

# Geosyntetyk w funkcji zbrojącej

Jacek Alenowicz<sup>1</sup>

W pierwszej części artykułu („Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2009, nr 1, s. 70–74) przedstawiono zastosowania geosyntetyków pełniących funkcję warstwy separacyjnej oraz filtracyjnej, drenu oraz ochrony przeciwoerozyjnej skarp. Podano podstawowe wymagania, jakie musi spełniać geosyntetyk w każdej z wymienionych sytuacji, wraz z uwagami dotyczącymi specyfikowania.

Druga część artykułu jest poświęcona zastosowaniom w budowie dróg, w których geosyntetyk pełni funkcję zbrojenia. W takiej sytuacji przejmuje on siły rozciągające. Naprężenia rozciągające w geosyntetyku mogą pojawiać się okresowo lub działać w całym okresie użytkowania konstrukcji, w której zastosowano zbrojenie geosyntetyczne. Do najważniejszych zastosowań w budowie dróg należą: zbrojenie warstw kruszywa układanych na słabym podłożu, zbrojenie podstawy nasypu wznoszonego na gruntach słabonośnych oraz grunt zbrojony – budowa stromych skarp i konstrukcji oporowych. W każdej z wymienionych sytuacji geosyntetyk pełni funkcję zbrojenia, jednak wymagania co do właściwości są zróżnicowane ze względu na sposób i czas oddziaływania obciążenia.

Ponadto geosyntetyki są stosowane w warstwach asfaltowych nawierzchni drogowych. Zadaniem jest minimalizacja spękań odbitych lub zwiększenie trwałości zmęczeniowej warstw asfaltowych. Geosyntetyk może pełnić rolę warstwy pośredniej, kompensującej przemieszczenia w obrębie pęknięcia znajdującego się pod warstwą MMA, albo rolę warstwy zbrojącej spód warstwy MMA. Zastosowania w warstwach asfaltowych należą do najtrudniejszych zastosowań w budowie dróg, ze względu na dużą liczbę czynników decydujących o powodzeniu. Oprócz doboru odpowiedniego geosyntetyku ogromny wpływ mają warunki atmosferyczne (temperatura, wilgotność) oraz ściśle przestrzeganie technologii, która może różnić się w przypadku różnych geosyntetyków. Zastosowania w warstwach asfaltowych nie będą szerzej omówione w związku z ograniczoną objętością artykułu.

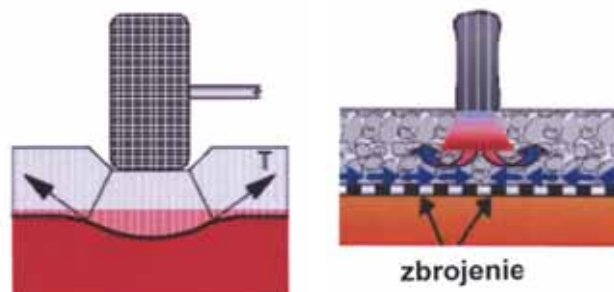
## 1. Geosyntetyk jako zbrojenie warstwy kruszywa

Wzmocnienie warstwy kruszywa, ułożonej na słabym podłożu, należy do najwcześniejszych zastosowań geosyntetyków w budownictwie komunikacyjnym. Geosyntetyk pozwala na [1, 2, 3]: wydłużenie okresu eksploatacji nawierzchni, zmniejszenie grubości warstwy kruszywa, uzyskanie tzw. platformy roboczej w czasie budowy nawierzchni.

Efekt wzmocnienia zależy od współpracy geosyntetyku ze wzmacnianą warstwą i jego zdolności do przejęcia naprężeń rozciągających, powstających na spodzie warstwy kruszywa pod wpływem obciążenia. Jeżeli między kruszywem i geosyntetykiem wystąpi poślizg, wzmocnienie warstwy kruszywa nie nastąpi.

Ze względu na sposób pracy geosyntetyku, wynikający z dopuszczonych odkształceń, może zachodzić jeden z dwóch następujących przypadków: geosyntetyk działa jak naciągnięta mem-

brana (ryc. 1), geosyntetyk zapewnia boczne utwierdzenie ziaren kruszywa (ryc. 2).



Ryc. 1. Efekt naciągniętej membrany [4]

Ryc. 2. Efekt utwierdzenia bocznego ziaren kruszywa (klinowania) [1]

W pierwszym przypadku uzyskanie efektu wzmocnienia wymaga znacznego odkształcenia układu, w tym warstwy geosyntetyku. Odkształcenie powierzchni warstwy kruszywa wynosi od kilku do kilkudziesięciu cm. Wskutek tego zbrojenie ulega wydłużeniu i w efekcie powstaje w nim siła rozciągająca, odciążająca słabe podłoże. Odkształcenie o wielkości umożliwiającej powstanie efektu membrany jest dopuszczalne jedynie w przypadku dróg i obiektów tymczasowych. Omawiany mechanizm wzmocnienia jest charakterystyczny w przypadku geosyntetyków wiotkich, o małej grubości, takich jak geowłókniny i geotkaniny oraz geosiatki przeplatane lub zgrzewane z cienkich pasm tworzących żebra. Struktura tych geosyntetyków sprawia, że nie jest możliwe uzyskanie efektu bocznego utwierdzenia ziaren kruszywa.

Efekt bocznego utwierdzenia ziaren kruszywa jest wymagany w przypadku zbrojenia podbudów nawierzchni ulepszonych, w których wystąpienie dużego odkształcenia jest niedopuszczalne. Geosyntetyk musi natychmiast reagować i przeciwstawiać się dążeniu ziaren kruszywa do przemieszczenia pod wpływem obciążenia. Konieczne jest więc doskonale zaklinowanie ziaren kruszywa w geosyntetyku. Od tego zależy uzyskanie lub też nieuzyskanie efektu zbrojenia. Zaklinowanie mobilizuje boczne utwierdzenie (skrępowanie) ziaren kruszywa i powoduje wzrost efektywnego modułu warstwy kruszywa na słabym podłożu. Omawiany mechanizm wzmocnienia uzyskuje się tylko w przypadku geosiatek, i to tylko tych o strukturze georusztu, o grubych i ostrokrawędzistych żebrach [5, 6].

### 1.1. Wymagania

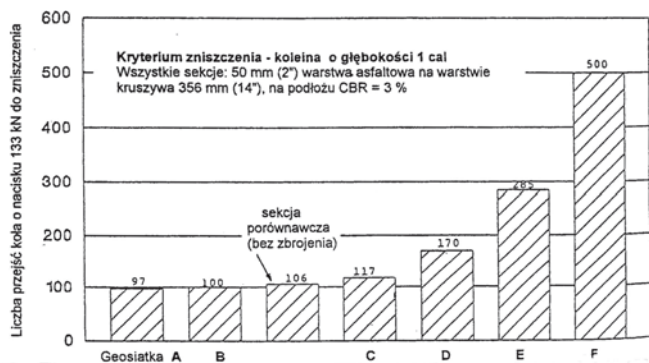
Aby geosyntetyk pełnił prawidłowo funkcję zbrojenia warstwy kruszywa, powinien charakteryzować się właściwościami zapewniającymi dobrą współpracę z kruszywem, odpornością na uszkodzenia w czasie wbudowania na nim warstwy kruszywa oraz trwałością rozumianą jako odporność na degradację chemiczną (po wbudowaniu) i promieniowanie UV (okres składowania).

Dobra współpraca z warstwą kruszywa zależy praktycznie wyłącznie od właściwości strukturalnych geosyntetyku. W przypadku, gdy działa on jak naciągnięta membrana, decyduje tarcie. Dzięki niemu naprężenia, powstające na spodzie warstwy kru-

<sup>1</sup> Dr inż., Katedra Inżynierii Drogowej, Politechnika Gdańska, wiceprezydent Polskiego Stowarzyszenia Geosyntetycznego.

szywa są przekazane na geosyntetyk. W przypadku utwardzenia bocznego ziaren kruszywa, decyduje przede wszystkim struktura (sposób produkcji) geosiatki [5, 6] i odpowiedni dobór wielkości oczek do uziarnienia kruszywa. Wytrzymałość na rozciąganie i odkształcenie przy zerwaniu, określane według normy ISO 10319, nie charakteryzują skuteczności geosyntetyku jako zbrojenie warstwy kruszywa. Siły mobilizowane w geosyntetyku ułożonym pod warstwą kruszywa, jak również występujące w tych warunkach odkształcenia, są wielokrotnie mniejsze. Największe naprężenia w geosyntetyku powstają w czasie budowy i dla georusztów wynoszą wówczas do 5%, natomiast w czasie eksploatacji nawierzchni poniżej 0,5% wytrzymałości [7].

Potwierdzeniem tego, że to nie wytrzymałość na rozciąganie geosyntetyku decyduje o skuteczności zbrojenia podbudowy z kruszywa są np. wyniki badań przeprowadzonych w USA [5] na geosiatkach o jednakowej wytrzymałości na rozciąganie, wynoszącej 30 kN/m (ryc. 3). Efektywność geosiatek różniła się nawet pięciokrotnie. Geosiatki A, C i D były geosiatkami przeplatnymi, geosiatka B to geosiatka ekstrudowana o owalnym przekroju żebra. Geosiatki E i F to georuszty o sztywnych węzłach i prostokątnym przekroju żebra, przy czym wytrzymałość na rozciąganie w przypadku E była mniejsza niż wszystkich pozostałych geosiatek i wynosiła 20 kN/m.



Ryc. 3. Wpływ struktury geosiatek na efekt wzmocnienia warstwy kruszywa w badaniach w skali naturalnej [5]

Do zapewnienia odporności geotekstyliów na uszkodzenia w czasie wbudowania wystarczy spełnienie wymagań dla warstwy separacyjnej, przedstawionych w pierwszej części artykułu. W przypadku geosiatek i georusztów kluczowa jest trwałość połączenia pasm polimeru. Niektóre geosiatki ulegają rozwarstwieniu w węzłach w wyniku zagęszczania kruszywa walcami drogowymi. To, czy odporność na degradację chemiczną jest istotnym parametrem, należy ocenić indywidualnie, w przypadku konkretnego zastosowania, znając właściwości materiałów stykających się z geosyntetykiem. Odporność na promieniowanie UV powinna gwarantować możliwość składowania geosyntetyku bez pogorszenia jego parametrów.

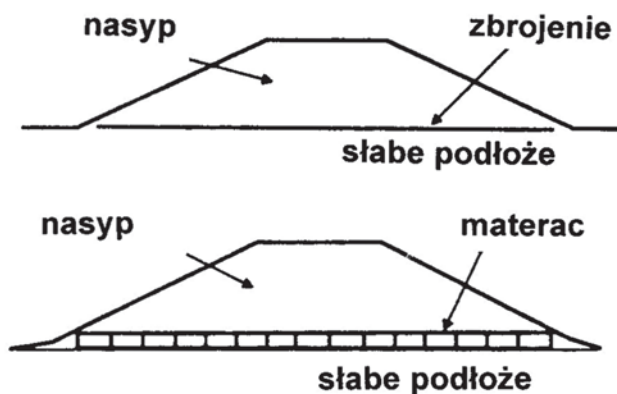
## 2. Geosyntetyk jako zbrojenie podstawy nasypu

Obecnie często wykonuje się nasypy na słabym podłożu gruntowym, wykorzystując przy tym geosyntetyki. Pozwalają one uniknąć wymiany gruntu i ograniczają stosowanie specjalnych technik wzmocnienia podłoża. Geosyntetyk lub geosyntetyki ułożone w podstawie nasypu przecinają potencjalne powierzchnie poślizgu i zapewniają zachowanie stateczności w czasie budowy nasypu, jak również umożliwiają lepsze rozłożenie nacisków na słabe podłoże.

Norma brytyjska BS 8006 [8], szeroko i szczegółowo przedstawiająca zagadnienia związane ze zbrojeniem i wzmocnieniem

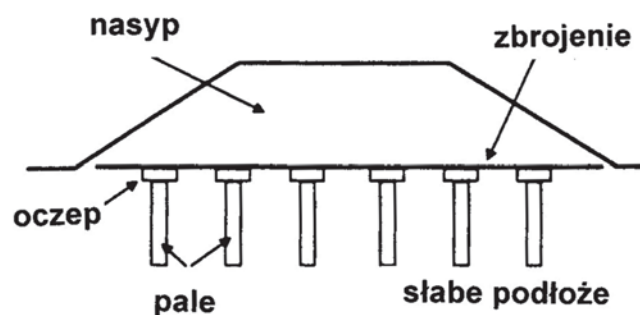
gruntu, w przypadku budowy nasypów na słabym podłożu gruntowym wyróżnia dwie kategorie rozwiązań:

- rozwiązania, w których zbrojenie geosyntetykiem zapewnia stateczność i integralność nasypu, nie wpływając na wielkość osiadań (ryc. 4); osiadania mogą być jedynie bardziej równomierne ze względu na lepsze rozłożenie nacisku na podłoże,



Ryc. 4. Schematy wzmocnienia podstawy nasypu nie wpływającego na wielkość osiadań [8]

- rozwiązania, w których geosyntetyki stanowią część systemu zapewniającego stateczność oraz zapobiegającego osiadaniom nasypu (ryc. 5).



Ryc. 5. Zbrojenie geosyntetykami w systemie zapobiegającym osiadaniom [8]

W pierwszym przypadku zbrojenie stanowi warstwa lub warstwy geosyntetyku, ułożone w podstawie nasypu. Geosyntetyk układa się na gruncie, a gdy warstw jest więcej – również na kolejnych warstwach nasypu, najczęściej w odstępie pionowym ok. 0,5 m (ryc. 6). W wyjątkowo trudnych warunkach grunto-



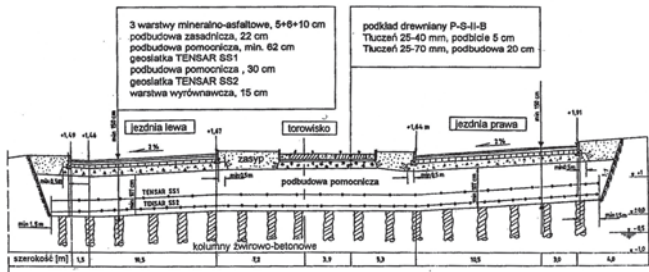
Ryc. 6. Wzmocnienie nasypu warstwami geotkaniny, fot. J. Alenowicz



Ryc. 7. Wzmocnienie podstawy nasypu matercem geokomórkowym na obojściu Grodzca, fot. J. Alenowicz

wych nasyp może być wznoszony na materacu komórkowym z georostów i kruszywa (ryc. 7).

W przypadku przedstawionym na rycinie 5 geosyntetyki umożliwiają równomierne rozłożenie obciążenia od nasypu na pale lub kolumny, które przekazują je na strop mocnej warstwy, znajdującej się pod słabym gruntem. Przeważnie wykonuje się materac z dwóch warstw geosyntetyki, oddzielonych warstwą zagęszczonego kruszywa. Przykład takiego rozwiązania przedstawiono na rycinie 8.



Ryc. 8. Wzmocnienie podłoża z zastosowaniem kolumn żwirowo-betonowych FSS i materaca z georostów na trasie W-Z w Gdańsku [9]

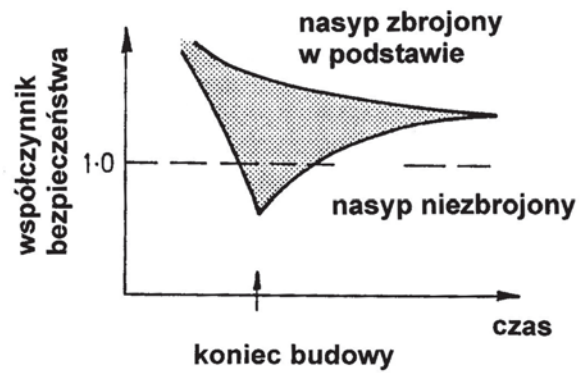
### 2.1. Wymagania

Aby geosyntetyk pełnił prawidłowo funkcję zbrojenia w podstawie nasypu, powinien charakteryzować się:

- wytrzymałością na rozciąganie, zapewniającą zachowanie stateczności nasypu z wymaganym zapasem bezpieczeństwa,
- odpornością na uszkodzenia w czasie wbudowania na nim warstwy gruntu lub kruszywa,
- trwałością – odpornością na degradację chemiczną (po wbudowaniu) i promieniowanie UV (okres składowania).

Wymaganą wytrzymałość na rozciąganie należy ocenić z uwzględnieniem parametrów słabego podłoża i procesu jego konsolidacji. Geosyntetyk pełni swoją rolę i jest konieczny tylko do zakończenia konsolidacji podłoża (ryc. 9). Po jej zakończeniu i wzmocnieniu słabego podłoża rola geosyntetyku jest niewielka, a współczynniki bezpieczeństwa podobne jak dla sytuacji, gdyby geosyntetyku nie było. Innymi słowy, parametry wytrzymałościowe i nośność podłoża po konsolidacji umożliwiałyby budowę nasypu bez stosowania zbrojenia [10, 11].

Wymagania w zakresie trwałości nie odbiegają od podanych w punkcie 2. Konieczną odporność chemiczną geosyntetyku należy określić uwzględniając właściwości materiałów z którymi się styka, w tym ich odczyn, określony wskaźnikiem pH. Jeżeli odczyn pH mieści się w przedziale od 4 do 9, wówczas grunt lub inny materiał użyty w budowie nasypu jest nieszkodliwy wobec zbrojenia. Jeżeli wartość pH wykracza poza ten przedział

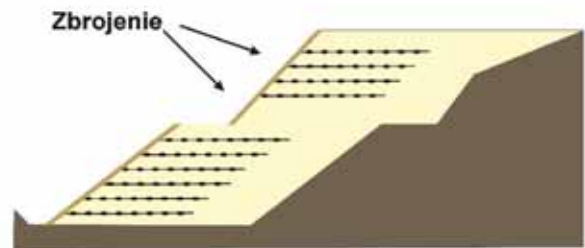


Ryc. 9. Wpływ zbrojenia geosyntetykiem na współczynnik bezpieczeństwa nasypu na słabym podłożu [10, 11]

(np. stabilizacja spoiwem hydraulicznym), wówczas określając wymagania dla zbrojenia należy ten fakt uwzględnić, dobierając odpowiedni rodzaj polimeru.

### 3. Grunt zbrojony – skarpy nasypów i ściany oporowe

Idea zbrojenia gruntu jest bardzo stara i stosowano ją już w starożytności. Nowoczesny grunt zbrojony, wykorzystujący zbrojenie taśmami stalowymi, zaproponował Vidal w latach 60. XX w. Po 1980 r. stopniowo rozwinęło się zbrojenie gruntu geosyntetykami, zyskując obecnie dużą popularność. Geosyntetyki są stosowane do zbrojenia skarp, umożliwiając ich kształtowanie z pochyleniem większym niż wynikające z wytrzymałości gruntu na ścinanie (ryc. 10). Ściany z gruntu zbrojonego (ryc. 11 i 12) często stanowią



Ryc. 10. Schemat skarpy zbrojonej geosyntetykiem, rys. J. Alenowicz



Ryc. 11. Ściana oporowa z gruntu zbrojonego z oblicowaniem z wielkowymiarowych paneli betonowych na pełną wysokość, fot. Tensar International

opłacalną alternatywę w stosunku do klasycznych sztywnych ścian oporowych z żelbetu. Różnorodność oblicowań sprawia ponadto, że konstrukcje oporowe z gruntu zbrojonego mogą być bardzo atrakcyjne pod względem architektonicznym.

Pomysł zbrojenia gruntu jest oparty na silnej interakcji, powstającej w płaszczyźnie styku gruntu i elementu zbrojącego, w tym przypadku geosyntetyku. Interakcja ta powstaje dzięki ciężarowi gruntu spoczywającego powyżej warstwy zbrojenia.



Ryc. 12. Ściana oporowa z gruntu zbrojonego z oblicowaniem z drobnowymiary-  
wych bloczków betonowych systemu Tensar Wall, fot. J. Alenowicz

W przypadku geosiatek i georusztów powstaje mechaniczne za-  
zębienie, w przypadku geotekstyliów występuje tarcie. Siły te  
uniemożliwiają przemieszczenie zbrojenia i zapewniają integral-  
ność konstrukcji.

W Europie do projektowania konstrukcji z gruntu zbrojonego  
geosyntetykami wykorzystuje się najczęściej dwie metody: bry-  
tyjską – w oparciu o BS 8006 [8] oraz niemiecką – opracowaną  
przez Niemiecki Instytut Techniki Budowlanej, uwzględniającą  
normy DIN 1054 i DIN 4017.

W Polsce brak norm i kompletnej metody, które pozwoliłyby  
projektantowi na swobodne projektowanie omawianych konstruk-  
cji. Cenne wskazówki można znaleźć w wytycznych Instytutu  
Techniki Budowlanej z 2008 r. [12]. Wytyczne mają jednak cha-  
rakter ogólny i do zaprojektowania obiektu z gruntu zbrojonego  
konieczne jest odnoszenie się również do innych źródeł. Polska  
nie jest jednak w tym względzie wyjątkiem.

Niezależnie od metody analiza stateczności konstrukcji jest  
podzielona na dwie części – analizę stateczności zewnętrznej  
oraz analizę stateczności wewnętrznej. Analiza stateczności ze-  
wnętrznej prowadzi do ustalenia minimalnej długości zbrojenia,  
wykluczającej możliwość poślizgu, wywrócenia lub utraty statecz-  
ności konstrukcji jako całości. W wyniku analizy stateczności  
wewnętrznej określa się wymaganą wytrzymałość, rozstaw pio-  
nowy i długość zbrojenia, gwarantujące zachowanie integralności  
konstrukcji i bezpieczną współpracę zbrojenia i gruntu w projek-  
towanym okresie czasu.

### 3.1. Wymagania

Prawidłowe zaprojektowanie konstrukcji z gruntu zbrojonego  
geosyntetykiem wymaga szczegółowych informacji, dotyczących  
zbrojenia. Należą do nich przede wszystkim:

- wytrzymałość geosyntetyku na rozciąganie z uwzględnie-  
niem pełzania w okresie projektowym, określona w odpo-  
wiedniej temperaturze, odpowiadającej warunkom pracy  
w konstrukcji,
- wpływ uszkodzeń w trakcie wbudowania zbrojenia i zagęsz-  
czania gruntu (kruszywa),
- wpływ oddziaływań środowiskowych,
- wpływ sposobu produkcji geosyntetyku i ekstrapolacji wy-  
ników badania pełzania.

Wytrzymałość geosyntetyku z uwzględnieniem pełzania zależy  
od surowca (polimeru) i sposobu produkcji. Zastosowanie odpo-  
wiedniej technologii produkcji pozwala znacznie podwyższyć  
wytrzymałość [12]. Dlatego wpływ pełzania należy oceniać na  
podstawie badań konkretnego wyrobu i nie można jej dokony-  
wać tylko na podstawie informacji o użytym surowcu bazowym.  
Badanie pełzania według normy ISO 13431 musi trwać minimum

10 000 godzin. Producenci wysokiej jakości geosyntetyków dys-  
ponują pełną informacją w zakresie wpływu pełzania na wytrzy-  
małość ich wyrobów i udostępniają je projektantom.

Odporność geosyntetyku na uszkodzenia w trakcie wbudowa-  
nia powinna być oceniona w próbie terenowej, z zastosowaniem  
gruntów i kruszyw o różnym uziarnieniu i ostrokrąwędzistości  
ziaren (ryc. 13). Standardową procedurę podaje BS 8006 [8] w za-  
łączniku D.



Ryc. 13. Odkopywanie próbki georusztu do oceny wpływu zagęszczania kruszy-  
wa na wytrzymałość, fot. Tensar International

Oddziaływania środowiskowe, które należy uwzględnić, to  
przede wszystkim wpływ promieniowania UV, utleniania i ewen-  
tualnie agresywności chemicznej. Czynniki te mogą powodować  
znaczny nawet spadek wytrzymałości. Wpływ promieniowania  
UV eliminuje się poprzez zastosowanie odpowiedniego dodatku  
uszlachetniającego polimer. W środowisku kwasowym lub za-  
sadowym należy stosować geosyntetyki wykonane z polimeru  
odpornego na te wpływy, np. HDPE. W kontakcie ze świeżym  
betonem nie należy stosować wyrobów poliestrowych, dla których  
maksymalna wartość pH wynosi 10.

Wpływy uszkodzeń, oddziaływań środowiskowych, jak również  
sposobu produkcji geosyntetyku i ekstrapolacji wyników badania  
pełzania bierze się pod uwagę, stosując odpowiednie współczyn-  
niki redukujące wytrzymałość z uwzględnieniem pełzania.

## 4. Specyfikacje geosyntetyków pełniących funkcję zbro- jenia

Krótką charakterystykę zastosowań geosyntetyków w budowie  
dróg, przedstawiona w podrozdziałach 1, 2 i 3 pokazuje, że cho-  
ciaż w każdym przypadku geosyntetyk pełni funkcję zbrojenia,  
to jednak sposób pracy, a przede wszystkim czas oddziaływania  
obciążenia różnią się zasadniczo. Powinno to znajdować odzwier-  
ciedlenie w specyfikacjach technicznych.

### 4.1. Zbrojenie warstwy kruszywa

W przypadku zbrojenia warstwy kruszywa w podbudowach  
nawierzchni ulepszonych geosyntetyk powinien reagować i prze-  
jmować obciążenie, krępując możliwość najmniejszych nawet prze-  
mieszczeń ziaren. W ten sposób powoduje wzrost efektywnego  
modułu odkształcenia warstwy kruszywa i nośności. Kluczowe  
jest doskonałe zakotwienie ziaren kruszywa w geosyntetyku i ta  
cecha powinna znaleźć odzwierciedlenie w specyfikacji.

Niestety, przyjęty standardowo sposób specyfikowania geosyn-  
tetyków jest oparty na określeniu minimalnej wytrzymałości na  
rozciąganie (przy zerwaniu próbki badanej bez kontaktu z grun-  
tem) jako podstawowym parametrze. Cecha ta nie odzwierciedla  
jednak efektywności zbrojenia w omawianej sytuacji, o czym  
przekonują wyniki badań przedstawione na rycinie 3. Wykazują  
one jednoznacznie, że zastosowanie różnych geosyntetyków o tej



Ryc. 14. Wpływ zbrojenia geosyntetykiem na współczynnik bezpieczeństwa skarpy [9, 10]

samej wytrzymałości na rozciąganie, zgodnie z przyjętym sposobem specyfikowania, doprowadzi do uzyskania konstrukcji różnych pod względem nośności. Projektant powinien więc określić, jako kluczowy parametr, strukturę geosyntetyku. W przypadku geosiatek oznacza to konieczność określenia co najmniej sposobu produkcji.

Obecnie pojawiła się jednak w tym względzie poważna przeszkoda. W styczniu 2009 r. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, działając w trosce o niekępowanie konkurencji, przekazała podległym jednostkom i projektantom pismo niedopuszczające m.in. do specyfikowania sposobu produkcji geosiatek. Badania wykazują, że jest to jednak bardzo istotny parametr, wpływający na efektywność zbrojenia i pozostaje mieć nadzieję, że nastąpi korekta stanowiska GDDKiA w tej sprawie. Przecież specyfikując kruszywo, piszemy „łamane” lub „żwirowe”, specyfikując cement, dodajemy „portlandzki”, „hutniczy”.

Najlepszym rozwiązaniem w przypadku zbrojenia warstw podbudowy geosyntetykiem byłoby wprowadzenie minimalnej wartości modułu odkształcenia na górze warstwy kruszywa jako wymagania specyfikacji. Przecież celem stosowania zbrojenia jest właśnie uzyskanie określonej nośności. Ten sposób specyfikowania, tzw. *performance specification*, nie da się jednak pogodzić z systemem szczegółowych specyfikacji materiałowych, stosowanym w Polsce. Jest on alternatywą dla stosowanego obecnie sposobu specyfikowania.

Błędem spotykanym niekiedy w specyfikacjach jest określanie dla zbrojenia warstwy kruszywa wymogu wytrzymałości z uwzględnieniem pełzania, niekiedy w okresie nawet 120 lat. Pełzanie występuje w geosyntetykach pod wpływem działania znacznego obciążenia w długim okresie. Tymczasem w nawierzchni mamy do czynienia z krótkotrwałymi impulsami obciążenia, a siła rozciągająca w geosyntetyku jest kilkadziesiąt razy mniejsza od jego wytrzymałości [7]. Pełzanie więc nie występuje.

#### 4.2. Nasypy, skarpy i ściany oporowe

W przypadku wymienionych konstrukcji kluczowym parametrem jest wytrzymałość geosyntetyku na rozciąganie. Specyfikując wymaganie w tym zakresie projektant powinien uwzględnić wielkość sił rozciągających i czas ich działania. W niektórych sytuacjach siły w geosyntetyku będą zredukowane wskutek skrzepowania w gruncie albo ze względu na tworzenie się przesklepień w warstwie kruszywa ułożonego powyżej. Drugie z wymienionych zjawisk może, w sprzyjających okolicznościach, dotyczyć konstrukcji na palach lub kolumnach (ryc. 5). Czas, w którym geosyntetyki są poddane obciążeniu, jest też inny w przypadku zbrojenia podstawy nasypu i konstrukcji z gruntu zbrojonego.

W przypadku konstrukcji z gruntu zbrojonego (skarpy, ściany) geosyntetyki tworzące zbrojenie są poddane stałemu obciążeniu, w całym okresie użytkowania budowli. Pokazuje to zależność

zilustrowana na rycinie 14. Zerwanie zbrojenia lub jego poślizg w gruncie skutkowałyby awarią w każdym momencie okresu użytkowania.

Porównanie z zależnościami przedstawionymi na rycinie 9 pokazuje, że okres dla którego trzeba ocenić i wyspecyfikować wytrzymałość geosyntetyku z uwzględnieniem pełzania jest różny w przypadku nasypu i skarpy (ściany). W drugim przypadku to cały okres projektowy, przyjmowany zazwyczaj na 120 lat. W przypadku nasypu silne obciążenie i ewentualne pełzanie geosyntetyku występuje w okresie budowy. Po jej zakończeniu rola geosyntetyku maleje w miarę postępu procesu konsolidacji podłoża pod nasypem.

Bardzo ważne jest, aby specyfikując wymaganą wytrzymałość geosyntetyku projektant uwzględnił wszystkie czynniki wpływające na jej redukcję. Późniejszy wybór i akceptacja geosyntetyku powinny być oparte o ocenę współczynników redukcyjnych wynikających z badań konkretnego wyrobu.

### 5. Podsumowanie

W pierwszej części artykułu, w której omówiono różne funkcje geosyntetyków, intencją autora było zwrócenie uwagi na konieczność dostosowania wymagań określanych w specyfikacjach dla geosyntetyków do pełnionych przez nie funkcji. Dobre specyfikacje powinny być ponadto kompletne i wewnętrznie spójne.

Druga część artykułu na temat zastosowań geosyntetyków w budowie dróg dotyczy jednej funkcji – zbrojącej. Pomimo że w każdej z opisanych sytuacji mamy do czynienia ze zbrojeniem gruntu lub kruszywa, wymagania, które musi spełniać geosyntetyk, nie są jednakowe. Powinno to znajdować odzwierciedlenie w doborze istotnych parametrów, które są określane w specyfikacjach technicznych.

### Literatura

1. *Use of geogrids in pavement engineering*. US Army Corps of Engineers. Washington 2003.
2. Berg R.R.: *Soil stabilization and base reinforcement*. International Geosynthetic Society, [www.geosyntheticssociety.org](http://www.geosyntheticssociety.org).
3. Holtz R.D., Christopher B.R., Berg R.R.: *Geosynthetic design and construction guidelines*. FHWA, 1998.
4. *Geosynthetics in unpaved roads*. International Geosynthetic Society, [www.geosyntheticssociety.org](http://www.geosyntheticssociety.org).
5. Webster S.L.: *Geogrid reinforced base courses for flexible pavements for light aircrafts*. Technical report GL-93-6. US Army Engineers Waterways Experiment Station. Vicksburg 1993.
6. *Dunne asfaltverhardingen: dimensionering en herontwerp*. CROW, publicatie 157, 2002 & Publicatie 189, 2005 (Holandia).
7. Judycki J.: *Rola geosiatek Tensar przy wzmacnianiu słabych podłoży gruntowych pod nawierzchniami ulepszonymi*. „Autostrady” 2005, nr 1–2.
8. *BS 8006 British Standard. Code of practice for strenghtened, reinforced soils and other fills*. BSI 1995.
9. *Konstrukcja nawierzchni Trasy W-Z w Gdańsku, przykład zastosowania nr 05*. Drotest, Gdańsk.
10. Jewell R.A.: *The mechanics of reinforced embankments on soft fills*. University of Oxford. Report no QUEL 1694, no 87.
11. *Geosynthetics in embankments on soft soils*. International Geosynthetic Society, [www.geosyntheticssociety.org](http://www.geosyntheticssociety.org).
12. *Projektowanie konstrukcji oporowych, stromych skarp i nasypów z gruntu zbrojonego geosyntetykami*. „Instrukcje, wytyczne, poradniki” 2008, nr 429 (wyd. Instytut Techniki Budowlanej w Warszawie).

W Y S O K A  
ODPORNOŚĆ  
NA ŚCIEKI !!!

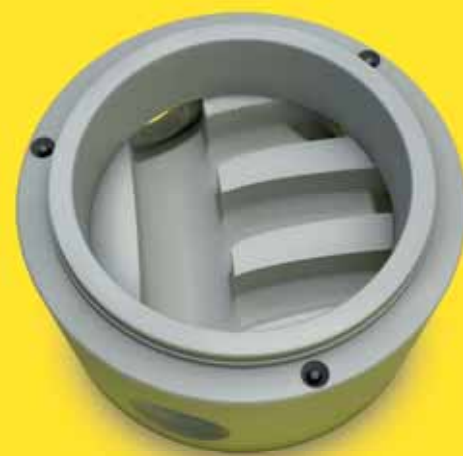


**T**RWAŁE

BETON C40/50 W KINECIE  
CEMENT SIARCZANOODPORNY  
HSR



PRODUKT  
ZGODNY Z  
PN-EN 1917



**M**ONOLITYCZNE

BETON JEDNORODNY  
W CAŁYM ELEMENCIE

## STUDNIE SZCZELNE

ZPB Kaczmarek Zakład Prusice  
Wszemirów 100, 55-110 Prusice  
tel.: sprzedaż (0-71) 720 12 55, sekretariat (0-71) 720 11 40  
fax: (0-71) 720 12 12, e-mail: prusice@zpbkaczmarek.pl

ZPB **Kaczmarek**<sup>®</sup>  
www.zpbkaczmarek.pl



**PERFECT**   
www.perfectsystem.eu