

# Odkształcalność górnej strefy podtorza z geowłókniną

## Deformability of the upper zone of railroad subgrade with geotextiles



**Michał Pawłowski**

Dr inż.

Zakład Budowy Mostów i Dróg Kolejowych, Instytut Inżynierii Lądowej, Politechnika Poznańska

Michal.pawlowski@put.poznan.pl

**Streszczenie:** W artykule podjęto próbę oszacowania wpływu wbudowanej geowłókniny separacyjnej w górną strefę podtorza na jego odkształcalność. Wyznaczono naprężenia pionowe w podłożu warstwy ochronnej o różnych grubościach pochodzące od obciążenia próbnego i eksploatacyjnego. Przeanalizowano wpływ zmian grubości dwóch wybranych geowłóknin na wyniki pomiarów odkształcalności podtorza. Na podstawie przeprowadzonej analiz sformułowano praktyczne wnioski.

**Słowa kluczowe:** Podtorze kolejowe; Badania stanu odkształcenia; Geowłóknina

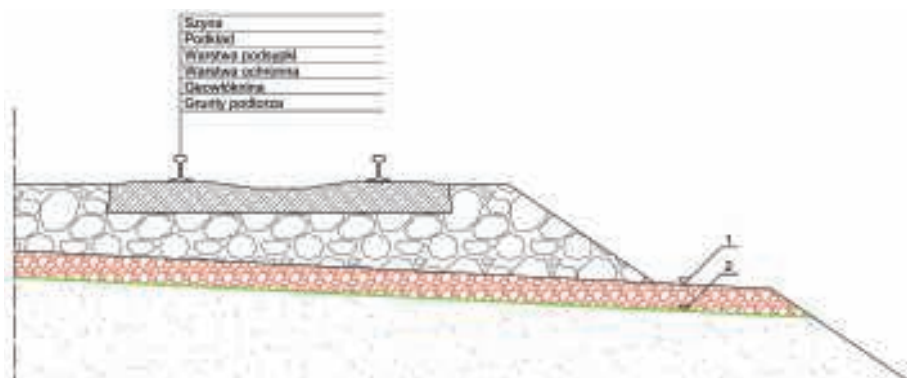
**Abstract:** The aim of this article is to estimate the influence of the separation geotextile, placed in the upper zone of railroad subgrade, on the deformability of the subgrade. Vertical stresses in the subgrade of protective layer of different thickness, due to the test and operational loads, were determined. The influence of the variations in two different geotextiles' thickness on the stiffness measurements of railroad subgrade was examined. Practical conclusions were formulated on the basis of conducted analysis

**Keywords:** Subgrade; Investigation of deflected state; Measurement uncertainties

W trakcie realizacji prac modernizacyjnych lub naprawczych podtorza zdarza się, że wykonawcy, mimo realizowania zadań zgodnie ze sztuką budowlaną, napotykać trudności z przygotowaniem podtorza charakteryzującego się wymaganymi wartościami modułów wtórnego odkształcenia mierzonych na torowisku. Sytuacja taka ma miejsce zwłaszcza w przypadkach gdy w konstrukcji górnej strefy podtorza znajdują się geowłókniny separacyjne i separacyjno-drenujące. Przyczynę takiego stanu rzeczy upatruje się w zmianie grubości geowłóknin pod obciążeniem [2]. Jako środek zaradczy na, wyznaczaną w próbnym obciążeniu, zbyt dużą odkształcalność przebudowanego podtorza zawierającego geowłókniny proponuje się, dla takich przypadków konstrukcji podtorza, modyfikację sposobu wymiarowania warstw ochronnych lub liberali-

zacji wymagań odbiorczych [2,3,4]. Wprowadzenie w życie sugerowanych metod może: wymagać użycia grubszych warstw ochronnych i w efekcie prowadzić do stosowania droższej konstrukcji wzmacniającej lub być przyczyną znacznego skomplikowania badań odbiorczych i w zależności od lokalnych warunków gruntowo-wodnych powodować, że przebudowane podtorze charakteryzować się będzie zwiększoną odkształcalnością. Celowym zatem wydaje się poszukiwanie innych roz-

wiązań umożliwiających aplikację geowłóknin w górnej strefie podtorza tak by w rezultacie było one zgodne z wymaganiami i trwałe. Jednym z nich może być zastosowanie materiału (geowłókniny) o odpowiednich właściwościach umożliwiających realizowanie przez niego założonych funkcji i jednocześnie gwarantujących uzyskanie konstrukcji podtorza spełniającej wymagania odbiorcze.



1. Przekrój poprzeczny wzmocnionego podtorza z zastosowaniem geowłókniny

**Tab. 1.** Wymagane parametry geowłóknin separacyjno-filtracyjnych układanych pod warstwą ochronną [6,12]

Właściwość	Metoda badawcza	Wartość wymagana
masa powierzchniowa	PN-EN ISO 9864	≥ 250 g/m <sup>2</sup>
wytrzymałość na przebicie statyczne	PN-EN ISO 12236	≥ 2,0 kN
wytrzymałość na przebicie dynamiczne (średnica otworu)	PN-EN ISO 13433	≤ 20 mm
wytrzymałość na rozciąganie	PN-EN ISO 10319	≥ 16 kN/m
wydłużenie przy zerwaniu		50-100 %
wodoprzepuszczalność w kierunku prostopadłym do powierzchni wyrobu	PN-EN ISO 11058	≥ 1 x 10 <sup>-4</sup> m/s (separacja) ≥ 5 x 10 <sup>-4</sup> m/s (odprowadzenie wód)
Zdolność przepływu wody w płaszczyźnie wyrobu przy nacisku 20 kPa	PN-EN ISO 12958	≥ 5 x 10 <sup>-4</sup> m/s (odprowadzenie wód)
wielkość porów $O_{90}$	PN-EN ISO 12956	0,06 – 0,12 mm (g. spoiste) 0,08 – 0,20 mm (g. niespoiste)
grubość przy nacisku 20 kPa	PN-EN ISO 9863-2	≥ 15 x $O_{90}$ mm

**Tab. 2.** Wartości naprężeń pionowych w podtorzu od obciążenia eksploatacyjnego i okrągłą płytą sztywną o średnicy 0,3 m

Głębokość od torowiska (rys. 1, poziom 1) [m]	Naprężenia pionowe w podtorzu od obciążenia [kPa]				$\Delta p = p_2 - p_1$ [kPa]
	eksploatacyjnego	okrągłą płytą sztywną o obciążeniu [kPa]			
		p1 - 100	p2 - 250	pmax - 350	
0,15	119,8	50,0	125,0	175,0	75,0
0,20	109,6	41,0	102,6	143,6	61,6
0,25	101,0	32,7	81,7	114,4	49,0
0,30	93,6	26,0	65,0	91,0	39,0
0,35	87,2	20,9	52,2	73,0	31,3
0,40	81,7	17,0	42,4	59,4	25,4
0,45	77,0	14,0	35,0	49,0	21,0
0,50	72,8	11,7	29,3	41,0	17,6
0,55	69,2	9,9	24,8	34,7	14,9
0,60	66,0	8,5	21,2	29,7	12,7

## Geowłókniny w górnej strefie podtorza

Geowłókniny są to produkty tekstylne wytwarzane z włókien poliestrowych (PES) lub polipropylenowych (PP) metodą łączenia mechanicznego (igłowanie lub przesywanie), termicznego (zgrzewanie) lub chemicznego (klejenie) [1]. W górnej strefie podtorza geowłókniny układane są na całej szerokości torowiska pod warstwą ochronną (rys. 1) i stosuje się głównie po to by pełniły funkcję separacyjną, filtracyjną lub drenażową. Dobór parametrów geowłóknin powinien być uzależniony od ich przeznaczenia i funkcji jakie mają spełniać, gdyż, w zależności od rodzaju zastosowanych włókien i procesu wytwarzania, przy jednakowych masach powierzchniowych,

geowłókniny charakteryzują się odmiennymi właściwościami - wytrzymałością mechaniczną, porowatością i wodoprzepuszczalnością [1]. Podstawowe wymagania dla geowłóknin separacyjno-filtracyjnych układanych pod warstwami ochronnymi torowiska [6,12] przedstawiono w tabeli 1.

## Pomiary odkształcalności podtorza

Odkształcalność podtorza określana jest w trakcie jego próbnego obciążenia. Aparatura badawcza składa się z: stalowej sztywnej płyty o średnicy 300 mm, dźwignika hydraulicznego zasilanego ręczną pompą olejową z manometrem, czujników przemieszczeń oraz statywu stanowiącego poziom odniesienia. Podczas badania

wykonuje się dwa cykle obciążenia i odciążenia płyty. Obciążenia płyty realizuje się stopniowo po 0,05 MPa aż do uzyskania obciążenia maksymalnego ( $p_{max}$ ). Odciążenie wykonuje się stopniowo po 0,10 MPa. Wartości obciążenia maksymalnego oraz przedziału obciążenia ( $\Delta p$ ), z którego wyznacza się moduły odkształcenia uzależnione są od rodzaju badanego podłoża. W wyniku badania określa się wartości pierwotnego modułu odkształcenia ( $E_1$ ) z pierwszego obciążenia i wtórnego modułu odkształcenia ( $E_2$ ) z drugiego obciążenia [6]:

$$E_{1,2} = 0,75 \cdot \frac{\Delta p}{\Delta y} \cdot D \quad (1),$$

gdzie:  $E_{1,2}$  – pierwotny (1) i wtórny (2) moduł odkształcenia [MPa],  $\Delta p$  – przedział obciążenia [MPa],  $\Delta y$  – różnica osiadań płyty w przyjętym przedziale obciążenia [mm],  $D$  – średnica płyty pomiarowej [mm]

## Naprężenia w podtorzu

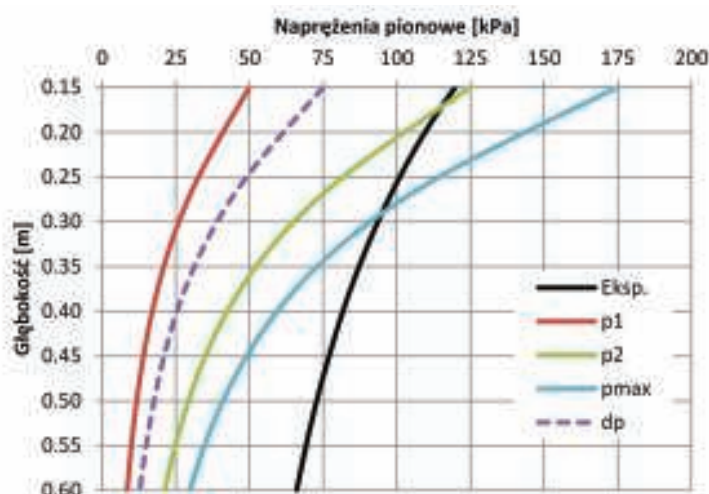
W celu określenia jakim naciskom podlega wbudowana w podtorzu geowłóknina wyznaczono naprężenia pionowe w podtorzu od obciążenia eksploatacyjnego i okrągłą płytą sztywną. Obliczenia wykonano traktując podtorze z warstwą ochronną jako półprzestrzeń, ograniczoną od góry torowiskiem, rozciągającą się nieskończenie głęboko. Przy wyznaczaniu naprężeń od obciążeń zewnętrznych przyjęto, że podtorze jest sprężyste (liniowo-odkształcalne), izotropowe i jednorodne. Naprężenia wyznaczono od głębokości 0,15m poniżej torowiska - od spągu warstwy ochronnej o minimalnej grubości 0,15 m (rys. 1, poziom 2) - jako minimalnej głębokości wbudowania geowłókniny.

Analizę stanu naprężeń pionowych pod podkładami kolejowymi, od obciążenia eksploatacyjnego dokonano, zgodnie z algorytmem obliczeniowym zaprezentowanym w [10], dla toru z szyn UIC60 na pod-

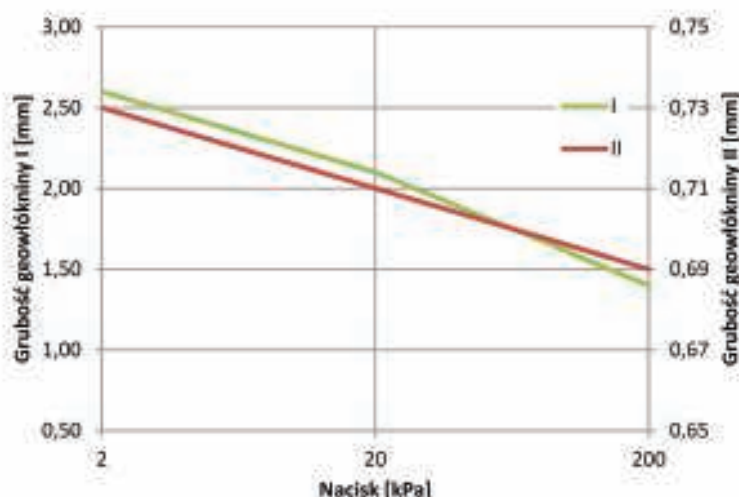
kładach drewnianych I/B w rozstawie 0,60 m. Tor obciążono zestawem 4 nacisków osiowych o wartości 250 kN każdy, w rozstawie 1,6 m (model 71) [8]. Naciski podkładów na podsypkę obliczono metodą belki ciągłej spoczywającej na sprężystym podłożu z zastosowaniem współczynnika zwiększającego obciążenie  $\alpha = 1,1$ , współczynnika podatności podłoża  $50 \text{ N/cm}^3$  oraz wpływu nacisków podkładów sąsiednich. Obliczone wartości naprężeń pionowych w podtorzu od obciążenia eksploatacyjnego zestawiono w tabeli 2 i zaprezentowano na rysunku 2.

Naprężenia pionowe w podtorzu od obciążenia okrągłą płytą sztywną wyznaczono zgodnie ze schematem obliczeniowym przedstawionym w [9]. W analizie przyjęto, na podstawie [6], jak dla podłoża wzmocnionego, obciążenia płyty próbnej:  $p_1 = 0,10 \text{ MPa}$  i  $p_2 = 0,25 \text{ MPa}$  oraz  $p_{\max} = 0,35 \text{ MPa}$ . Obliczone wartości naprężeń pionowych w podtorzu od obciążenia płytą zestawiono w tabeli 2 i zaprezentowano na rysunku 2.

Na podstawie analizy naprężeń pionowych w podtorzu, od obciążenia eksploatacyjnego i okrągłą płytą sztywną o średnicy 0,3 m (tab. 2. i rys. 2), można stwierdzić, że wartości nacisków przekazywanych na geowłókninę wbudowaną pod warstwą ochronną (rys. 1) uzależnione są od grubości tej warstwy. Im grubość warstwy ochronnej jest większa tym naciski przekazywane na geowłókninę są mniejsze. Przy grubości warstwy ochronnej w zakresie od 0,15 m do 0,30 m maksymalne naciski wywierane na geowłókninę w trakcie próbnych obciążeń są większe od nacisków pochodzących od obciążenia eksploatacyjnego. Przy większej grubości warstwy ochronnej naciski na geowłókninę od obciążenia eksploatacyjnego są większe od nacisków wywieranych w trakcie próbnych obciążeń. Ważne z uwagi na wyniki pomiarów odkształcalności podtorza różnice pomiędzy naprężeniami zakresu obciążenia jednostkowego ( $p_2 -$



2. Stan naprężeń pionowych w podtorzu od obciążenia eksploatacyjnego i okrągłą płytą sztywną o średnicy 0,3 m (obciążenie płyty:  $p_1 - 0,1 \text{ MPa}$ ,  $p_2 - 0,25 \text{ MPa}$ ,  $p_{\max} - 0,35 \text{ MPa}$ ) oraz przyrost obciążenia jednostkowego w zakresie  $dp = p_2 - p_1$



3. Zależność grubości od nacisku wybranych geowłóknin

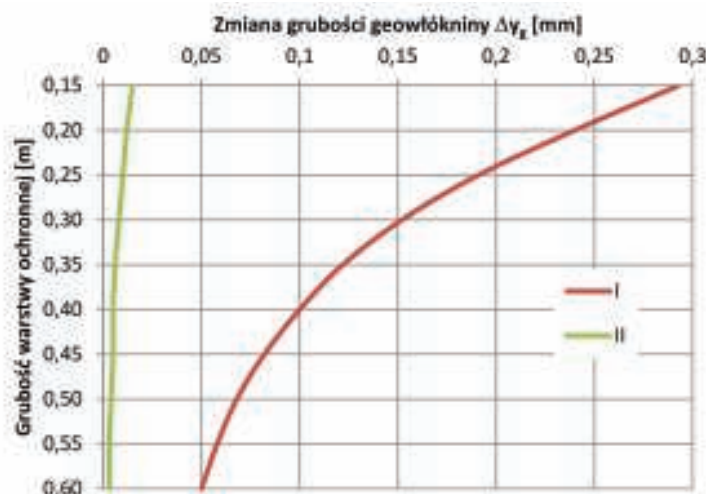
$p_1$ ) (rys. 2., krzywa  $dp$ ) zmniejszają się wraz ze zwiększającą się grubością warstwy ochronnej. Zatem im grubość warstwy ochronnej jest większa tym wpływ zmiany grubości geowłókniny w trakcie przeprowadzanych próbnych obciążeń podtorza na ich wynik będzie mniejszy.

## Zmiana grubości geowłókniny pod obciążeniem

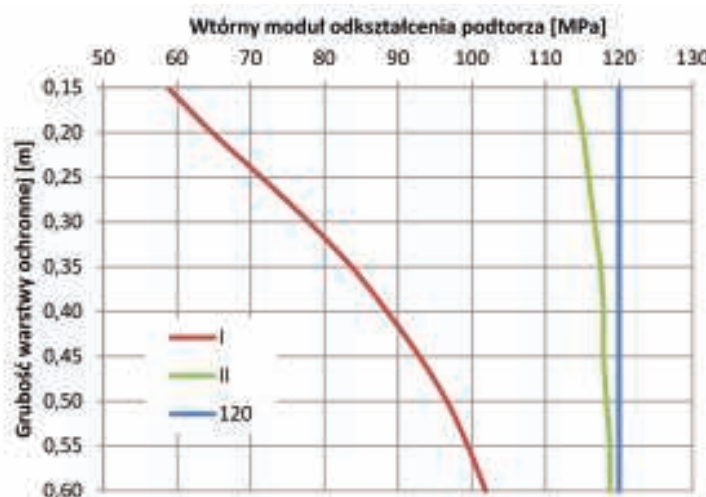
Na podstawie wymagań dla geowłóknin separacyjno-filtracyjnych układanych pod warstwami ochronnymi torowiska (tab. 1.) do dalszej analizy dobrano dwa przykładowe

Tab. 3. Parametry wybranych geowłóknin separacyjnych [1]

Właściwość	Geowłóknina I	Geowłóknina II
masa powierzchniowa [ $\text{g/m}^2$ ]	250	290
wytrzymałość na przebicie statyczne [kN]	3,0	3,15
wytrzymałość na przebicie dynamiczne (średnica otworu) [mm]	15,0	16
wytrzymałość na rozciąganie [kN/m]	25	21,3
wydłużenie przy zerwaniu [%]	95	55
wodoprzepuszczalność w kierunku prostopadłym do powierzchni wyrobu [ $10^{-4} \text{ m/s}$ ]	710	150
wielkość porów $Q_{90}$ [mm]	0,070	0,070
grubość przy nacisku 2 kPa [mm]	2,6	0,73
grubość przy nacisku 20 kPa [mm]	2,1	-
grubość przy nacisku 200 kPa [mm]	1,4	0,69



4. Zmiany grubości analizowanych geowłóknin  $\Delta y_g$  w przyjętym przedziale obciążenia  $\Delta p$  w zależności od grubości warstwy ochronnej



5. Wpływ zmian grubości analizowanych geowłóknin na wartość wtórnego modułu odkształcenia podtorza z warstwą ochronną, w zależności od grubości warstwy ochronnej

produkty, dopuszczone do stosowania na polskim rynku, wykonane w dwóch odmiennych technologiach (igłowania (geowłóknina I) i zgrzewania (geowłóknina II)), o parametrach technicznych spełniających stawiane im wymagania z jednym wyjątkiem - geowłóknina zgrzewana charakteryzuje się grubością nieznacznie mniejszą od wymaganej. Zestawienie właściwości geowłóknin, sporządzone na podstawie [1], znajduje się w tabeli 3. W oparciu o te dane (tab. 3) wykonano wykresy zmian grubości geowłóknin pod obciążeniem (rys. 3).

Zmniejszenie grubości geowłóknin pod obciążeniem uzależnione są od technologii ich wytwarzania oraz grubości początkowej (przy obciążeniu 2 kPa). Na rysunku 3 moż-

na zauważyć znaczne (ponad 45 %) zmniejszenie grubości geowłókniny I i minimalną zmianę grubości geowłókniny II (około 5 %). Zmiany grubości wybranych geowłóknin pod

obciążeniem mają przebieg liniowy lub zbliżony do liniowego, co zostało również zaobserwowane w [4].

Zmiany grubości analizowanych geowłóknin  $\Delta y_g$  zachodzące w trakcie próbnych obciążeń podtorza, w przyjętym przedziale obciążenia  $\Delta p = p_2 - p_1$ , w zależności od grubości warstwy ochronnej zobrazowano na rysunku 4.

Zmiany grubości geowłókniny I, w obliczeniowym przedziale obciążenia, w zależności od grubości warstwy ochronnej wahają się w granicach od 0,293 do 0,050 mm, a geowłókniny II w granicach od 0,015 do 0,003 mm i zmniejszają się wraz ze zwiększającą się grubością warstwy ochronnej. Wyznaczone maksymalne zmiany grubości geowłókniny w przyjętym przedziale obciążenia w rzeczywistości mogą być mniejsze z uwagi na podatności podłoża pod geowłókniną czy też wstępne sprasowanie produktu w trakcie procesu układania i zagęszczania warstwy ochronnej.

W celu określenia zmian grubości geowłókniny pod obciążeniem na odkształcalność podtorza przyjęto jako wzorzec podtorze z warstwą ochronną bez geowłókniny charakteryzujące się, niezależnie od grubości warstwy, wtórnym modułem odkształcenia mierzonym na torowisku równym 120 MPa.

Wartość modułu odkształcenia podtorza (z warstwą ochronną i

Tab. 4. Wpływ zmian grubości analizowanych geowłóknin na wartość wtórnego modułu odkształcenia podtorza z warstwą ochronną, w zależności od grubości warstwy ochronnej

Grubość warstwy ochronnej [m]	Moduł odkształcenia podtorza [MPa]			Zmniejszenie wartości modułu odkształcenia podtorza z geowłókniną w stosunku do wartości spodziewanej [%]	
	spodziewany	z geowłókniną		I	II
		I	II		
0,15	120	58,8	113,9	51,0	5,1
0,20	120	64,7	115,1	46,0	4,1
0,25	120	71,5	115,9	40,4	3,4
0,30	120	77,9	116,7	35,1	2,8
0,35	120	83,7	117,5	30,3	2,1
0,40	120	88,5	117,9	26,2	1,7
0,45	120	92,9	117,9	22,6	1,7
0,50	120	96,6	118,3	19,5	1,4
0,55	120	99,5	118,7	17,1	1,1
0,60	120	101,9	118,7	15,1	1,1

geowłókniną) mierzona na torowisku określono, dla różnych grubości warstw ochronnych, z wykorzystaniem wzoru:

$$E_{1,2} = 0,75 \cdot \frac{\Delta p}{\Delta y + \Delta y_g} \cdot D \quad (2),$$

gdzie:  $\Delta y_g$  – zmiana grubości geowłókniny w przyjętym przedziale obciążenia [mm], pozostałe oznaczenia jak w (1)

Obliczony wpływ zmian grubości analizowanych geowłóknin na wartość wtórnego modułu odkształcenia podtorza z warstwą ochronną, w zależności od grubości warstwy ochronnej, przedstawiono w tabeli 4 i na rysunku 5.

Zgodnie z wcześniejszymi obliczeniami (tab. 2 i rys. 4) wpływ zmian grubości geowłóknin pod obciążeniem na wartość modułu odkształcenia maleje wraz ze zwiększającą się grubością warstwy ochronnej. W przypadku zastosowania geowłókniny I i warstwy ochronnej o grubości 0,15 m zmniejszenie wartości modułu odkształcenia podtorza w stosunku do modułu spodziewanego wynosi około 50 %. Użycie geowłókniny II, w tej samej konstrukcji wzmocnienia podtorza pozwala uzyskać moduł odkształcenia prawie dwukrotnie większy niż w przypadku aplikacji geowłókniny I i jest on tylko o 5 % mniejszy od wartości spodziewanej. Przy grubości warstwy ochronnej 0,60 m zastosowanie geowłókniny I wpływa na około 15 % zmniejszenie wartości modułu odkształcenia, a użycie geowłókniny II jedynie na 1 %, mieszczące się w granicach błęd pomiarowego [5].

Obciążenia eksploatacyjne przekazujące cyklicznie naciski poprzez nawierzchnię na podtorze mogą w czasie jego użytkowania doprowadzić do trwałego zmniejszenia grubości geowłókniny co ostatecznie wpłynie na zmniejszenie ogólnej odkształcalności przebudowanej górnej strefy podtorza [2].

## Wnioski

Na podstawie przeprowadzonej analizy wpływu zmian grubości geowłókniny pod obciążeniem można sformułować następujące wnioski:

1. Dobór parametrów geowłóknin powinien być uzależniony od ich przeznaczenia i funkcji jakie mają spełniać, gdyż w zależności od rodzaju zastosowanych włókien i procesu wytwarzania geowłókniny charakteryzują się odmiennymi właściwościami.
2. Im grubsza warstwa ochronna tym wpływ wbudowanej geowłókniny na odkształcalność podtorza jest mniejszy.
3. Wpływ zmian grubości geowłókniny na odkształcalność podtorza w rzeczywistości może być mniejszy z uwagi na podatności podłoża pod geowłókniną czy też wstępne sprasowanie produktu w trakcie procesu układania i zagęszczania warstwy ochronnej.
4. Wybór materiału o odpowiednich właściwościach prawie całkowicie eliminuje problem zmian grubości geowłókniny separacyjnej pod obciążeniem w trakcie wykonywania próbnych obciążeń podtorza.
5. Celowym jest prowadzenie dalszych badań nad wpływem zastosowania geowłóknin na odkształcalność podtorza w celu możliwości zastosowania uzyskanych wyników w praktyce inżynierskiej. ◀

## Materiały źródłowe

- [1] Katalogi techniczne geowłóknin
- [2] Krużyński M.: Wpływ geowłókniny na sztywność torowiska. XIII Konferencja Naukowo-Technicz-

na. Drogi Kolejowe 2005. Zeszyty Naukowe. Budownictwo / Politechnika Śląska. z. 103., r. 2005, s. 143-153.

- [3] Krużyński M., Pająk D.: Wpływ geosyntetyków na sztywność torowiska. Przegląd Komunikacyjny 11/2012, s. 29-31.
- [4] Krużyński, M., Pająk, D., Zima G.: Separacja warstw podtorza geowłókniną. Przegląd Komunikacyjny 9-10/2010, s. 38-41.
- [5] Pawłowski M.: Próba oszacowania niepewności pomiarowych w badaniach odkształcalności podtorza. Przegląd Komunikacyjny 10/2014, s. 18-20
- [6] PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Id-3. Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego. 2009.
- [7] PN-81/B-03020 Grunty budowlane - Posadowienie bezpośrednie budowli - Obliczenia statyczne i projektowanie. PKN, 1981.
- [8] PN-EN 1991-2:2003 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje – Część 2: Obciążenia ruchome mostów. PKN, 2007.
- [9] Siewczyński Ł., Pawłowski M.: Oddziaływanie płyt próbnych na podtorze. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne. Rok 2011, nr 96, z. 158 „Nowoczesne technologie i systemy zarządzania w transporcie szynowym”, s. 499-509.
- [10] Siewczyński Ł., Pawłowski M.: Układy płyt do próbnych obciążeń podtorza. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej Oddział w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne. Rok 2013, nr 2 (101), „Drogi Kolejowe 2013”, s. 261-274.
- [11] Wiłun Z.: Zarys geotechniki. WKiŁ, 1987.
- [12] Zelek Z.: Geosyntetyki w konstrukcjach podtorza. Problemy kolejnictwa z.165/2014, s. 119-134.