

Zastosowanie georusztów do stabilizacji podtorza w rejonie skrzyżowań

Jacek Kawalec

Artykuł opisuje wykorzystanie georusztów do funkcji stabilizacji kruszywa w podtorzu kolejowym. Podana jest klasyfikacja funkcji geosyntetyków. Omówiono mechanizm stabilizacji warstwy kruszywa niezwiązanych. Podano przykład eksperymentu, którego wyniki wskazują na poprawę komfortu odczuwanego przez podróżnych w przypadku zastosowania georusztów w miejscach skrzyżowań z obiektami infrastruktury. Artykuł omawia aktualne uwarunkowania formalno-prawne stosowania georusztów w kolejach na tle rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011.



Dr inż.
Jacek Kawalec
Politechnika Śląska,
Wydział Budownictwa,
Katedra Geotechniki
e-mail: jacek.kawalec@polsl.pl

Wstęp

Zastosowania geosyntetyków w budownictwie kolejowym stają się coraz powszechniejsze. Jest wiele aplikacji, w których te nowoczesne materiały techniczne potwierdzają swoją przydatność [1, 3]. Najczęściej stosowanymi geosyntetykami pozostają jednak wciąż geowłókniny o funkcji separacyjnej. W niniejszym artykule podane są podstawowe różnice w funkcjach poszczególnych geosyntetyków i szerzej omówiona jest możliwość wykorzystania georusztów o funkcji stabilizacyjnej do poprawy pracy nawierzchni kolejowej. Zastosowania takie są bowiem coraz częściej spotykane w rozwiązaniach projektowych [5], stąd też wynika konieczność pewnego uporządkowania klasyfikacji i wskazania na mechanizm odpowiadający za funkcję stabilizacji.

Różne funkcje geosyntetyków

Geosyntetyki mają bardzo szerokie zastosowanie wynikające z wielu funkcji do jakich mogą być użyte. W literaturze występują następujące funkcje:

- Separacja – funkcją geosyntetyku jest odseparowanie od siebie dwóch warstw różniących się od siebie uziarnieniem. Najbardziej nadają się do tego materiały o ciągłej strukturze produkowane w formie arkuszy, a więc geowłókniny. Kompozyt dowolnego innego materiału geosyntetycznego połączony z geowłókniną również pełnić będzie funkcję separacyjną. Funkcja separacyjna obejmuje zarówno zapobieganie migracji drobnych
- częstek w wyniku przepływu (np. zmiana poziomów wód gruntowych) jak i od działających dynamicznych (tzw. pompowane drobnych frakcji w wyniku cyklicznych obciążeń dynamicznych),
- Filtracja – funkcją geosyntetyku jest umożliwienie przepływu wody przy równoczesnym zatrzymaniu drobnych frakcji niesionych przez wodę. Największe zastosowanie mają w układach drenażowych oraz budownictwie wodnym,
- Izolacja – geosyntetyk spełnia głównie rolę względnie nieprzepuszczalnej bariery dla płynów i gazów. Zastosowanie tutaj mają geomembrany, geokompozyty powstałe z połączenia geotekstylów i cienkich membran oraz geosyntetyczne bariery ilowe (tzw. GCL z ang. **Geosynthetic Clay Liner**),
- Zabezpieczenie przed erozją – funkcją geosyntetyku jest ograniczenie procesu erozji powierzchni poddanych działaniu czynników atmosferycznych oraz wód płynących. Geosyntetyki w tej funkcji noszą nazwę mat geosyntetycznych. Mogą różnić się trwałością, począwszy od biodegradowalnych w krótkim czasie, których funkcja zanika wraz ze wzrostem roślinności do trwałych, których skuteczne działanie pożądanym jest w całym okresie użytkowania określonej budowli,
- Zbrojenie – funkcją geosyntetyku jest nadanie warstwie gruntu będącej z nim w interakcji wytrzymałości na rozciąganie. Interakcja z gruntem może odbywać się poprzez przenikanie ziaren lub mobilizację sił tarcia i zależy od indywidualnych właściwości geosyntetyku. Np. w przypadku geotekstyliów interakcja możliwa jest wyłącznie poprzez mobilizację sił tarcia na powierzchni styku, a jej wartość rośnie wraz ze wzrostem odkształcenia w gruncie. Funkcja zbrojeniowa jest wykorzystywana w aplikacjach polegających na formowaniu stromych skarp czy budowie ścian oporowych z gruntu, w tym również ścian pionowych oraz przyczółków mostowych,

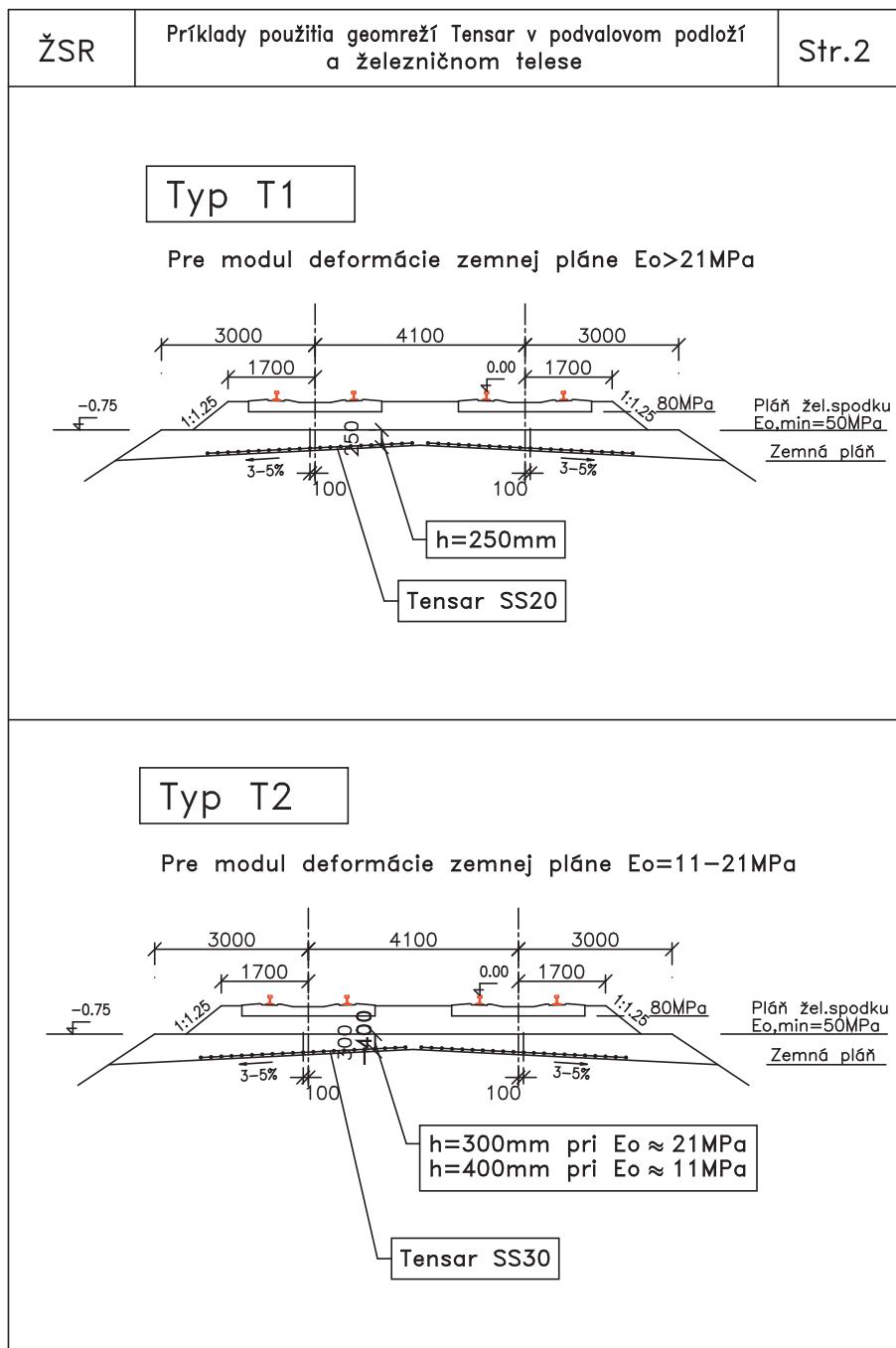
- Stabilizacja – funkcją geosyntetyku jest ograniczenie możliwości przemieszczenia ziaren zaklinowanych w jego oczkach. Skuteczność stabilizacji związana jest ze sztywnością geosyntetyku w płaszczyźnie kontaktu z ziarnami gruntu. W praktyce do funkcji stabilizacji mają zastosowanie jedynie georuszty, co wynika w dużym stopniu z ich monolitycznej struktury.

Charakterystyka georusztów

Georuszty powstają w wyniku wybiecia siatki niewielkich otworów w monolitycznej płycie polimerowej, a następnie jej rozciąganiu w wysokiej temperaturze aż do momentu uzyskania docelowej wielkości otworów (oczek) oraz zorientowania struktury molekularnej materiału. Wyrób powstały w ten sposób charakteryzuje się brakiem jakichkolwiek połączeń (tzw. integralnością lub monolitycznością struktury) oraz dużą sztywnością w płaszczyźnie. Grubość węzłów jest większa od grubości żeber, a obie wymienione grubości są zdecydowanie większe od grubości geosiatek plecionych i zgrzewanych. Kształt oczek może być prostokątny, kwadratowy lub trójkątny. Wstępują dwa typy georusztów: jednokierunkowe, wykonane z polietylenu wysokiej gęstości (HDPE) oraz wielokierunkowe wykonane z polipropylenu (PP) o odrębnym przeznaczeniu. Georuszty jednokierunkowe z HDPE pełnią funkcje zbrojeniowe i mają zastosowanie np. w konstrukcjach oporowych, a wielokierunkowe (wieloosiowe) georuszty z PP pełnią funkcję stabilizacyjną i w kolejnictwie przeznaczone są do stabilizacji kruszywa warstwy ochronnej oraz kruszywa podsypki.

Mechanizm pracy georusztu w konstrukcji kolejowej

Sztywność materiału skutkująca zwiększeniem skrępowania bocznego ziaren powoduje polepszenie odporności na ścinanie



1. Príkladové konstrukcie T1 i T2 stosovane przez koleje słowackie

Tłumaczenie tekstu z języka słowackiego:

ŽSR - Koleje słowackie

Przykłady wykorzystania georusztów Tensor w warstwie ochronnej i podsypce kolejowej

Typ T1 - dla modułu odkształcenia na powierzchni robót ziemnych $E_o > 21 \text{MPa}$

Plan żel. spodku - Poziom warstwy ochronnej $E_o = 50 \text{MPa}$

Zemna plan - góra robót ziemnych

Typ T2 - dla modułu odkształcenia na powierzchni robót ziemnych $E_o = 11 - 21 \text{MPa}$

Plan żel. spodku - Poziom warstwy ochronnej $E_o = 50 \text{MPa}$

Zemna plan - powierzchnia robót ziemnych

warstwy kruszywa stabilizowanego georusztem i jest podstawowym mechanizmem polepszającym rozkład obciążenia przekazywanego wzmocnianemu podłożu [4].

W przypadku zastosowań w nawierzchni kolejowej możliwe są trzy podstawowe rodzaje zastosowań:

- Stabilizacja warstwy ochronnej
- Stabilizacja podsypki tłuczniowej

- Stabilizacja warstwy ochronnej i podsypki tłuczniowej

Stabilizacja warstwy ochronnej:

Stabilizacja warstwy ochronnej związana jest z występowaniem pod nią warstwy o niekorzystnych parametrach nośności. Zastosowanie georusztu pozwala podwyższenie nośności podłoża pod konstrukcją lub na zmniejszenie grubości kruszywa w stosunku

do grubości bez georusztu, przy uzyskaniu tych samych parametrów nośności na górze warstwy ochronnej. Wspomniana redukcja grubości może sięgać do 50%, choć każdorazowo wymaga indywidualnej analizy. Częstszym zastosowaniem jest wymóg uzyskania odpowiednich parametrów nośności. Przy bardzo słabej nośności gruntów w podłożu czasem konieczne jest zastosowanie układów wielowarstwowych. Dobrym przykładem mogą być koleje słowackie, które w swoich wytycznych odwołują się do czterech typowych konstrukcji wzmocnienia podłoża wykorzystujących georuszty – konstrukcje T1, T2, T3 i T4 (rys. 1 i 2)

Stabilizacja podsypki tłuczniowej:

Zastosowanie georusztów do stabilizacji warstwy podsypki związane jest z redukcją prędkości przyrostu deformacji (odkształcenia plastycznego) powstającej w warstwie ochronnej w wyniku oddziaływania cyklicznych obciążeń dynamicznych. Na ogół deformacja ta objawia się nieregularnym osiadaniami toru i pogarszaniem jego geometrii w planie. Badaniami wpływu georusztu na redukcję osiadania i tym samym niezbędnych zabiegów utrzymaniowych zajmował się Uniwersytet w Nottingham (Wielka Brytania). Publikowane prace wykazują wzrost ilości cykli obciążeniowych o współczynnik 2,5 po zastosowaniu georusztu. Zastosowanie georusztu jest np. w Wielkiej Brytanii jednym ze standardowych rozwiązań dla racjonalizacji kosztów utrzymania linii.

Stabilizacja warstwy ochronnej i podsypki tłuczniowej:

Równoczesna stabilizacja warstwy ochronnej i podsypki tłuczniowej jest rozwiązaniem rzadko stosowanym w praktyce, choć teoretycznie jak najbardziej możliwym. Georuszt w każdej z warstw pełni bowiem odrębną rolę, pozwalając an wzrost nośności (warstwa ochronna) i wydłużenie okresów pomiędzy podbijaniami (podsypka). Oczywiście każda z warstw wymaga zastosowania innego rodzaju georusztu, o wielkości oczek dostosowanej do wielkości uziarnienia kruszywa w danej warstwie

Wpływ georusztu stabilizującego kruszywo na komfort podróży

Kilka lat temu holenderskie biuro inżynierskie Pro-Rail przeprowadziło eksperyment mający odpowiedzieć czy, a jeśli tak, to w jaki sposób zastosowanie georusztu może wpłynąć na odczucia pasażerów [8]. Postanowiono dokonać pomiarów parametrów odczuwalnych przez pasażerów przy różnych rozwiązaniach konstrukcyjnych w rejonie przejścia linii nad obiektem mostowym. Pomiarzy prowadzono dla dwóch

zakresów ugięcia toru 25mm i 50 mm (ang. residual settlement) oraz dla dwóch prędkości 140km/h i 200km/h na dwóch rozwiązaniach konstrukcyjnych. Pierwsze rozwiązanie było klasycznym przejściem przez obiekt, w drugim rozwiązaniu zastosowano georuszty stabilizujące kruszywo w warstwie za płytą przejściową (patrz rys. 3). Analiza dotyczyła parametru przyspieszenia kół pociągu (ang. wheel acceleration) oraz przyspieszeń samego pociągu (ang. train suport acceleration). Ten ostatni parametr jest wykorzystywany do oceny komfortu podróży pasażerów. Z obliczeń zgodnych z modelem Cambridge wykonanych przez Pro-Rail wynika, iż parametr świadczący o komforcie podróży dla prędkości 200km/h dla konstrukcji stabilizowanej georusztem jest zbliżony do wartości tego parametru dla konstrukcji bez georusztu przy prędkości przejazdu 140km/h (tab. 1).

Doświadczenie wykonane przez Pro-Rail pokazuje więc, iż georuszt zastosowany do stabilizacji kruszywa w podtorzu ma duży wpływ na poprawę odczuwania komfortu przez podróżnych. W analizowanym przypadku pozwalał on zwiększyć prędkość przejazdu bez odczuwania negatywnych skutków przez pasażerów. W odwrotnej sytuacji można założyć, iż poprawne zastosowanie georusztów w podtorzu może zmniejszyć konieczność ograniczania prędkości w obszarach skrzyżowań, choć należałoby taką tezę zweryfikować doświadczalnie.

Uwarunkowania formalno-prawne dotyczące zastosowania georusztów w konstrukcjach kolejowych

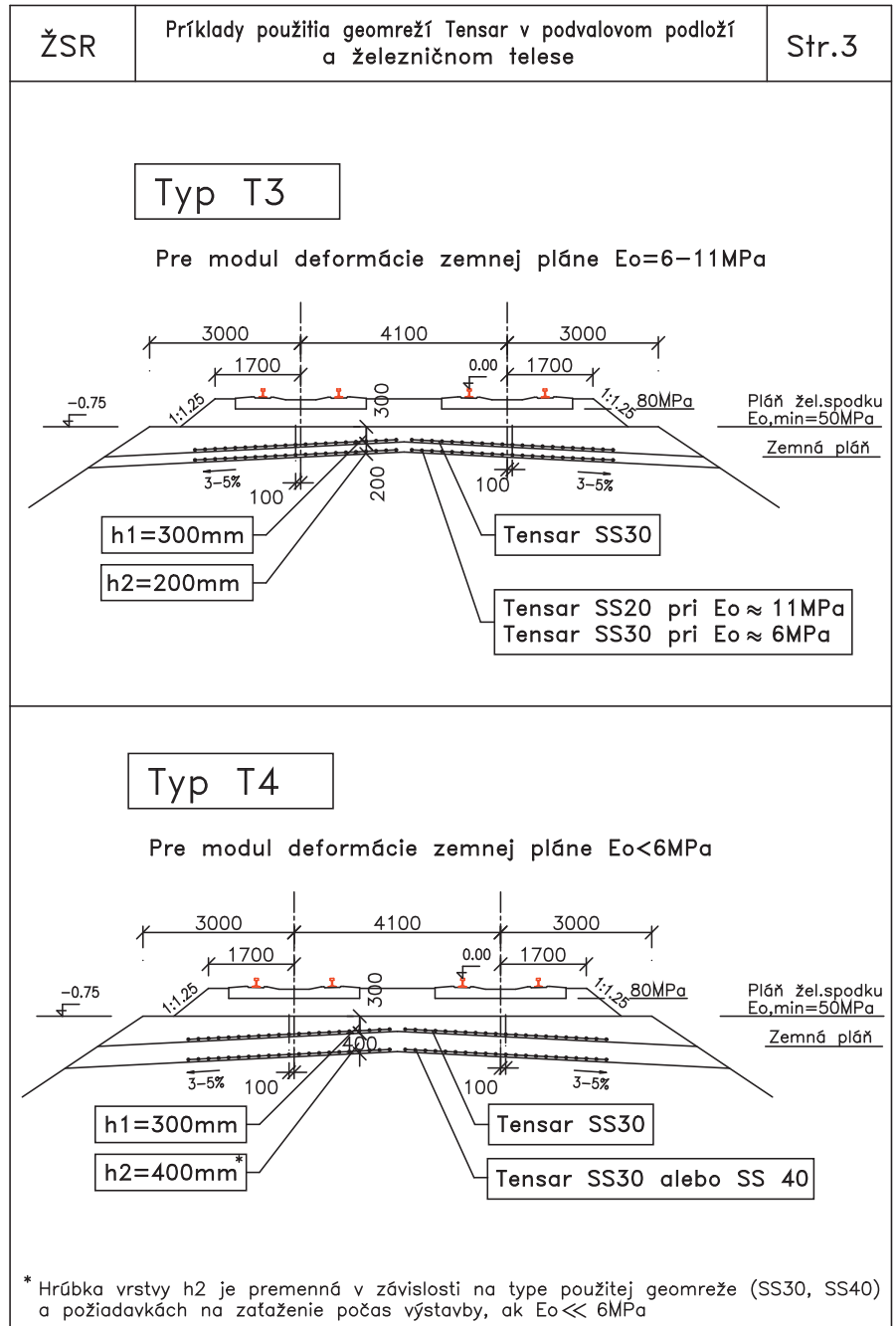
Wejście w życie z dniem 1 lipca 2013 Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 [9] ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG powoduje, iż dotychczasowa „dowolność” specyfikowania geosyntetyków będzie znacznie ograniczona. Rozporządzenie to w praktyce wymaga zastosowania dla celów specyfikacji tylko parametrów opisanych w normie zharmonizowanej lub w europejskim dokumencie oceny.

W przypadku georusztów pracujących w funkcji stabilizacji dokumentem odniesienia jest to europejski dokument oceny, opracowany dla funkcji stabilizacji. W roku 2012 opracowano dokument Technical Report TR041/2012 dla nie-zbrojonych georusztów heksagonalnych dla funkcji stabilizacji niezwiązanych warstw kruszywa uzyskiwanej drogą ząbienia ziaren [2]. Ten raport techniczny jest podstawą dla wydawania Europejskich Aprobatach Technicznych.

Wg ETA 12/0530 [7] georuszty przeznaczone do stabilizowania kruszyw niezwiązanych są przeznaczone do minimalizacji deformacji w warstwach kruszyw obciążonych ruchem, zwiększania nośności warstw oraz wydłużania projektowanego okresu wykorzystania warstwy kruszywa w drogach, kolejach i innych obszarach obciążonych ruchem. Zgodnie z zapisami Europejskiej

Aprobatach Technicznych parametrami wymaganymi od georusztów dla stabilizacji w przypadku ich specyfikowania są [6]:

- Szytywność radialna przy odkształceniu 0,5% [kN/m],
- Współczynnik izotropii szytywności [-],
- Efektywność węzła [%],
- Wymiar średni heksagonalnego kształtu georuszt [mm].



2. Príkladové konstrukcie T3 i T4 stosovane przez koleje słowackie

Tłumaczenie tekstu z języka słowackiego:

ŽSR - Koleje słowackie

Przykłady wykorzystania georusztów Tensar w warstwie ochronnej i podsypce kolejowej

Typ T3 - dla modułu odkształcenia na powierzchni robót ziemnych $E_o=6-11\text{MPa}$

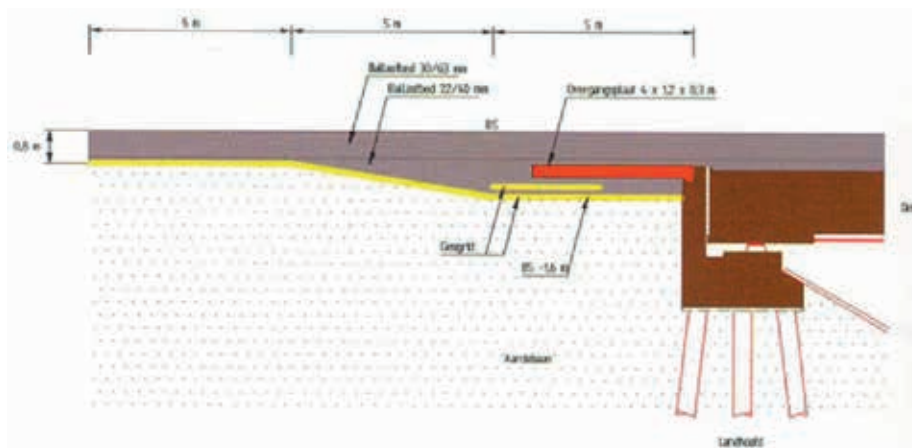
Plan żel. spodku - Poziom warstwy ochronnej $E_o=50\text{MPa}$

Zemna plan - góra robót ziemnych

Typ T2 - dla modułu odkształcenia na powierzchni robót ziemnych $E_o < 6\text{MPa}$

Plan żel. spodku - Poziom warstwy ochronnej $E_o=50\text{MPa}$

Zemna plan - powierzchnia robót ziemnych



3. Przekrój przejścia szlaku nad obiektem z zastosowaniem georusztów stabilizujących kruszywo
Tłumaczenie z języka holenderskiego (od góry)
 kruszywo 30/63mm
 kruszywo 22/40mm
 płyta przejściowa 4x1,2x0,3m
 płyta pomostowa
 Georuszt

Podsumowanie

W świetle zmieniających się przepisów, wygaśnięcia Dyrektywy Europejskiej i zastąpienia jej Rozporządzeniem [9] zachodzi konieczność weryfikacji specyfikacji materiałów budowlanych stosowanych w kolejnictwie. W przypadku georusztów pracujących w funkcji stabilizacji tradycyjne podejście wytrzymałościowe, tzn. specyfikowanie wytrzymałości na rozciąganie jest niezgodne z rozporządzeniem po 1.07.2013.

Specyfikowanie georusztów dla celów stabilizacji wymaga świadomości różnic w funkcjach geosyntetyków, tutaj w praktyce krajowej niestety dominuje „zbrojenio-

we” podejście do geosyntetyków, skutkujące specyfikowaniem nieistotnych dla danej funkcji parametrów technicznych. Problem ten, opisany w artykule na przykładzie rozwiązań dla skrzyżowań, jest bardzo istotny również dla wzmocnienia podtorza w obszarach poza skrzyżowaniami.

Autor ma nadzieję, że artykuł pozwoli na lepsze usystematyzowanie różnic w funkcjach poszczególnych geosyntetyków i w efekcie na poprawne specyfikowanie parametrów odpowiednio dla funkcji. W świetle Rozporządzenia [9] specyfikacje muszą się odnosić do funkcji i tym samym dla funkcji objętych normami zharmonizowanymi charakterystyki muszą odpowiada-

dać charakterystykom opisanym w normie a przy braku normy charakterystyki muszą odpowiadać ETA. ◀

Materiały źródłowe:

- [1] Brown S.: Geogrid Reinforcement of Railway Ballast. Nottingham Centre for Pavement Engineering, University of Nottingham, 2006.
- [2] European Organization for Technical Approvals, CUAP 01.02/10; Non-reinforcing hexagonal geogrid for the stabilization of unbound granular layers by way of interlock with the aggregate, EOTA Technical Report 041, October 2012
- [3] Giroud J. An assessment of the use of geogrids in unpaved roads and unpaved areas. Jubilee Symposium on Polymer Geogrid Reinforcement. Identifying the Direction of Future Research, ICE, London, 8th September 2009.
- [4] Kawalec J. :Stabilizacja podłoża z wykorzystaniem georusztów. Inżynieria Morska i Geotechnika nr 4/2010, str. 522-530.
- [5] Kawalec J. Możliwości wykorzystania georusztów dla celów racjonalizacji kosztów budowy i utrzymania infrastruktury kolejowej. Nowoczesne technologie i systemy zarządzania w transporcie szynowym. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczypospolitej Polskiej oddział w Krakowie, seria Materiały Konferencyjne, nr 3(99)/2012, str. 191-202.
- [6] Kawalec J.: Georuszty w geotechnice XXI wieku . XXVIII Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Wisła, WPPK 2013 Tom I, str. 213-226.
- [7] Kiwa Nederland B.V. Europejska Aprobaty Techniczna ETA 12/0530. Niezbrojeniowy georuszt z heksagonalnym układem oczek służący do stabilizacji warstw kruszyw niezwiązanych poprzez zazębienie ziaren kruszywa. Kiwa K76041, 2012.
- [8] Pro-Rail, Netherlands, Experimental test on influence of geogrid on railway crossing, Prezentacja z raportu badawczego. Seminarium: Technologie Tensar w budowie i utrzymaniu linii kolejowych PLK Warszawa, 20 luty 2007.
- [9] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EW z dnia 9 marca 2011, Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 88 z 4.4.2011.

Tab. 1 Wyniki eksperymentu Pro-Rail pokazujące wpływ georusztu stabilizującego kruszywo w podtorzu na komfort pasażerów

	Trwałe ugięcie [mm]	Prędkość pociągu (projektowa) [km/h]	Przyspieszenie koła [m/s ²]	Przyspieszenie pociągu [m/s ²]
Standartowa konstrukcja przejazdu (bez georusztu)	25	140	4,0	0,48
		200	8,2	0,58
	50	140	7,7	0,93
		200	16,0	1,37
Alternatywna konstrukcja przejazdu (bez georusztu)	20	140	2,5	0,38
		200	5,3	0,47
	50	140	5,0	0,74
		200	10,4	0,94