

Geosyntetyki w budowie dróg

zasady stosowania geosyntetyków o n-tym kierunku wzmocnienia

Dobra droga kołowa lub szynowa w ujęciu popularnym to droga szeroka, prosta, równa i twarda. Takie zalety to obecnie głównie problem kosztów, nie istnieją bowiem obecnie przeszkody technologiczne uniemożliwiające budowę dobrych dróg.

W niektórych przypadkach brak rozpoznania technicznego może powodować znikomą efektywność kosztów ponoszonych na budowę dróg. Od wielu dziesiątek lat w budownictwie poszukuje się intensywnych sposobów wzmocnienia gruntów. Zwiększenie nośności poszczególnych warstw gruntowych tworzących budowlę ziemne i podłoża gruntowego ma szczególne znaczenie w budownictwie dróg lądowych. Decydując się na niniejsze nie sposób uniknąć pewnych powtórzeń, które były przedmiotem opracowań wcześniejszych (głównie [1]). Najpowszechniejszymi sposobami wzmocnienia gruntów i zwiększania ich stateczności są metody zbrojenia gruntów.

W ostatnich kilkudziesięciu latach przy zbrojeniu gruntów używano analogiczne zbrojenie jak w żelbecie, stosując siatki i pręty, lecz przeważnie nie metalowe, lecz z tworzyw sztucznych oraz tzw. fibry. Fibrogrunty powstają przez analogie do fibrobetonów i nawiązują do starych i tradycyjnych sposobów „zbrojenia” sieczką słomianą lub

trzciniową suszonych cegieł i pustaków wyrabianych z gruntów gliniastych i ilastych. Współczesne „fibry” pochodzą często z recyklingu tworzyw sztucznych, np. z butelek typu PET, krótkie druty z tworzyw syntetycznych (geosyntetyki), np. długość 20–30 mm i średnica 0,05–1 mm, lub w rzadkich przypadkach podobnych wymiarów odpady i wióry z metali niekorodujących. Rozwój przemysłu tworzyw sztucznych spowodował eksplozję zastosowań pewnych ich form produkcji zwanych geosyntetykami w budowie dróg. Zastosowania tych materiałów w ogólnym budownictwie kubaturowym jest raczej marginalne i dotyczy tylko niektórych robót fundamentowych bądź konstrukcji posadzek.

Kanony aplikacji geosyntetyków

Wprowadzenie układów warstw, także z udziałem geotekstylii, w drogowych budowlach ziemnych i podłożach nawierzchni drogowych i szynowych (tj. w górnych strefach aktywnych budowli ziemnych) znakomicie poprawia ich stateczność i jest kosztem uzasadnionym. Powstawanie takich rozwiązań projektowych i wykonawczych wynika z ogólnej tendencji, trwającej kilkaset lat, wzmocnienia gruntów podłoża fundamentowych i wzmocnienia poszczególnych konstrukcyjnych warstw gruntowych, w tym podłoża nawierzchni drogowych. Prace w tym zakresie przyniosły wiele pozytywnych rezultatów nie tylko w zastosowaniu spoiw hydraulicznych, popiołów i żywic [1]. Geosyntetyki (rys.1), rozumiane jako

geo-siatki, -tekstylii, -tkaniny, -włókniiny, -maty, -fibry, -membrany i -żele, stosuje się w budownictwie lądowym od wielu lat i można już nawet mówić o pewnych standardach ich zastosowań. Podaż tego rodzaju produktów w Europie jest znacznie przewyższająca popyt, ze względu na wzrastające możliwości recyklingu wyrobów z tworzyw sztucznych, a co za tym idzie niskich kosztów produkcji. Można nawet mówić o istnieniu w Polsce „rynku klienta” w tym zakresie. Wobec zapóźnień technologicznych w kraju prowadzi to do różnych nieporozumień i nieprawidłowości ekonomicznych. **Bardzo bogata oferta producentów krajowych i zagranicznych geosyntetyków spotyka się z brakiem technicznych kryteriów zastosowań.** Formalne podejście i stosowanie jedyne kryterium ceny, np. według Prawa zamówień publicznych szczególnie często wymaganego w budownictwie komunikacyjnym, prowadzi nie tylko do strat finansowych polegającym na niewłaściwym zakupie geosyntetyku i mizernym efekcie konstrukcyjnym jego zastosowania, ale również jest okolicznością korupcyjną.

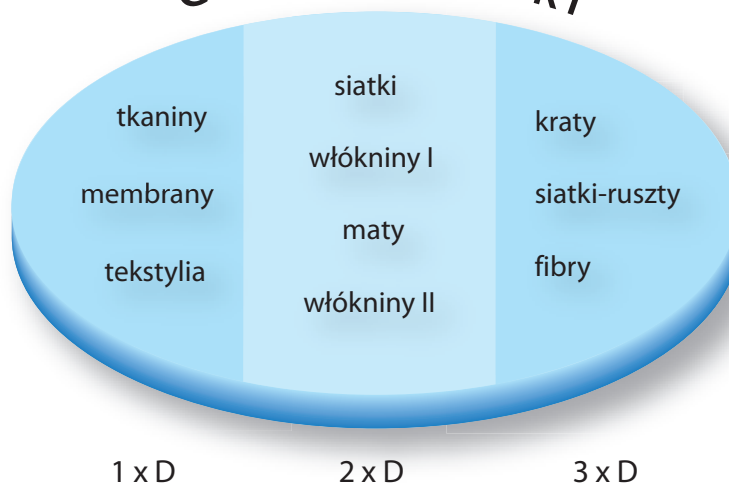
Przez kierunek wymiarowania konstrukcji z zastosowaniem geosyntetyku „D” (od ang. dimension) w poz. [4, 6] nie tyle rozumie się konkretną wielkość w jednostkach długości, ile wpływ stosowania danego geosyntetyku na liczbę, kierunek i wymiar wzmocnienia danego ustroju konstrukcyjnego. Maksymalna liczba wymiarów wzmocnienia za pomocą jednego materiału geosyntetycznego to oczywiście trzy, mamy bowiem do czynienia z przestrzenią

Już w czasach rzymskich grunty zbrojono ciętymi gałęziami, faszyną i trzcinią poprzedzone wielowiekową tradycją zbrojenia liśćmi papirusu mocznymi w oleju. Ponadto w XIX w. grunty zbrojono łętami niektórych roślin strączkowych, słomą, tartaczynami odpadami drewna, użytymi linami okrętowymi, odpadami produkcji tkanin bawełnianych, dywanów.

trójwymiarową. Ponieważ podłoże gruntowe często traktujemy, czy też modelujemy, jako półprzestrzeń sprężystą, można zastosować taki układ ułożenia części tego samego geosyntetyku w ośrodku gruntowym, że otrzymamy wzmocnienia w czterech i więcej kierunkach, a jeżeli budowany jest układ i pewna struktura ułożenia geosyntetyków również wielokierunkowy, o n -kierunkach (n -wymiarach). Pozycje [5, 6 i 7] zawierają ważne argumenty przemawiające za tezą możliwych wzmocnień wielokierunkowych (n -kierunkowych) dla układów zbrojenia geosyntetykami tego samego typu lub układów z kilku różnych typów materiałów geosyntetycznych.

W krajowym budownictwie drogowym można już nawet określić tradycyjny sposób zastosowania geotekstylia przewidziany w Katalogu [3], na ogół jako przekładki separacyjnej pomiędzy gruntem podłoża, pierwszą warstwą gruntową podbudowy. Podobnie jak we wszystkich innych przypadkach, tak i w tym stosowanie Polskich Norm nie jest obligatoryjne, zwłaszcza że poza wymienionym Katalogiem, brak jest regulacji normowych w odniesieniu do stosowalności geosyntetyków. Obecnie nie występują odpowiednie regulacje norm europejskich obejmujących aplikacje geosyntetyków typu **PN-EN** i nie należy się ich wkrótce spodziewać, w Europie bowiem nie były odrębnie formułowane. Pozostaje zatem poziom wiedzy technicznej i doświadczenia projektantów oraz znajomość trendów i aktualnych prac badawczych z zakresu aplikacji tego typu lub podobnych materiałów. Prace badawcze i doświadczenia w zakresie przyszłego zastosowania i wykorzystania geosyntetyków są referowane już prawie od dziewięciu lat, w międzynarodowym czasopiśmie **Geotextiles and Geomembranes** (pełne wydania dostępne on line w systemie science direct). Dopracowano się kilku standardowych zastosowań i podstawowych zasad stosowania geosyntetyków, przede wszystkim w zależności od ich rodzajów, przy czym konkretne zastosowanie techniczne musi być poprzedzone co najmniej elementarną analizą funkcjonalno-statyczną. I tak jako główne zasady stosowania można wymienić:

GEOSYNTETYKI



Rys. 1. Ogólny podział geosyntetyków w zależności od liczby możliwych wymiarów wzmocnienia D

- A. Geomembrany (bezwzmocnieniowe) należy stosować:
- jako przepona izolacyjna infiltracji głębszej wód,
 - jako warstwa przepływu powierzchniowego wód z otuliną.
- B. Geotekstylia, geowłókniny (tkane i igłowe) o gramaturze od 150 G/m² do 600 G/m² typu 1D (wzmocnienia jednowymiarowe) należy stosować:
- samodzielnie jako przekładki separacyjne między warstwami różnych gruntów,
 - samodzielnie jako przekładki zbrojące i wzmacniające między warstwami gruntów o grubości < 25 cm i U >10 oraz „zakłady” zbrojenia skarp stromych,
 - w kombinacji z geosiatkami jako filtry warstwowe i drenaże bezprzewodowe,
 - w kombinacji z geosiatkami jako element przeponowy „materacy nośnych”,
 - w kombinacji z geomembranami jako warstwa osłonowa i spływu powierzchniowego.
- C. Geosiatki typu 2D (tzw. typu dwuwymiarowego) stosowane:
- samodzielnie, nawet dla gruntów mało spoiwych i bez ograniczeń uziarnienia dla gruntów sypkich,
 - samodzielnie jako zbrojenie pionowe struktur gruntowych nasypów lub podłoża wykopów do głębokości 8 m,
 - samodzielnie jako zbrojenie warstw bitumicznych konstrukcji nawierzchni dróg,
 - w kombinacji z geowłókninami jako elementy kaszycowe „materacy nośnych”,
 - w kombinacji z bio- kulturami jako powierzchniowe wzmocnienie skarp.
- D. Geosiatki typu 3D (tzw. typu trójwymiarowego lub przestrzennego) należy stosować:
- samodzielnie, jako pełne zbrojenie warstw gruntu nasypu lub podłoża wykopu,
- E. Geofibry, zwane też fibrogruntami, przez analogie do fibrobetonu, stanowią typ 3D:
- jako komponent wzmacniający warstwę gruntów sypkich, o grubości warstwy maks. 60 cm,
 - jako komponent nawierzchniowych warstw bitumicznych.
- F. Geożele (jedno- lub dwuskładnikowe żywice oparte na bazie rezorcynu)
- samodzielnie jako szybkowiążące mieszanki gruntowe, zabezpieczające stany awaryjne budowli ziemnych.
- Należy też zwrócić uwagę, że obowiązujące w Europie i w Polsce systemy certyfikacji i dopuszczenia do obrotu i wydawane aprobaty techniczne licznym firmom zajmującymi się dystrybucją geosyntetyków precyzują przeznaczenie i zakres stosowania poszczególnych typów i rodzajów, w zależności od ich struktury materiałowej i gramatury. W odniesieniu do geowłóknin jako geotekstylia o gramaturze nie większej niż



Fot. 1. Geowłóknina w poddożu lub podtorzu, na niwelecie budowlanej, w podłożu nawierzchni drogowej lub szynowej, w układzie planarnym [8]



Fot. 2. Separacyjna funkcja geowłókniny o trudnym uzasadnieniu; fot. autor

w Szwajcarii, rys. 2, gdzie geowłóknina pełni wyłącznie funkcję separacyjną. Po wielu latach obserwacji i doświadczeń zaczęto wykorzystywać szerzej własności filtracyjne geotekstylii [2]. W ostatnich kilku latach spostrzeżono możliwość „interakcji” geotekstylii z ośrodkiem gruntowym, a co za tym idzie zaczęto stosować układy warstwowe różnych materiałów gruntowych oraz warstw typu „materac” z wykorzystaniem geotekstylii lub geosiatek, w systemie „sandwich”. System ten polega na konstruowaniu nośnych podłoży, odpowiednich do kategorii obciążeń, złożonych z odpowiedniej liczby warstw i w odpowiedniej ich kolejności. Obecna praktyka projektowania i wykonywania budowlanej ziemnej i podłoża nawierzchni drogowej mnoży przypadki zastosowania geotekstylii już jako elementów wzmacniających. Obecnie nie jest jeszcze całkowicie czytelny zarówno mechanizm tego wzmocnienia, jak i zakres ilościowy zwiększenia stateczności oraz zakres rzeczowy przypadków odpowiadających zjawisku wzmocnienia.

W wielu jednak przypadkach zastosowanie geotekstylii jest niewłaściwe lub jest nieefektywne. Wielokrotnie na etapie weryfikacji projektów występują wątpliwości, w jakim zakresie można korygować poszczególne rozwiązania w podłożach nawierzchni dróg lądowych, bez określenia pomiarowego i doświadczalnego następstw korekt, zmieniających konstrukcję podłoża przez dodanie kolejnej warstwy geosyntetyku lub całkowitą redukcję tych warstw. Dotychczas we wszystkich przewidywanych funkcjach warstw geosyntetyku stosowano płaską formę ułożenia, tzw. planarną, (fot. 1), która odpowiada stosowanym, projektowym oznaczeniom na rysunku 2 i 3.

Dotychczasowa praktyka oraz wyniki eksploatacyjne wskazują, że odpowiednio konstruowany „materac” podłoża nawierzchni drogowej, jak na fot. 1, jest rozwiązaniem bardzo skutecznym konstrukcyjnie. W tym przypadku mamy do czynienia z warstwą o maksymalnej łącznej grubości do 25 cm, jako elementu strefy aktywnej górnej lub dolnej (wykop) części budowlanej ziemnej. Zasady obliczania stateczności skarp zbrojonych geosyntetykami,

600 g/m² ich zastosowanie w przeważających przypadkach aprobat technicznych określa się jako:

- separację słabego podłoża nasypów w celu poprawy jego stateczności oraz przyspieszenia konsolidacji,
- budowę dróg tymczasowych, leśnych, rolniczych, budowę placów postojowych i parkingów w trudnych warunkach gruntowo-wodnych,
- wykonanie warstw odcinających i rozdzielających między gruntem drobnoziarnistym (ilastym, pylastym lub gliniastym) a warstwami konstrukcyjnymi nawierzchni,
- wykonywanie warstw podkładowych utrzymujących grunt pod geosiatki lub georuszty przy budowie wzmocnionych skarp i nasypów,
- osłonę systemów drenarskich w celu zabezpieczenia ich przed zamulaniem gruntem drobnoziarnistym,
- osłonę uszczelnień z geomembran przed uszkodzeniami mechanicznymi.

Obecne technologie tworzyw sztucznych i włókien syntetycznych pozwalają na uzyskiwanie produktów o pożądanych parametrach wytrzymałości. Najważniejsze z nich to UTS (*Ultimate Tensile Strength*) wg nowej normy PN-EN ISO 10319, określonej jako F_k – doraźna wytrzymałość na rozciąganie, i LTS (*Long Term Strength*), określanej jako F_d – długoterminowa wytrzymałość na rozciąganie, wg normy PN-EN ISO 13431. Wymienione normy określają jakość geotekstylii nie zaś sposoby ich aplikacji. Pierwsze zastosowanie geotekstylii trzydzieści lat temu było jednak bardziej uproszczone i polegało jedynie na stosowaniu geowłóknin jako materiału separującego i izolującego poszczególne warstwy gruntu z zawartością różnych frakcji pylastych i ilastych. Ten zakres zastosowania jest kultywowany do dzisiaj ze znakomitą skutecznością. Przykład stanowi rozwinięty system układu konstrukcyjnego nawierzchni dróg szynowych

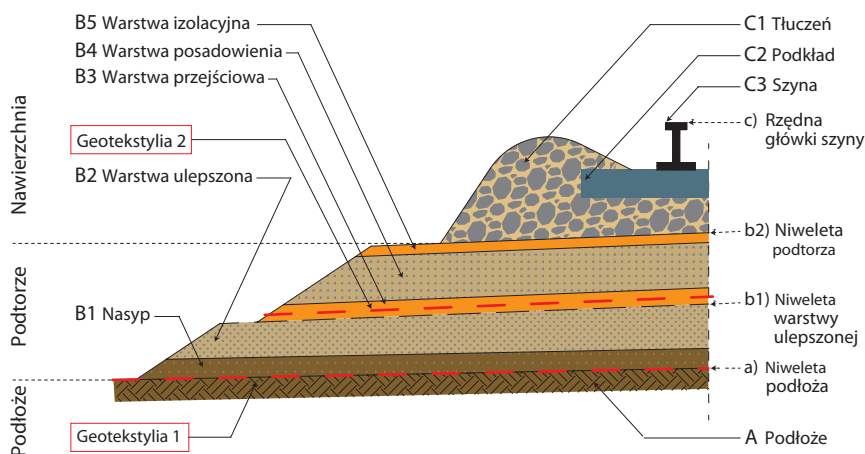
stosowania „zakładów” oraz układu „materaca” są relatywnie skutecznie sformułowane, a istniejące programy stanowią bezpośrednią pomoc dla projektantów.

Zupełnie różne zastosowanie geosyntetyków w sensie mechanicznym i bezpośredniego przenoszenia obciążeń użytkowych, w formie geosiatek, obejmuje ich zastosowanie w nawierzchniach podatnych, nie utwardzonych i bez płyty (lub warstwy) o charakterze izotropowym. Istotne osiągnięcia w tym zakresie można odczytać w pracach [1, 2], na podstawie których można ustalić, że „mechanizm pracy” geosiatek w układzie warstw nawierzchni podatnych jest absolutnie różny od mechanizmu pracy geotekstylii w podłożach fundamentowych nawierzchni. Przede wszystkim zakres odkształceń nawierzchni podatnych nie utwardzonych jest niewspółmiernie większy niż w nawierzchniach drogowych z warstwami bitumicznymi. Pozwala to na pełną mobilizację „klinowania się” i zagęszczenia grubofrakcyjnego stosu okruszowego, co w efekcie redukuje niezbędną grubość warstwy kruszywa. Jednak ten rodzaj nawierzchni drogowej to na ogół nawierzchnie tymczasowe, które nie są nawierzchniami permanentnymi, to znaczy zbudowanymi na stałe. Poważnym mankamentem takich nawierzchni w stosunku do płytowych, stosowanych obecnie, jest brak możliwości wtórnego odzysku elementów składowych dróg tymczasowych, co przy znacznych cenach kruszyw zmienia argumentację ekonomiczną.

Empiryczne uzasadnienia sposobów aplikacji geosyntetyków

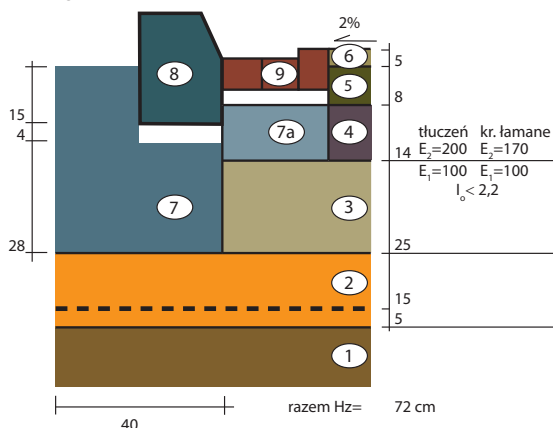
Z zestawień i specyfikacji technicznych przedstawianych wcześniej wynika, że sposób zastosowania konkretnego materiału geosyntetycznego powinien wynikać z jego właściwości technicznych. Przy licznych zbiorze tych samych materiałów geosyntetycznych, grupy od A do F, o różnych, a niekiedy zbliżonych, zestawieniach właściwości technicznych może dojść do rozwiązań chybotliwych. Dlatego pierwszą rzeczą jest ustalenie funkcji, jaką ma spełniać materiał geosyntetyczny w strukturze budowli ziemnej. Na ogół są to funkcje filtracji jedno-

Określenia według nomenklatury szwajcarskiej



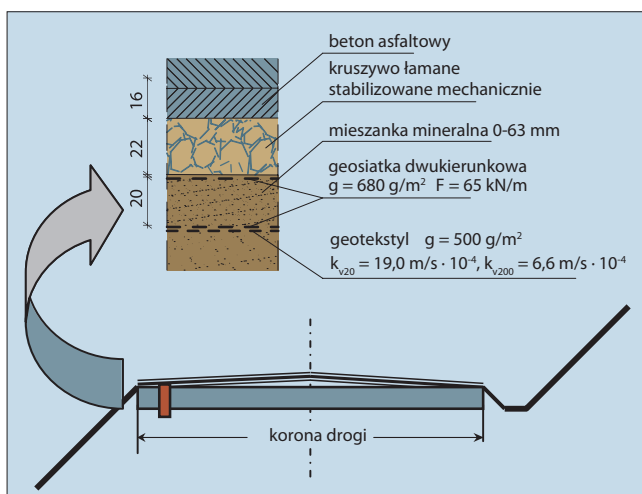
Rys. 2. Sposób zastosowania geotekstylia w współczesnych konstrukcjach drogi szynowej

Zgodnie z SST i projektem
PRZEKRÓJ KONSTRUKCYJNY JEZDNI GŁÓWNEJ
KR5



1. grunt rodzimy typu G3
2. ulepszone podłoże 20 cm pospółka + geowłókna o gramaturze min. 250 g/m²; w celu doprowadzenia podłoża gruntowego do nośności G1
3. Dolna warstwa podbudowy z tłucznia kamiennego lub kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie; gr 25 cm
4. górna warstwa podbudowy z mieszanki mineralno-asfaltowej
5. warstwa wiążąca z polimeroasfaltu, gr. 8 cm
6. warstwa ścieralna z polimeroasfaltu, gr. 5 cm
- 7, 7a. ława betonowa B15
8. krawężnik kamienny 20/30 na podsypce cem.-piask., gr. 4 cm
9. ściek uliczny z betonowej kostki Hiland na podsypce j.w.

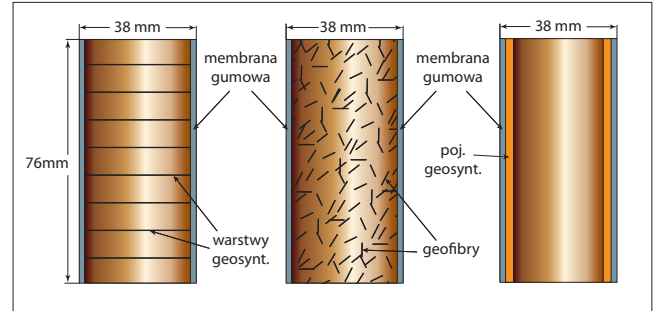
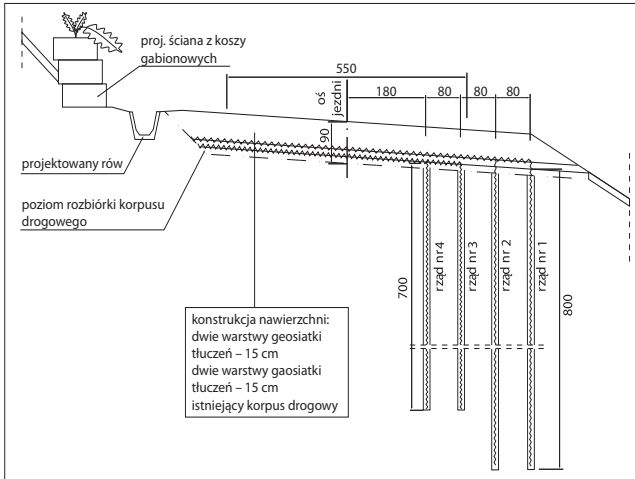
Rys. 3. Projektowane podłoże nawierzchni drogowej ze wzmacniającą funkcją geowłókny



Rys. 4. „Materac” w strukturze podłoża nawierzchni drogowej

lub dwukierunkowej, separacji warstw różnych gruntów oraz wzmacniające (przez wzmocnienie gruntów rozumie się polepszenie parametrów nośności i odkształcalności gruntów i ich warstw). Pragmatyka zagadnienia

stosowania poszczególnych rozwiązań konstrukcyjnych z wbudowaniem geosyntetyków wymaga jednak konkretnych argumentów i wskazań. Źródłem takich wskazań nie mogą być niestety wyniki pochodzące z eksploatacji bu-



Rys. 6. Struktury i rodzaje próbek przygotowanych do aparatu trójosiowego

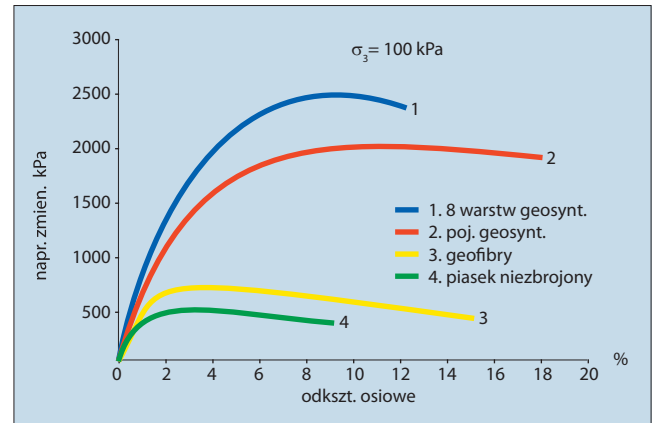
◀ Rys. 5. Wzmocnienie podłoża nawierzchni i skarp nasypu geosiatkami wg [4]

dowli ziemnych, w których zastosowano odpowiednie geosyntetyki, gdyż okres eksploatacji takich konstrukcji nie przekracza jeszcze 20 lat w Polsce i nieco ponad 30 lat w Holandii lub Niemczech. Pozostają zatem dwie drogi uzasadnienia, analityczne lub semi-analityczne oraz doświadczalne. Najtańsze są oczywiście metody obliczeniowe, które różnią się od siebie liczbą założeń upraszczających. Są najmniej dokładne i mogą się jedynie przyczynić do trafniejszego formułowania programów badań i pomiarów bezpośrednich. Dokumentując zatem poprzednie specyfikacje zastosowań, należy przytoczyć kilka wyników empirycznych w skali laboratoryjnej i technicznej. Obszerny przegląd w tym zakresie zawarty jest w artykule [2], nie mniej interesujące są rodzime próby (rys. 5) rozszerzenia zastosowania materiału geosyntetycznego jako dwukierunkowego zbrojenia geosiatkami [4]. Samo zbrojenie geosiatkami podłoża nawierzchni drogowej zawiera duży procent wzmocnienia, lecz przeciwstawienie siłom ścinającym w skarpach geosiatek bez zatapiania w zaczynie cementowym byłoby zbyt ryzykowne.

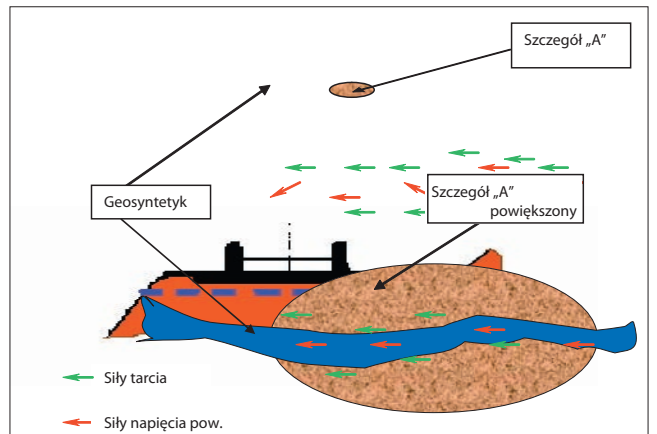
W świetle ostatnich doświadczeń okazuje się również, że ten sam geosyntetyk może spełniać różne funkcje i mieć różną efektywność w zależności od formy, w której jest użyty [7]. Na szczególną uwagę zasługują wyniki testu laboratoryjnego w aparacie trójosiowego ścinania. Badania gruntów za pomocą tego aparatu są powszechnie uważane za bardzo miarodajne ze względu na zbliżony charakter ich rzeczywistego, trójosiowego obciążenia.

Na rys. 6 przedstawiono trzy struktury próbek gruntu piaszczystego, zbrojonego tym samym geosyntetykiem poliesterowym, w trzech formach tego produktu: a) jako 8 warstw (planarnego) zbrojenia geowłókniną, rozłożone na 76 mm wysokości próbki, b) jako równomierne wymieszanie z fibrami geosyntetycznymi, c) wypełnienie próbką pojemnika (otwartego denno) sporządzonego z tego geosyntetyku jako geotekstylia.

Wyjaśnienia wymaga rodzaj pojemnika, który w istocie jest „woreczkiem” z tego samego materiału poliestrowego jak przekładki w próbce a). Na woreczek poliestrowy naciągnięte są membrany gumowe właściwe badaniom w aparacie trójosiowym.



Rys. 7. Wyniki testu w aparacie trójosiowego ścinania próbek o różnych formach zbrojenia. Krzywa (1) dotycząca przekładek poziomych zdecydowanie wskazuje na znaczne wzmocnienie takiej próbki w stosunku do pozostałych form zbrojenia. Test należy uznać za bardzo wiarygodny, modeluje bowiem bardzo zbliżenie rzeczywiste warunki „pracy” gruntu. Krzywa (2) odpowiadałaby w rzeczywistości pracy „materaca”, wypełnionym piaszczystym gruntem jednorodnym



Rys. 8. Schemat ideowy sił wzmocniających w grunтовой warstwie z geowłókniną

W wyniku testu laboratoryjnego uzyskano bardzo przekonujące i jednoznaczne wyniki (rys. 7).

Na podstawie przedstawionego

testu laboratoryjnego trudno natomiast potwierdzić lub zaprzeczyć hipotezie, że mechanizm wzmocnienia przez pojedynczą warstwę geowłókny polega na: mobilizacji sił rozciągania warstwy geosyntetyku, jako efekt napięcia powierzchni membrany, oraz powstawaniu sił tarcia powierzchni geosyntetyku wewnątrz warstwy gruntowej (rys. 7).

Nawiązując do pierwszej części artykułu i rys. 1, należy skonstatować, że istnieje wiele odmian rodzajowych geosyntetyków określanych jednym mianem. Ich właściwości użytkowe są często skrajnie różne, a zatem wnioskowanie o mechanizmie wzmocnień nie może być monoargumentacyjne. Z całą pewnością zamiast sił tarcia (rys. 8), w przypadku geotekstylii, w przypadku geosiatek mamy do czynienia z siłami „szczepności” zbrojenia jako oporu klinowania się większych ziaren gruntu, a zamiast napięcia powierzchniowego membrany, siły odkształcenia sprężystego siatki.

dr inż. **KRZYSZTOF GRADKOWSKI**
IDiM Politechnika Warszawska

Bibliografia

- [1] K. Gradkowski, *Wzmacnianie podłoża drogowego geosyntetykami*. „Drogownictwo” nr 2/2007, s. 51–55.
- [2] K. Kazimierowicz-Frankowska, *Wykorzystanie geosyntetyków do wzmacniania podłoża nawierzchni drogowych. Cz. I. Przegląd wyników badań doświadczalnych*. „Inżynieria Morska i Geotechnika” nr 5/2005, s. 340–344.
- [3] Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych. GDDP, 1997.
- [4] K. Trojnar, L. Folta, L. Bichajło, *O projekcie zastosowania pionowych pasm geosyntetyków do stabilizacji nasypu drogowego*. „Inżynieria i Budownictwo” nr 7/2004, s. 383.
- [5] T. Yetimoglu & others, *A study on bearing capacity of randomly distributed fiber-reinforced sand fills overlaying soft clay*. „Geotextiles and Geomembranes” 23/2005, pp. 174–183.
- [6] M.X. Zhang & others, *Triaxial tests sand reinforced with 3D inclusions*. „Geotextiles and Geomembranes” 24/2006, pp. 201–209.
- [7] G. Mandhavi Latha, Vidya S. Murthy, *Effects of reinforcement form on*

the behavior of geosynthetic reinforced sand. „Geotextiles and Geomembranes” 25/2007, pp. 23–32.

[8] Strony internetowe: www.geotkana-geosiatka.pl; www.sciencedirect.com.