciążenia. W pierwszym przypadku funkcja stabilizacyjna odgrywa najważniejszą rolę, w drugim natomiast jest równie istotna jak wytrzymałość projektowa geosyntetyku.

Tabela 1

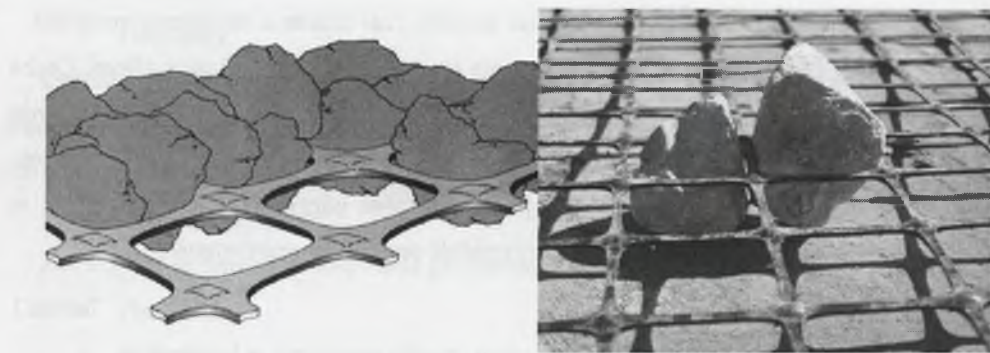
Podział zastosowań wg kryterium czasu trwania obciążenia w konstrukcji

A. Georuszty poddane zmiennemu obciążeniu	B. Georuszty poddane stałemu obciążeniu
<ul style="list-style-type: none"> • Stabilizacja mechaniczna podłoża dróg, linii kolejowych, pasów startowych itp. • Zbrojenie podłoża posadzek • Zbrojenie podstawy nasypu na słabym gruncie • Zbrojenie warstw asfaltowych • Zabezpieczenia na terenach górniczych • Zbrojenie poduszek kruszywowych 	<ul style="list-style-type: none"> • Zbrojenie skarp • Ściany oporowe • Przyczółki mostowe z gruntu zbrojonego

3. Pojęcie stabilizacji mechanicznej ziaren

Efektywne zbrojenie georusztami kruszywa wykorzystuje mechanizm klinowania się ziaren w oczkach o nieziennej geometrii. W literaturze mechanizm ten określany bywa jako stabilizacja mechaniczna ziaren. Stabilizacja mechaniczna, to, w pewnym sensie, kreowanie kompozytu dwóch materiałów, jakimi są kruszywo i georuszt, których właściwa współpraca

pozwała na układanie kolejnych warstw konstrukcji na warstwie o ulepszonych parametrach. Idea klinowania się ziaren w oczkach rusztu przedstawiona została na rys. 1. Warstwa kruszywa zastabilizowanego mechanicznie, dzięki skrzepowaniu bocznym kruszywa w georuszcie jest zdecydowanie mniej odkształcalna, mając równocześnie dużo większą zdolność do absorpcji i redukcji odkształceń przekazywanych z warstw leżących niżej. Efektywne zbrojenie geosyntetykami może, np. redukować grubość warstw kruszywa nawet do 50%. Nieefektywne zbrojenie z kolei oprócz wzrostu kosztów budowy może mieć znikomy wpływ na właściwości i parametry warstw konstrukcyjnych. Podstawą sukcesu jest odpowiedni dobór zbrojenia do materiału ziarnistego.



Rys. 1. Klinowanie się ziaren w oczkach sztywnego rusztu

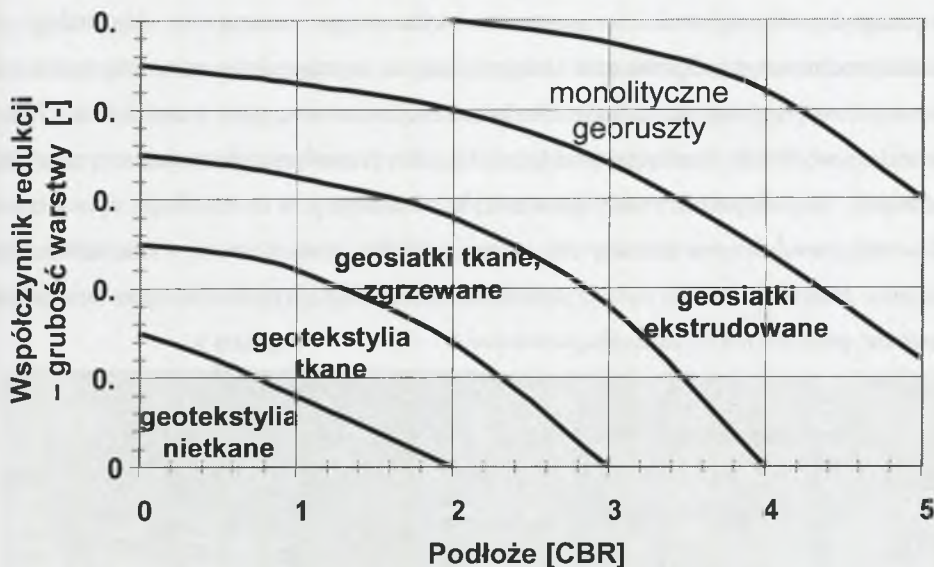
Fig. 1. Interlocking in stiff geogrid appreture

Badania prowadzone przez różne ośrodki badawcze, jak np. amerykański US Corps of Engineers czy brytyjski TRL, wykazują różnice w efektywnościach zbrojenia warstw stabilizowanych mechanicznie [3, 4, 9, 12]. Interesujące są wyniki badań oraz klasyfikacje opracowane przez holenderską jednostkę badawczo-rozwojową CROW, a opublikowane w roku 2002 (rys. 2), które wiążą klasę geosyntetyku ze współczynnikiem możliwej redukcji grubości warstwy [2].

4. Wpływ cech materiałowych na efektywność zbrojenia

Aby zrozumieć różnice efektywności zbrojenia w stabilizacji mechanicznej, należy przyjrzeć się dokładniej charakterystyce materiałowej poszczególnych geosyntetyków. Standardowym testem kontroli jakości produktu, zgodnym z ISO-10319, jest próba rozciągania materiału, opracowanie krzywej zależności obciążenie-odkształcenie i wyznaczenie wartości siły zrywającej oraz obciążenia przy wydłużeniu 2% i 5%.

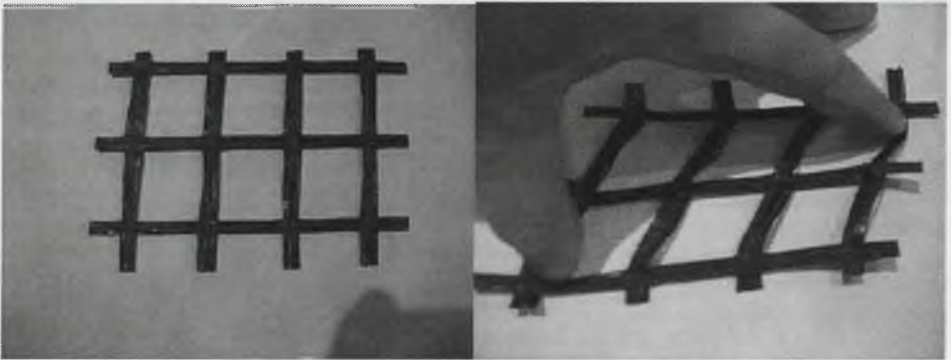
Parametry te często są specyfikowane jako wymagane dla prawidłowego doboru zbrojenia geosyntetycznego. Tymczasem wytrzymałość na rozciąganie georusztu oraz siła występująca w georuszcie przy 2% i 5% wydłużenia nie mają żadnego znaczenia dla efektywności zbrojenia. Są to parametry indeksowe związane jedynie z kontrolą jakości.



Rys. 2. Graficzna prezentacja współczynnika redukcji warstwy dla określonych klas geosiatek [3]
 Fig. 2. Graphical presentation of layer thickness reduction factor for different classes of geogrid [3]

Geosyntetyk poddany jest największemu rozciąganiu w fazie stabilizacji mechanicznej, poprzez ruch ciężkiego sprzętu zagęszczającego na stosunkowo cienkiej warstwie kruszywa. Siły występujące w georuszcie w tym krytycznym momencie osiągają maksymalne wartości do 1,5 kN/m [7] i stanowią jedynie procent wartości wytrzymałości na rozciąganie. Jeszcze trudniej wyobrazić sobie zachowanie warstwy zbrojonej poddanej 2% lub 5% przemieszczeniu. Odkształcenie w fazie jego powstawania powinno zostać zaabsorbowane już na początku. Istotą stabilizacji mechanicznej jest niedopuszczenie do przemieszczania ziaren kruszywa poprzez skrępowanie ich w georuszcie. Tym lepsze skrępowanie kruszywa, im mniejsza odkształcalność georusztu. Związane jest to z pojęciem sztywności geosyntetyku. Można to próbować opisać wartością obciążenia (siły wyrażonej w kN), jaką georuszt zdolny jest „uaktywnić” w fazie początkowej – fazie mikroprzemieszczenia. Przykład braku sztywności materiału został zobrazowany na rysunku 3.

Proces przemieszczania się ziaren skrępowanych georuszem powstaje w zakresie promili (‰), a nie procentów (%) odkształcenia. Jak widać na rysunku 4, wartości obciążenia w początkowej fazie odkształceń różnią się zdecydowanie dla materiałów różnego typu. Koniec wykresu mówiący o wartości wytrzymałości na rozciąganie geosyntetyku określa wielkości, które mogłyby występować w momencie całkowitego zniszczenia konstrukcji i kilkunastoprocentowego odkształcenia. Uaktywnienie się wytrzymałości na rozciąganie w tej fazie pracy konstrukcji jest już jednakże dla konstrukcji nieistotne, gdyż wcześniej utraci ona swoje walory użytkowe. Analizując problematykę mikroprzemieszczeń, można zaryzykować stwierdzenie, iż praktycznie żaden geosyntetyk wbudowany w konstrukcję w warstwie stabilizowanej mechanicznie nie aktywuje więcej niż kilka procent swojej wytrzymałości na rozciąganie. Materiały do tego rodzaju zastosowań nie powinny być charakteryzowane takim parametrem, gdyż nie ma on żadnego uzasadnienia.



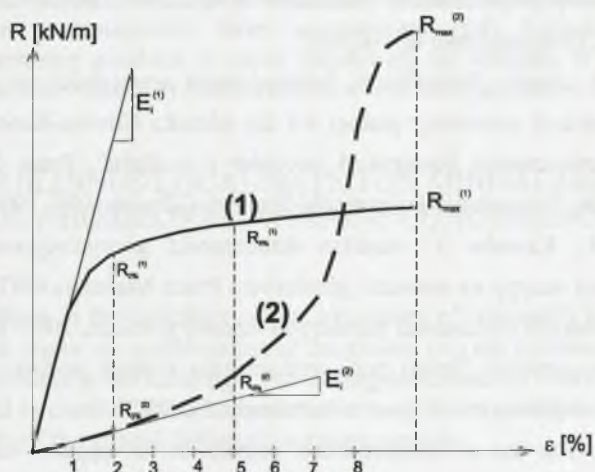
Rys. 3. Przykład reakcji na obciążenie materiału o braku sztywności
 Fig. 3. Example of reaction on stress for non-stiff material

Pojęcie stabilizacji mechanicznej ziaren wykorzystać można również przy opisie efektywności zabezpieczenia nasypów poddanych oddziaływaniu wpływów górniczych. Problematyka zastosowania geosyntetyków dla zabezpieczeń górniczych była i jest przedmiotem rozważań wielu autorów [1, 5, 6, 8, 11]

Efektywne zachowanie się materaca ma swój bezpośredni związek ze sztywnością georusztu. Należy zwrócić uwagę, iż kategoria terenu górniczego opisana jest dwoma parametrami:

- odkształcenie poziome ϵ [mm/m],
- nachylenie T [mm/m].

O ile zabezpieczenie geosyntetykami ma niewielki wpływ na nachylenie, o tyle w przypadku odkształcenia poziomego ε może mieć wpływ znaczny. Wartości ε z przedziału 1,5 mm/m - 3,0 mm/m, odpowiadającej II kategorii szkód górnicych będącej często kryterium dopuszczalnych wpływów dla obszarów projektowanych inwestycji komunikacyjnych, to przemieszczenia odpowiednio z przedziału 1,5‰ - 3‰, a więc opisana wcześniej faza mikroprzemieszczeń w geosyntetyku. Przy takiej wartości odkształcenia, co wynika z wykresu 4, jedyną szansą na zabezpieczenie korpusu drogowego jest zastosowanie zbrojenia o maksymalnej sztywności początkowej (rys. 4, krzywa 1). Zastosowanie geosiatki o dużej wytrzymałości na rozciąganie, lecz równoczesnym braku sztywności przy małych odkształceniach (rys. 4, krzywa 2), spowoduje, iż materiał zacznie pracę już w fazie zniszczenia korpusu, a więc nie spełni zakładanej funkcji.



Rys. 4. Charakterystyki „siatka-odkształcenie” – skrajne modelowe zachowanie się geosyntetyków
Fig. 4. Stress-strain characteristics – range of different behavior of geosynthetics

5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Obowiązujące podejście przy klasyfikacji materiałów geosyntetycznych [10] w zakresie zastosowań georusztów pełniących funkcję stabilizującą warstwy kruszyw wymaga zmiany. Żadna cecha sprawdzana w procesie kontroli jakości przy dużej prędkości oraz dużych odkształceniach materiału (zerwanie) nie ma zastosowania w projektowaniu. Parametry identyfikujące ich cechy materiałowe nie odpowiadają mechanizmowi współpracy z kruszywem. Poprawne określenie istotnych właściwości materiałowych wymaga odpowiedzi na pytanie o możliwości pomiaru wartości odkształcenia i naprężenia w materiale w warunkach odpowiadających rzeczywistemu zakresowi pracy zbrojenia, a więc w zakresie

bardzo małych odkształceń. Ten niewątpliwie trudny z technicznego punktu widzenia problem wymaga pilnego rozwiązania dla potwierdzenia i weryfikacji przyjętego mechanizmu współpracy kruszywa z georusztem.

Literatura

1. Chlipalski K.: Wpływ eksploatacji górniczej na nawierzchnię autostrad oraz ich zabezpieczenie. Konf.: Autostrady na terenach górniczych, GIG, Katowice 1998, 7-14.
2. CROW, Dunne asphaltverhardingen: dimensionering en herontwerp. Publicate 157, 2002, ISBN 9066283432.
3. Geogrid junction strength, Drexler University, USA, Geosynthetic Research Institute Test Method GG2-87, 1988.
4. Gołos M.: Metody projektowania podbudów z kruszyw zbrojonych geosiatkami na słabym podłożu. Drogownictwo nr 7-8/2005.
5. Gryczmański M. i inni: „Weryfikacja doświadczalna wzmocnień na wpływy górnicze nasypów i konstrukcji autostrady płatnej A4 dla odcinka Gliwice-Katowice”. część II – „Weryfikacja wzmocnienia konstrukcji nasypów i podłoża”, Praca NB-211/RB-7/98, Biblioteka Katedry Geotechniki Politechniki Śląskiej, Gliwice 1998, 1999, 2000, 2002.
6. Gryczmański M., Kawalec J.: Analiza skuteczności geosyntetyków w materacach zabezpieczających nasypy na terenach górniczych. Prace Naukowe GIG, Bezpieczeństwo obiektów budowlanych na terenach górniczych–szkody górnicze, 2006, ISSN 1643-7608.
7. Judycki J.: Rola geosiatek Tensar przy wzmacnianiu słabych podłoży gruntowych pod nawierzchniami ulepszonymi. Magazyn Autostrady, 1-2/2005.
8. Kempton G. T.: The use of reinforcement geotextiles to support road embankments subject to mining subsidence. Highways and Transportation, Vol. 39, 1992, 21-31.
9. Koerner R. M.: Designing with geosynthetics. Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey 1999.
10. PN-EN 13249:2002 Geotekstyli i wyroby pokrewne. Właściwości wymagane w odniesieniu do wyrobów stosowanych do budowy dróg i innych powierzchni obciążonych ruchem (z wyłączeniem dróg kolejowych i nawierzchni asfaltowych).
11. Stilger – Szydło E., Szydło A.: Projektowanie i wykonawstwo nasypów drogowych na terenach eksploatacji górniczej. Drogownictwo, 8/2003, 239-243.
12. Webster S.L.: Geogrid reinforcement base courses for flexible pavements for light aircrafts. Technical Report GL-93-6, US Army Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS 1993.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Lech Wysokiński