

Geosyntetyki w konstrukcjach podtorza

Zuzanna ZELEK¹

Streszczenie

W niniejszym artykule przedstawiono wyroby geosyntetyczne stosowane jako warstwy zapobiegające odkształceniom podtorza na eksploatowanych liniach kolejowych. Omówiono rodzaje produkowanych materiałów geosyntetycznych, ich charakterystyki i podstawowe zastosowania w konstrukcjach podtorza kolejowego w zależności od zaistniałego odkształcenia.

Słowa kluczowe: geosyntetyki, podtorze, odkształcenie, wzmocnienie

1. Wstęp

W geotechnice podstawowe znaczenie ma wytrzymałość gruntu podtorza oraz jego nośność i trwałość. Parametry te są szczególnie ważne przy projektowaniu, budowie i modernizacji linii kolejowych, na których podtorze i podłoże gruntowe jest poddawane ciąglemu destrukcyjnemu działaniu czynników eksploatacyjnych i środowiskowych.

Obecnie, wskutek zwiększających się szybkości pociągów i obciążeń toru, powstawanie odkształceń podtorza oraz ich rozwój w czasie eksploatacji może następować szybko. W takich warunkach eksploatacji konieczne jest zapewnienie trwałości i niezawodności podłoża drogi kolejowej. Konstrukcja podtorza powinna nie tylko zapobiegać odkształceniom i zapewnić nie tylko doraźną (aktualną) nośność podłoża, ale również gwarantować długoletnią, niezawodną eksploatację linii kolejowej w warunkach rosnących obciążeń.

Na oddziaływania i wywołane nimi odkształcenia najbardziej narażona jest górna część podtorza. Podczas eksploatacji odkształcenia mogą narastać aż do wystąpienia utraty stateczności całej budowli, co w przypadku nasypów powoduje powstawanie osuwisk. Niezawodna eksploatacja linii kolejowych wymaga, aby odkształcenia podtorza nie występowały wcale lub były możliwie małe.

Obecnie takie wymagania można spełnić, stosując w podtorzu materiały geosyntetyczne jako warstwy zapobiegające odkształceniom. Na potrzeby budowni-

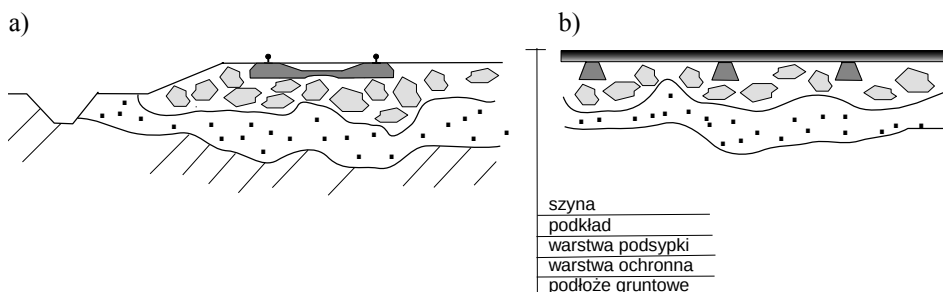
¹ Mgr; Instytut Kolejnictwa; e-mail: zzelek@ikolej.pl.

ctwa geotechnicznego są produkowane liczne materiały geosyntetyczne. Na podstawie prawidłowej oceny właściwości tych wyrobów można oszacować ich przydatność i trwałość w konkretnych projektach linii kolejowych.

2. Czynniki wpływające na nośność podtorza

Podtorze jest ośrodkiem niejednorodnym i dlatego w czasie eksploatacji odkształcenia narastają nierównomiernie i są trudne do oszacowania. Odkształcenia mogą mieć różne kształty i wymiary, największe w obszarze torowiska pod podkładami i szynami. W tej strefie następuje mieszanie się gruntu warstwy ochronnej, np. pospółki z tłuczniem. Według [7] po obciążeniu toru 20 Tg grubość gruntu wymieszanego z tłuczniem może osiągnąć 2–8 cm.

W „Warunkach technicznych Id3” [3] szczegółowo opisano wady podtorza, podając rodzaje wad, miejsca występowania, przyczyny oraz sposoby zapobiegania i usuwania. Przykład najczęściej występujących odkształceń podsypki i torowiska długo eksploatowanego podtorza przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Przykład odkształcenia podsypki i torowiska:

a) przekrój poprzeczny, b) przekrój podłużny

Wielkość odkształceń i intensywność ich narastania zależy od stanu i konstrukcji nawierzchni, nacisków osi, sztywności podkładów i natężenia przewozów, ale przede wszystkim od jakości podłoża podkładów i jego odkształcalności. W szczególności dotyczy to ośrodka gruntowego, jego nośności i trwałości, a więc od rodzaju i stanu gruntów, na których zbudowano linię kolejową. Głównymi czynnikami wpływającymi na odkształcenia podtorza i jego górnej warstwy są zmiany stanu gruntów związane ze zjawiskami fizykomechanicznymi i chemicznymi zachodzącymi w gruntach pod wpływem różnorodnych czynników klimatycznych, takich jak:

- przemarzanie i odmarzanie gruntów powodujące wysadziny i odkształcanie się górnej warstwy podtorza,

- nadmierne zawilgocenie gruntów plastycznych (pęczniejących) i mało wytrzymałych (o niewielkiej wytrzymałości na ścinanie) takich, jak: gliny, ropy, piaski gliniaste i pylaste, które pod wpływem wody mogą ulec upłynnieniu i tiksotropii,
- rozgęszczanie się i przemieszczanie gruntów drobnoziarnistych pod wpływem drgań,
- niekontrolowany przepływ wody w środowisku gruntowym, co może wywoływać podtopienia lub wypłukiwanie gruntów.

W przypadku, gdy tor jest ułożony na nasypie, wymienione czynniki mogą również wpływać na jego stateczność, na przykład po wprowadzeniu cięższego i szybszego taboru lub zwiększeniu częstości ruchu pojazdów. Może dojść do rozgęszczania się gruntu i tzw. „rozpływania się nasypu”, a także do powstania osuwisk, które mogą mieć różną wielkość i zasięg. Mogą to być tylko powierzchniowe zsuwy gruntu skarpy i wtedy wystarczy jej powierzchniowe zabezpieczenie, ale także duże deformacje związane z przesunięciem się części korpusu nasypu wzdłuż powierzchni poślizgu z całkowitą utratą jego stateczności.

Dzięki zastosowaniu warstw geosyntetycznych zapobiegających odkształceniom torowiska można uzyskać odpowiednią trwałość górnych warstw podtorza, wymaganą przy współczesnych typach pojazdów szynowych i dużym natężeniu przewozów.

3. Geosyntetyki wzmacniające podtorze

3.1. Charakterystyka geosyntetyków

Podtorze jest trudnym do naprawy i przebudowy elementem drogi kolejowej. Duża objętość robót ziemnych wpływa na pracochłonność robót oraz wymaga zastosowania odpowiedniego sprzętu i technologii wykonania. Ponadto roboty naprawcze wymagają zaprojektowania odpowiedniego rozwiązania konstrukcyjnego na podstawie badań i pomiarów terenowych. Wszystkie te czynniki wpływają na czas, koszt i jakość robót naprawczych [6].

Zastosowanie geosyntetyków w budowie i naprawach podtorza ogranicza niekorzystne zjawiska występujące w podtorzu. Na przykład geosyntetyki do stabilizacji podbudowy torowej redukują grubość warstwy nośnej lub warstwy ochronnej, a więc zmniejszają zużycie tradycyjnych materiałów (tj. kruszywa łamanego lub pospółki) i obniżają koszty budowy (np. koszty transportu, czas wykonawstwa robót, zużycie energii itp.), a jednocześnie zwiększają niezawodność, trwałość i właściwości eksploatacyjne kolejowych budowli ziemnych. Na przykład, jeżeli wymagana grubość warstwy ochronnej z kruszywa łamanego powinna wy-

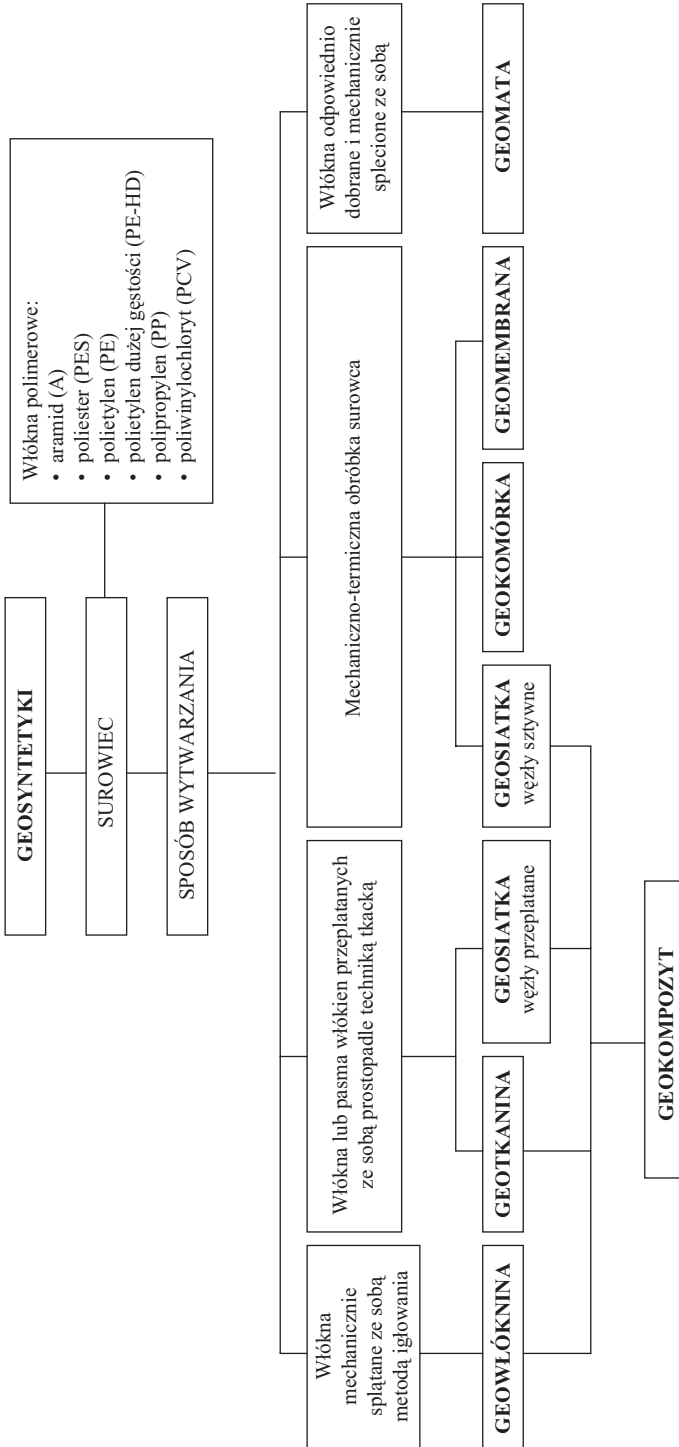
nieść 50 cm, to stosując wzmocnienie na przykład geosiatką, minimalna grubość warstwy zmniejszy się do 20 cm, co pozwala zaoszczędzić materiały na warstwę o grubości 30 cm [8].

Geosyntetyki są to płaskie i rozwijalne wyroby polimerowe o ściśle określonych parametrach mechanicznych, chemicznych i hydraulicznych. Charakteryzują się następującymi właściwościami użytkowymi:

- niewielką grubością i małą masą na jednostkę powierzchni; są zatem łatwe do wbudowania,
- dużą porowatością i szorstką teksturą; ułatwia to dobrą współpracę z gruntem i kruszywem,
- małą wytrzymałością na zginanie i znacznym wydłużeniem, co powoduje właściwe dopasowanie się do kształtu podłoża budowli ziemnej,
- wysoką wytrzymałością na rozciąganie, rozdarcie i przebicie,
- dobrą odpornością na ścieranie,
- wysoką odpornością na działanie środowiska naturalnego, tj. na czynniki atmosferyczne, drobnoustroje, owady, korozję,
- wysoką odpornością na działanie większości czynników chemicznych, jak kwasów, zasad, olejów i paliw płynnych; są ekologiczne,
- doskonałą odpornością na starzenie się (duża trwałość użytkowa); są trwałe i praktycznie niezniszczalne.

3.2. Rodzaje geosyntetyków i ich funkcje

Cechy geosyntetyków i ich właściwości użytkowe zależą od surowców zastosowanych do ich wytwarzania oraz od zastosowanej technologii produkcji, stanowiącej o strukturze wyrobu. Do zastosowań geotechnicznych są produkowane materiały geosyntetyczne przeznaczone do kontaktu z gruntem i skałami. Rodzaje geosyntetyków stosowanych do budowy podtorza kolejowego przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Geosyntetyki możliwe do zastosowania w podtorzu

Każdy wyrób geosyntetyczny spełnia określoną funkcję w środowisku gruntowym i dlatego powinien być odpowiednio stosowany (tablica 1).

Tablica 1

Zastosowanie geosyntetyków w geotechnice

Rodzaj geosyntetyku	Zastosowanie	Pełnione funkcje
Geowłóknina	<ul style="list-style-type: none"> – Warstwy oddzielająco-filtracyjne w konstrukcjach nawierzchni drogowej i kolejowej; oddzielanie spoiстых gruntów podłoża od warstwy z kruszywa mineralnego, w celu zabezpieczenia kruszywa przed przenikaniem drobnych cząstek gruntu podłoża i zagłębianiem się ziaren kruszywa w podłoże, – warstwy oddzielająco-filtracyjne dla sączków kamiennych przy zabezpieczaniu osuwisk, – ochrona systemów odwadniających przed zamulaniem (kolmatacją) i częściowy drenaż budowli ziemnej, 	<ul style="list-style-type: none"> – oddzielanie (separacja), – filtrowanie, – wzmacnianie,
Geosiatka	<ul style="list-style-type: none"> – warstwy zbrojące podbudowy z kruszywa w celu zwiększenia trwałości; zaklinowanie ziaren kruszywa w oczkach geosiatki powoduje ograniczenie bocznych przemieszczeń i lepszy rozkład obciążeń w podbudowie, dzięki czemu możliwe jest zwiększenie wartości dopuszczalnych obciążeń, – zbrojenie skarp; zabezpieczanie osuwisk skarp i zbczy, – wzmocnienie podłoży nasypów posadowionych na słabych gruntach; 	<ul style="list-style-type: none"> – zbrojenie, – ochranianie,
Geotkanina	<ul style="list-style-type: none"> – oddzielanie warstw konstrukcyjnych podtorza, – zwiększanie nośności podłoża (wzmocnienie i zbrojenie gruntów), – filtracja i odprowadzenie wód, 	<ul style="list-style-type: none"> – oddzielanie, – filtrowanie, – chrnianie, – zbrojenie,
Geokomórka (geokrata)	<ul style="list-style-type: none"> – zapewnienie stateczności skarp 	<ul style="list-style-type: none"> – wzmacnianie, – ochranianie,
Geomembrana	<ul style="list-style-type: none"> – uszczelnianie denne i otaczające grobli, rowów, – zabezpieczanie skarp rzecznych (zbiorników wodnych) przed erozją wywołaną przepływami, 	<ul style="list-style-type: none"> – izolowanie,
Geomata	<ul style="list-style-type: none"> – pokrycie skarp nasypów, – zapobieganie erozji powierzchniowej. 	<ul style="list-style-type: none"> – ochranianie, – wzmacnianie,
Geokompozyt	<p>W zależności od rodzaju kompozytu, np.:</p> <ul style="list-style-type: none"> – geowłóknina i geosiatka, – geowłóknina i geotkanina. 	<ul style="list-style-type: none"> – wzmacnianie, – oddzielanie, – drenowanie.

3.3. Opis poszczególnych typów geosyntetyków

Geowłókniny są to geosyntetyki z włókien polipropylenowych lub poliestrowych. Charakteryzują się dużą giętkością, sprężystością, porowatością i wodoprzepuszczalnością. Najczęściej są stosowane w podtorzu kolejowym jako warstwy

oddzielająco-filtracyjne, które mają za zadanie szybkie filtrowanie wody i odprowadzanie jej poza torowisko, jak również oddzielanie drobnych cząstek gruntu w celu przeciwdziałania ich migracji do warstw bardziej porowatych. Warstwy oddzielająco-filtracyjne są układane:

- na szerokości torowiska pod warstwą ochronną,
- do wzmacniania słabonośnego podłoża pod nasypami,
- poza torowiskiem, jako filtry w systemach odwadniających.

Geosiatki są to geosyntetyki wytwarzane z różnych surowców (np. PP, PE, PES) i różnymi technologiami. Charakteryzują się dużymi wytrzymałościami na rozciąganie, wysoką sztywnością i małą rozciągliwością (< 20%) oraz zdolnością zazębienia się z kruszywem. Właściwości te sprawiają, że geosiatki są wykorzystywane jako warstwy zbrojące budowli ziemnych. W inżynierii kolejowej są stosowane do:

- wzmacniania i zbrojenia torowisk,
- wzmacniania słabonośnych podłoży nasypów,
- wzmacniania skarp i zboczy budowli ziemnych.

Geotkaniny są to geosyntetyki wytwarzane metodą tkacką z włókien lub pasm włókien polipropylenowych, poliestrowych lub polietylenowych. Charakteryzują się dużą porowatością, wysoką wytrzymałością na rozciąganie i niską rozciągliwością. Łączą właściwości geowłóknin i geosiatek. Nadają się na warstwy wzmacniające i seperacyjne.

Geokomórki (geosiatki komórkowe, geokraty) są to wyroby przestrzenne (o trójwymiarowym systemie ograniczającym), uformowane na kształt „plastra miodu”. System trójwymiarowy pozwala zamknąć materiał niespoisty, np. piasek lub żwir w środku geokomórki, co uniemożliwia jego przemieszczanie się. Najczęściej są stosowane do:

- wzmacniania i zabezpieczania skarp kolejowych budowli ziemnych i przyczółków mostowych,
- wzmacniania podłoży dróg dojazdowych oraz placów magazynowych,
- w szczególnych przypadkach do wzmacniania torowisk.

Geomembrany są to nieprzepuszczalne wyroby izolacyjne, stosowane w celu zatrzymania wody i różnych substancji płynnych. Na liniach kolejowych są stosowane jako przesłony hydroizolacyjne do uszczelniania:

- rowów bocznych i odcinających rowów stokowych,
- powierzchni skarp nasypów w rejonie sztucznych i naturalnych zbiorników wodnych.

Geomaty są to wyroby płaskie (geowłóknina bardzo porowata, biogeowłóknina) lub przestrzenne (siatka), służące do powierzchniowego zabezpieczenia skarp przed erozją.

Geokompozyty są połączeniem różnych rodzajów geosyntetyków. Ze względu na konstrukcję i pełnione funkcje można je podzielić na:

- wzmacniająco-seperacyjne: geowłókniny połączone z elementem wzmacniającym, np. geosiatką lub geotkaniną,
- drenażowe: siatka przestrzenna połączona z jednej lub z dwóch stron geowłókniną filtracyjną,
- drenażowo-uszczelniające: siatka przestrzenna połączona z jednej strony geowłókniną filtracyjną, a z drugiej geomembraną,
- maty przeciwoerozyjne: maty przestrzenne wzmocnione geosiatką, stosowane do zabezpieczenia wyższych i stromych skarp.

4. Konstrukcje podtorza z zastosowaniem geosyntetyków

4.1. Zasady wbudowania

Szeroki zakres możliwości wzmacniania podłoża gruntowego geosyntetykami umożliwia optymalny ich dobór w konkretnych projektach w zależności od istniejących warunków gruntowo-wodnych, rodzaju budowli ziemnej oraz zaistniałego odkształcenia.

W podtorzu, geosyntetyki są stosowane w trzech obszarach: do wzmocnienia i stabilizacji podbudowy, do odwodnienia i do zabezpieczenia skarp budowli ziemnych. W każdym przypadku zastosowania, podstawą stosowania musi być projekt materiałowo-konstrukcyjny [9] uwzględniający:

- uziarnienie gruntu lub wbudowywanego kruszywa,
- miejscowe warunki geotechniczne i eksploatacyjne,
- lokalizację istniejących i przewidywanych urządzeń podziemnych,
- zasady projektowania,
- wymagania określone w normie PN-EN 13250:2002 [5] i „Warunkach Technicznych Id3” [3].

Wbudowanie materiału geosyntetycznego nie może stwarzać trudności w utrzymaniu nawierzchni kolejowej przy użyciu typowych maszyn torowych oraz budowie i konserwacji urządzeń podziemnych.

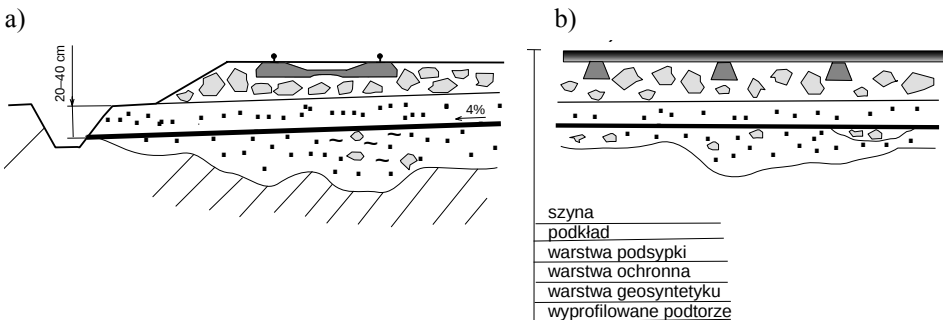
4.2. Schematy konstrukcji podtorza

Wzmacnianie torowisk

Do wzmocnień torowisk stosuje się geowłókniny, geosiatki i geotkaniny. Każdy materiał geosyntetyczny spełnia inne zadania:

- geowłóknina odwadnia i oddziela warstwy gruntowe,
- geosiatka wzmacnia (zbroi) podtorze,
- geotkanina w zależności od parametrów może spełniać wszystkie trzy funkcje jednocześnie, tj.: oddzielać, wzmacniać i odwadniać.

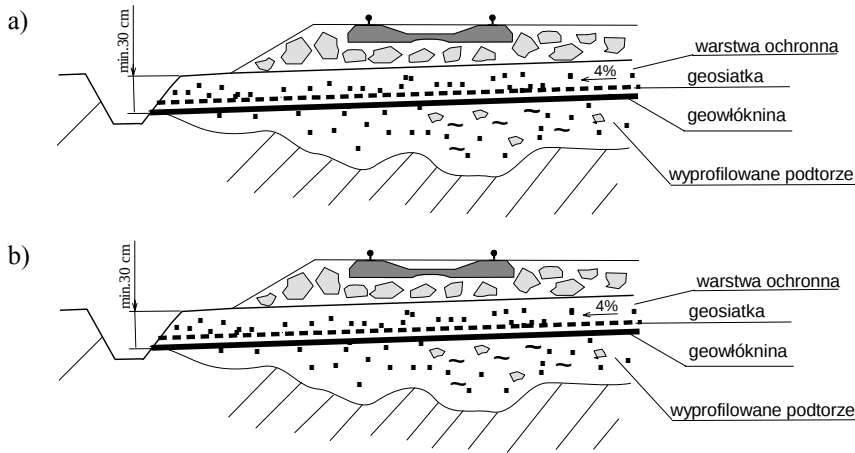
Rodzaj stosowanego wyrobu w konkretnych przypadkach określa projektant. Najczęściej w konstrukcjach podtorza projektuje się jedną warstwę nośną (warstwa ochronna) wzmocnioną od spodu jedną warstwą geosyntetyku (rys. 3), przy czym ze względów technologicznych, maksymalna grubość warstwy ochronnej nie może przekroczyć 50 cm.



Rys. 3. Przykład wzmocnionego podtorza z zastosowaniem jednej warstwy geosyntetyku: a) przekrój poprzeczny, b) przekrój podłużny

W przypadku występowania na odcinku drogi kolejowej gorszych warunków gruntowo-wodnych w podtorzu, można zastosować dwie warstwy geosyntetyku; są to:

1. Geowłóknina układana bezpośrednio na wyprofilowanym i zagęszczonym torowisku, a na niej geosiatka z jedną warstwą ochronną i zbrojącą (rys. 4a),
2. Dwie warstwy zbrojące (rys. 4b). Doświadczenie wykazało, że minimalna grubość warstwy zbrojonej powinna wynosić 30 cm [1]. Na przykład, jeżeli projekt przewiduje warstwę nośną o grubości 45 cm, to pierwsza warstwa zbrojona powinna mieć grubość 30 cm, a druga 15 cm.



Rys. 4. Przekrój poprzeczny wzmocnionego podtorza, z zastosowaniem:
a) podwójnej warstwy geosyntetyku, b) podwójnego zbrojenia

Wymagane parametry geosyntetyków rozdzielająco-filtracyjnych układanych pod warstwą ochronną przedstawiono w tabelcy 2, w tabelcy 3 zaś parametry geosyntetyków zbrojących (geosiatka, geotkanina).

Tabelca 2

Wymagane właściwości geosyntetyków rozdzielająco-filtracyjnych

Właściwość	Metoda badawcza	Wartość wymagana
Masa powierzchniowa	PN-EN ISO 9864	$\geq 250 \text{ g/m}^2$
Wytrzymałość na przebicie statyczne (badanie CBR)	PN-EN ISO 12236	$\geq 2 \text{ kN}$
Wytrzymałość na przebicie dynamiczne (średnica otworu)	PN-EN ISO 13433	$\leq 20 \text{ mm}$
Wytrzymałość na rozciąganie	PN ISO 10319	$\geq 16 \text{ kN/m}$
Wydłużenie przy zerwaniu	PN ISO 10319	50–100 %
Wodoprzepuszczalność w kierunku prostopadłym do powierzchni wyrobu	PN-EN ISO 11058	$\geq 1 \times 10^{-4} \text{ m/s}^{1)}$ $\geq 5 \times 10^{-4} \text{ m/s}^{2)}$
Zdolność przepływu wody w płaszczyźnie wyrobu przy nacisku 20 kPa	PN-EN ISO 12958	$\geq 5 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}^{2)}$
Wielkość porów O_{90}	PN-EN ISO 2956	0,06–0,2 mm ³⁾
Grubość przy nacisku 20 kPa	PN-EN ISO 9863-2	$\geq 15 \times O_{90}$

¹⁾ Dotyczy materiału do oddzielania (separacji) warstw gruntowych,

²⁾ dotyczy materiału do oddzielania i poprzecznego odprowadzania wód,

³⁾ ze względu na kolmatację zaleca się stosować materiały o wymiarach porów:

- 0,06–0,12 mm w gruntach spoistych,
- 0,08–0,20 mm w gruntach niespoistych.

Tablica 3

Wymagane właściwości geosyntetyków zbrojących torowisko

Właściwość	Metoda badawcza	Wartość wymagana
Rodzaj geosyntetyku	–	Według projektu: • geosiatka, • geotkanina.
Wytrzymałość na zrywanie ¹⁾	PN ISO 10319	≥ 20 kN/m
Maksymalne wydłużenie przy zerwaniu w poprzek	PN ISO 10319	≤ 20 %
Wymiary oczek ²⁾	Pomiar bezpośredni	≥ 1,7 d ₈₀ kruszywa

¹⁾ Stosunek wytrzymałości na zrywanie w obu kierunkach powinien być mniejszy od 1:1,25,

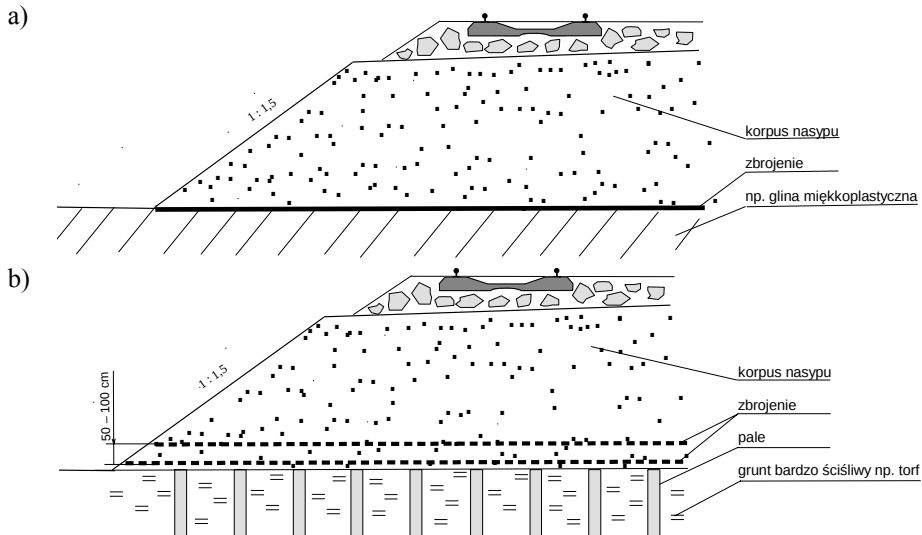
²⁾ dotyczy geosiatek dwuosioowych; przyjmuje się w przedziale 20–70 mm.

Wzmacnianie nasypów i skarp

Sposób wzmacniania nasypów zależy od rodzaju powstałego odkształcenia wynikającego z:

- posadowienia nasypu na słabonośnym podłożu (grunty organiczno-mineralne lub spoiste miękkoplastyczne), powodującego np. „rozpływanie” się skarp lub „zatapianie nasypu”,
- zmniejszenia się wytrzymałości gruntów korpusu nasypów lub skarp przekopów i powstawania osuwisk na skutek zachodzących w nich procesów fizykochemicznych lub zbyt dużego nachylenia skarp.

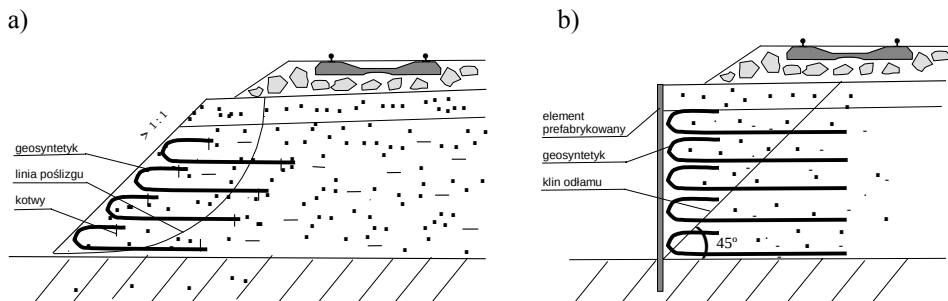
Geosyntetyk spełniający funkcję zbrojenia równomiernie rozkłada naprężenia i ogranicza odkształcenia budowli i podłoża. Zwiększenie ogólnej stateczności nasypu polega na wzmocnieniu (uzbrojeniu) jego podłoża. Zbrojenie może być jednowarstwowe lub wielowarstwowe w zależności od warunków gruntowo-wodnych. Przy zbrojeniu wielowarstwowym grubość warstwy zbrojonej powinna wynosić 50–100 cm [4]. Wybrane przykłady wzmocnienia słabonośnego podłoża nasypów przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Przykłady wzmocnienia słabonośnego podłoża w przypadku posadowienia nasypu: a) na gruntach spoiwystych miękkoelastycznych, b) na palach [4]

W przypadku konieczności wzmocnienia skarp projektuje się warstwowe zbrojenie skarp, przy czym zakotwienie materiału zbrojącego (geosyntetyku) powinno być umieszczone poza linią poślizgu w skarpach pochyłych (rys. 6a) lub poza klinem odłamu w skarpach stromych (rys. 6b). Geosyntetyki stosowane do zbrojenia powinny charakteryzować się wysokimi parametrami wytrzymałościowymi, takimi jak:

- dużą wytrzymałością na zrywanie $R_{zr} \geq 20 \text{ kN/m}$,
- małą rozciągliwością $\varepsilon \leq 20\%$.



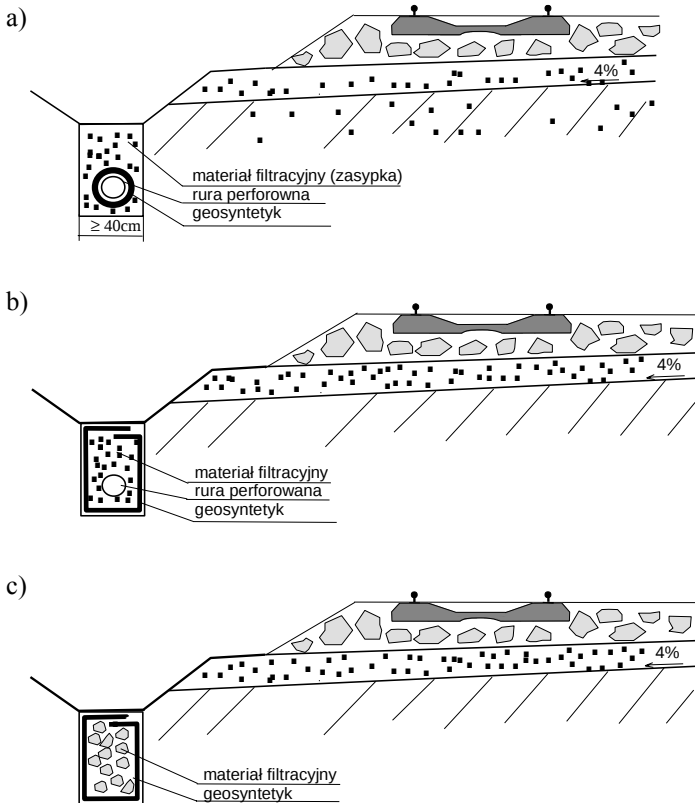
Rys. 6. Wzmacnianie skarp: a) o pochyleniu $> 45^\circ$,
 b) stromych o pochyleniu $80-90^\circ$

Systemy odwadniające podtorze

Materiały geosyntetyczne działające jako filtry w systemach odwadniających (rys. 7) zatrzymują drobne cząstki gruntu niesione wraz z wodą i dlatego powinny charakteryzować się odpowiednią porowatością:

- mieć pory dostatecznie małe, aby zatrzymać drobne cząstki, a jednocześnie:
- być dostatecznie przepuszczalne, by nie hamować przepływu wody.

Materiały geosyntetyczne działające jako filtry stosuje się w gruntach różnoziarnistych i niejednorodnych, gdy na styku gruntu z zasypką nie jest spełniony warunek stabilności mechanicznej (filtracji).



Rys. 7. Przekroje poprzeczne systemów odwadniających podtorze [3]:

- a) drenaż rurowy; zasypka nie spełnia wymagań na styku z drenażem,
 b) drenaż rurowy; zasypka nie spełnia wymagań na styku z gruntem podtorza,
 c) drenaż kamienny (francuski)

Wymagane parametry geosyntetyków filtracyjnych układanych w systemach odwadniających poza torowiskiem przedstawiono w tablicy 4.

Tablica 4

Wymagane właściwości geosyntetyków filtracyjnych

Właściwość	Metoda badawcza	Wartość wymagana
Masa powierzchniowa	PN-EN ISO 9864	$\geq 150 \text{ g/m}^2$ ¹⁾
Wytrzymałość na przebicie statyczne (badanie CBR)	PN-EN ISO 12236	$\geq 1,5 \text{ kN}$
Wytrzymałość na rozciąganie	PN ISO 10319	$\geq 4 \text{ kN/m}$
Wodoprzepuszczalność w kierunku prostopadłym do powierzchni wyrobu przy nacisku 20 kPa	PN-EN ISO 11058	$\geq 1 \times 10^{-3} \text{ m/s}$
Wielkość porów O_{90}	PN-EN ISO 2956	0,06–0,15 mm ²⁾
Grubość przy nacisku 20 kPa	PN-EN ISO 9863-2	$\geq 10 \times O_{90}$

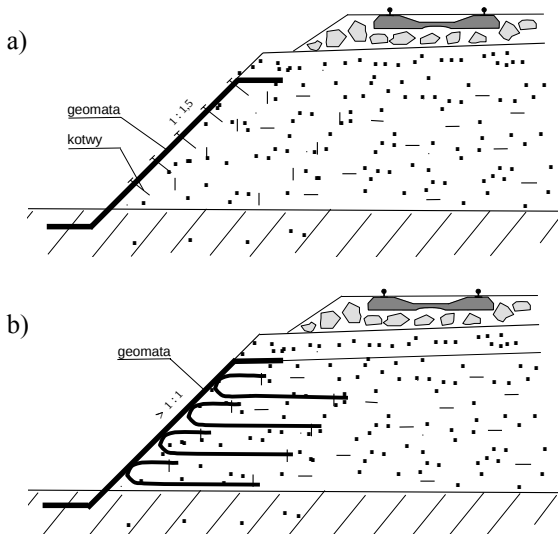
¹⁾ Ze względów ekonomicznych masa powierzchniowa nie powinna być większa od 250 g/m²,

²⁾ ze względu na kolmatację zaleca się stosować materiały o wymiarach porów:

- 0,06–0,12 mm w gruntach drobnoziarnistych,
- 0,08–0,15 mm w gruntach o grubszym uziarnieniu.

Powierzchniowe zabezpieczanie skarp

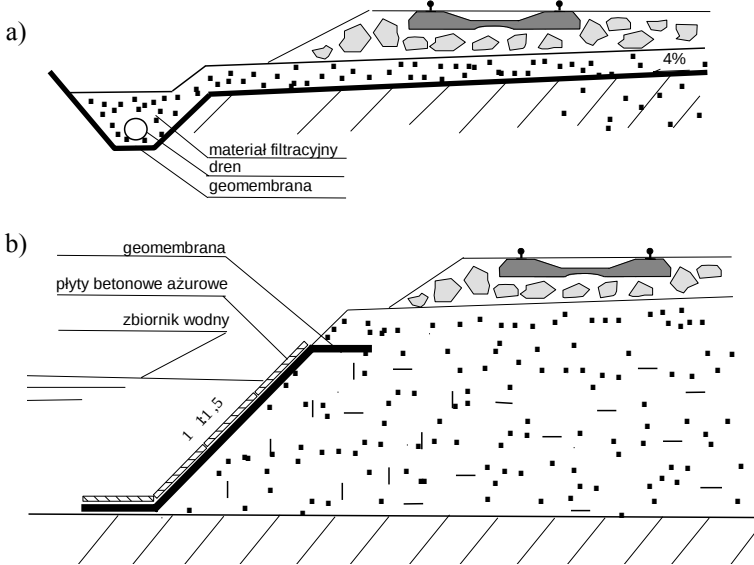
Do powierzchniowego zabezpieczania skarp przed erozją (rys. 8) stosuje się specjalnie skonstruowane geomaty (biomaty), geokompozyty, a także geosyntetyczne wyroby komórkowe. Materiały te powinny być układane na całej powierzchni skarpy i przymocowane do niej odpowiednimi szpilami. Skarpa powinna być stabilna.



Rys. 8. Ochrona skarp przed erozją powierzchniową skarp:
a) nieuzbrojonych,
b) uzbrojonych

Hydroizolacja podtorza

Hydroizolacja ma na celu całkowitą izolację powierzchni skarpy w celu zabezpieczenia przed przenikaniem wody do środowiska gruntowego. Przeważnie stosuje się ją do zabezpieczania skarpy stykających się ze zbiornikiem wody, przy czym pokrycie skarpy materiałem izolującym powinno być wykonane przynajmniej do poziomu najwyższej wody (rys. 9).



Rys. 9. Hydroizolacja: a) torowiska [2], b) skarpy

Hydroizolacja torowisk jest stosowana w szczególnych przypadkach, np. w celu zabezpieczenia wód mineralnych przed zanieczyszczeniem powodowanym przez eksploatację linii kolejowej przebiegającej przez rejony uzdrowiskowe bogate w wody źródłano-mineralne [2].

5. Podsumowanie

1. Współczesne materiały geosyntetyczne zapewniają odpowiednią trwałość i niezawodność kolejowych budowli ziemnych w warunkach intensywnej eksploatacji, przeciwdziałając powstawaniu odkształceń torowiska i osuwisk nasypów.
2. Każdy materiał geosyntetyczny, który ma wymagane właściwości użytkowe, powinien być stosowany odpowiednio do funkcji, którą może spełniać.

Literatura

1. *Geotekstylia*, Poradnik projektanta, LOTRAK, 1996.
2. *GEOTEXTILES-GEOMEMBRANES*, Rencontres 97, organisé par le Comité Français des Géosynthétiques. Remis (51) 8–9 octobre 1997 r.
3. *Id3. Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego*, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Warszawa 2008.
4. *Materiały pomocnicze dla projektowania konstrukcji inżynierskich z gruntów zbrojonych materiałami geosyntetycznymi*, HUSKER INORA, Wydano z okazji seminarium „Komputerowe wspomaganie obliczeń geotechnicznych” zorganizowanego przez Instytut Techniki Budowlanej w Warszawie w dniu 16 marca 2001 r.
5. PN-EN 13250:2002/A1:2005: *Geotekstylia i wyroby pokrewne. Właściwości wymagane w odniesieniu do wyrobów stosowanych do budowy dróg kolejowych*.
6. Skrzyński E., Sikora R.: *Kolejowe budowle ziemne*, Tom I, *Utrzymanie i naprawy*. WKŁ, Warszawa, 1990.
7. Ulianow J.: *Trebowanija k uplotneniju pierwsogo sloja ballastnoj prizmy*, *Transportnoje Stroitelstwo*, 1972, nr 8.
8. *Zastosowanie geosiatek TENSAR w konstrukcjach nawierzchni drogowych*, Biuro Inżynierii Drogowej DROTEST, Gdańsk, 1998.
9. Zelek Z.: *Projektowanie warstw ochronnych i podłoży kolejowych budowli ziemnych wzmocnionych geotekstylami*, *Problemy Kolejnictwa*, 2002, zeszyt 129.