ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2005
Seria: BUDOWNICTWO z. 103 Nr kol. 1692

Marek KRUŻYŃSKI
Politechnika Wrocławska

WPŁYW GEOWŁÓKNINY NA SZTYWNOŚĆ TOROWISKA

Streszczenie. W pracy przedstawiono problem wpływu geowłókniny separacyjno - drenującej, wbudowywanej pod warstwą ochronną, na zmniejszenie sztywności torowiska. Przeprowadzono analizę przekazywania ciśnień z torowiska w głąb podtorza i odkształcalności warstwy geowłókniny. Zaproponowano kilka możliwości rozwiązania problemu, w tym korekty wymaganych przy odbiorach robót podtorzowych wartości modułów odkształcenia wtórnego, mając na uwadze ich stwierdzony wzrost w pierwszym okresie eksploatacji toru, na skutek postępującego sprasowania warstwy geosyntetyku pod obciążeniem eksploatacyjnym lub podwyższenia wymaganych modułów podłoża warstwy ochronnej dla typowych rozwiązań wzmocnienia górnej strefy torowiska.

INFLUENCE OF GEOTEXTILE LAYER ON THE STIFFNESS OF RAILWAY TRACK

Summary. The paper deals with the influence of the geotextile layer settled under the protective layer, on the decrease of the stiffness of railway track. The analyses of the transmission of the pressure inside the subgrade and the deformability of the geotextile layer were conducted. Some solutions were proposed .One solution involves the possibility of changing the required values of the elasticity modulus for railway track, because during the first period of track operation the values of this modulus increase. Another solution entails the increase of the required values of the subsoil modulus for typical constructions of strengthening the upper zone of the subgrade.

1. Wstęp

Najczęściej stosowane obecnie na modernizowanych liniach kolejowych rozwiązanie wzmocnienia torowiska przewiduje wbudowywanie geowłókniny pod warstwę ochronną. Ma to na celu odseparowanie materiału warstwy ochronnej od podłoża gruntowego umożliwiając jednocześnie lepsze odprowadzenie wody przenikającej przez warstwę ochronną i niedopuszczenie do podciągania kapilarnego wód gruntowych do warstwy ochronnej. Z wieloletnich doświadczeń wynika, że wbudowywanie geowłókniny w celu odseparowania zróżnicowanych gruntów nasypowych lub rodzimych w przekopach od materiału warstwy ochronnej przynosi dobre efekty, separacja jest skuteczna, a niedopuszczenie do mieszania się gruntów podłoża z materiałem warstwy ochronnej zapobiega nadmiernym osiadaniom torowiska.

Negatywnym skutkiem stosowania geowłókniny w podtorzu jest obniżenie wartości modułu odkształcenia wtórnego mierzonego na torowisku lub na kolejnych warstwach gruntu spoczywających na niej. Trudniejszy jest również proces zagęszczania materiału warstwy ochronnej, którego podłożem jest rodzaj sprężystego "materaca", jaki stanowi odkształcalna warstwa geosyntetyku. Odkształcalność warstwy geosyntetyku umieszczonego pod warstwą ochronną powoduje zmniejszenie sztywności podłoża tej warstwy, co w mniejszym lub większym stopniu ma wpływ na uzyskiwaną w efekcie stosowania takiego rozwiązania technicznego sztywność torowiska. Stwarza to niejednokrotnie problem w uzyskiwaniu wymaganych wartości modułów odkształcenia wtórnego mierzonych na zmodernizowanym torowisku. Analizę tego zjawiska można przeprowadzić traktując warstwę geowłókniny jako dodatkową warstwę odkształcalną w wielowarstwowym układzie konstrukcji górnej strefy podtorza. Na wielkość zmniejszania się grubości warstwy geowłokniny pod obciążeniem mają istotny wpływ takie czynniki, jak jej własna sztywność i obciążenie ciężarem spoczywającego na niej gruntu wraz z konstrukcją nawierzchni oraz obciążenie eksploatacyjne. Podczas badań odbiorowych zmodernizowanego podtorza wykonuje się oznaczanie modułu odkształcenia torowiska realizując obciążenie się przy użyciu sztywnej płyty kołowej o średnicy Φ=0,3 m. Wywierane w trakcie tego badania ciśnienia na torowisko osiągają wartość 0,35 MPa. Mają one symulować quasi - statyczne obciążenia eksploatacyjne.

2. Wymagana sztywność podłoża warstwy ochronnej

Sztywność podłoża reprezentuje moduł odkształcenia wtórnego E_g oznaczany przy badaniu płytą sztywną Φ=0,3 m. Do analizy przyjęto warstwę ochronną z niesortu 0-31,5 mm o module odkształcenia wtórnego E_0=200 MPa.

2.1. Pierwszą część analizy wykonano dla projektowego modułu odkształcenia wtórnego torowiska E_{proj}=120 MPa wg [2], załącznik 1, poz.3, sposób wymiarowania II:

a) przy założonej grubości warstwy ochronnej h=0,15 m i $E_{proj} = E_e$ wymagana wartość modułu odkształcenia wtórnego podłoża wyznaczona z wykresu DORNII wynosi:
E_e/E_0=0,6 h=0,15 E_g/E_0=0,44, więc E_g=0,44E_0=88 MPa
b) przy h=0,2 m
E_e/E_0=0,6 h=0,20 E_g/E_0=0,38, więc E_g=0,38E_0=76 MPa itd.

2.2. Kolejną część analizy wykonano dla projektowanych wartości modułu odkształcenia E_{proj}=108 MPa i E_{proj}=96 MPa. Wymaganą nośność podłoża warstwy ochronnej wyznaczono tak jak poprzednio, a wyliczone wartości zestawiono w tablicy 1, gdzie podano wartość modułów dla jednowarstwowego wzmocnienia torowiska mieszanką kruszyw łamanych (tzw. niesortem) ze skał twardych o uziarnieniu 0-31,5 mm bez geowłókniny separacyjnej.

Tablica 1

Wymagane wartości modułu odkształcenia podłoża warstwy ochronnej z niesortu 0-31,5 mm

Poz.	Moduł projektowy $E_{proj}=E_e$ [MPa]	Grubość warstwy niesortu h[m]	Moduł warstwy niesortu E_0[MPa]	E_e/E_0	E_g/E_0	E_g [MPa]
1.1	120	0,15	200	0,60	0,44	88
1.2		0,20			0,38	76
1.3		0,25			0,32	64
1.4		0,30			0,27	54
1.5		0,35			0,23	46
1.6		0,40			0,19	38
1.7		0,45			0,16	32
1.8		0,50			0,13	26
2.1	108	0,15	200	0,54	0,39	78
2.2		0,20			0,32	64
2.3		0,25			0,27	54
2.4		0,30			0,22	44
2.5		0,35			0,18	36
2.6		0,40			0,15	30
2.7		0,45			0,125	25
2.8		0,50			0,11	22
3.1	96	0,15	200	0,48	0,32	64
3.2		0,20			0,26	52
3.3		0,25			0,21	42
3.4		0,30			0,17	34
3.5		0,35			0,14	28
3.6		0,40			0,12	24
3.7		0,45			0,10	20
3.8		0,50			0,08	16

3. Wymagana sztywność podłoża dwuwarstwowego wzmocnienia torowiska

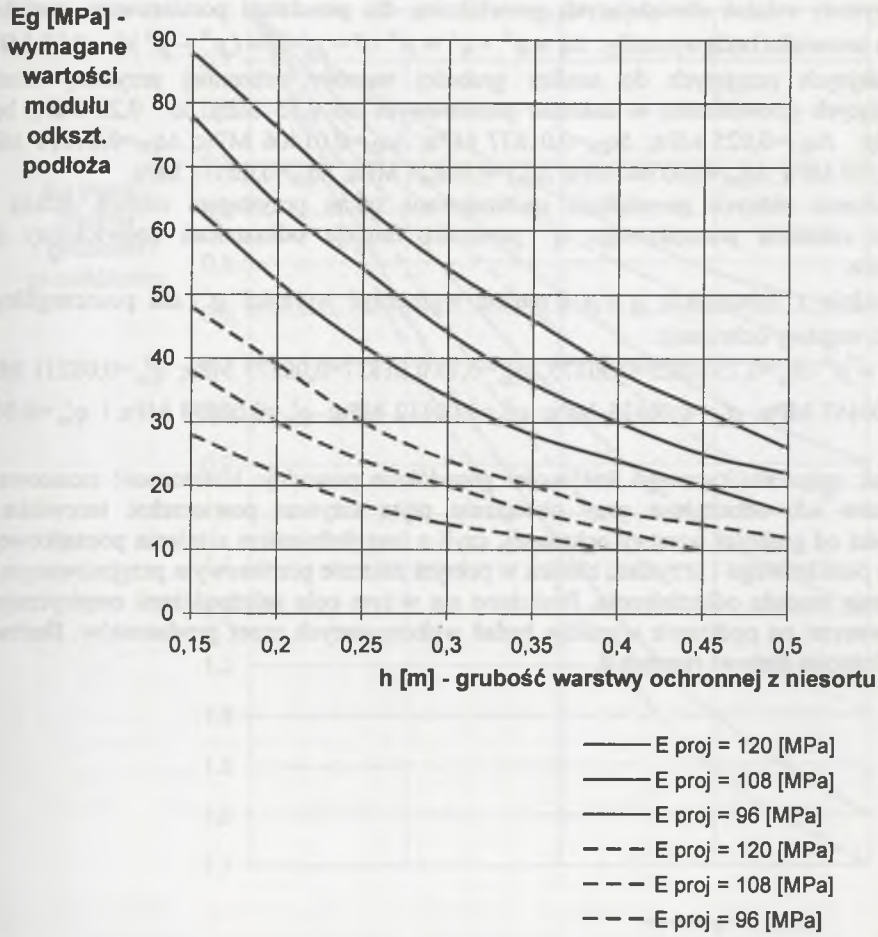
Do analizy przyjęto dwuwarstwowe wzmocnienie torowiska, w którym górna warstwa o grubości 0,15 m wykonana jest z klińca 4-31,5 mm o module E_k=250 MPa, a warstwa dolna o projektowanej grubości z niesortu 0-31,5 mm o module E_n=200 MPa.
Pierwszą część obliczeń wykonano dla przypadku, gdy: $E_{proj}=E_e$=120 MPa.
Wymaganą sztywność podłoża warstwy klińca E_{g1} obliczono dla następujących danych: E_e=120 MPa, $E_k=E_{01}$=250 MPa, h_k=0,15 m; wtedy E_e/E_{01}=0,48, h_k=0,15 m., E_{g1}/E_{01}=0,32; E_{g1}=80 MPa, a wymagana sztywność podłoża warstwy niesortu wyniesie:
$E_e/E_0=E_{g1}/E_n$=0,40; h_n=0,15; E_g/E_0=0,24; E_g=0,24·200=48 MPa.
Kolejne części obliczeń dla E_e=108 MPa i E_e=96 MPa wykonano analogicznie.

Tablica 2

Wymagane wartości modułu odkształcenia podłoża dwuwarstwowego wzmocnienia torowiska

Poz.	Moduł projektowy $E_{proj}=E_e$ [MPa]	Grubość warstwy niesortu h[m]	E_e/E_{01}	E_{g1}/E_{01}	E_{g1} [MPa]	E_{g1}/E_n	E_g/E_0	E_g [MPa]
1.1	120	0,15	0,48	0,32	80	0,40	0,24	48
1.2		0,20					0,195	39
1.3		0,25					0,15	30
1.4		0,30					0,12	24
1.5		0,35					0,10	20
1.6		0,40					0,08	16
1.7		0,45					0,07	14
1.8		0,50					0,06	12
2.1	108	0,15	0,43	0,27	68	0,34	0,19	38
2.2		0,20					0,15	30
2.3		0,25					0,12	24
2.4		0,30					0,10	20
2.5		0,35					0,08	16
2.6		0,40					0,065	13
2.7		0,45					0,05	10
2.8		0,50					-	-
3.1	96	0,15	0,38	0,22	55	0,23	0,14	28
3.2		0,20					0,11	22
3.3		0,25					0,085	17
3.4		0,30					0,07	14
3.5		0,35					0,06	12
3.6		0,40					0,05	10
3.7		0,45					-	-
3.8		0,50					-	-

Wymagane wartości modułów odkształcenia podłoża dla dwuwarstwowego wzmocnienia torowiska zestawiono w tablicy 2. Przyjęto grubość warstwy klińca h_k=0,15 m, podczas gdy grubość warstwy niesortu jest zmienna od 0,15 m do 0,50 m. Podstawowe dane charakteryzujące wymaganą nośność podłoża warstwy ochronnej, w zależności od grubości warstw wzmacniających torowisko, zestawione w tablicach 1 i 2 przedstawiono również na rysunku 1.



Rys.1. Zależność wymaganych wartości modułu podłoża warstwy ochronnej przy jednowarstwowym ---------- i dwuwarstwowym -- -- -- wzmocnieniu torowiska
Fig.1. Relation of required values of subsoil protective layer modulus with single-layer and double layer track strengthening

4. Przekazywanie ciśnień z powierzchni warstwy ochronnej na geowłókninę

Wartości nacisków przekazywanych na geowłókninę przeliczono dla przedziału ciśnień płyty na warstwę ochronną od 0,15 MPa do 0,25 MPa, ponieważ ten przedział ciśnień wykorzystuje się przy obliczaniu modułu odkształcenia torowiska. Do obliczeń przyjęto kąt rozchodzenia się ciśnień w materiale warstwy ochronnej α=45°. Ogólnie w uproszczeniu można zapisać, że nacisk warstwy ochronnej na podłoże wynosi $q = p \cdot \delta$, gdzie $\delta = f(h)$ jest współczynnikiem stałym dla ustalonej grubości warstwy ochronnej h przykrywającej geowłókninę, a p - ciśnieniem płyty sztywnej na powierzchnię górną warstwy ochronnej. Dla

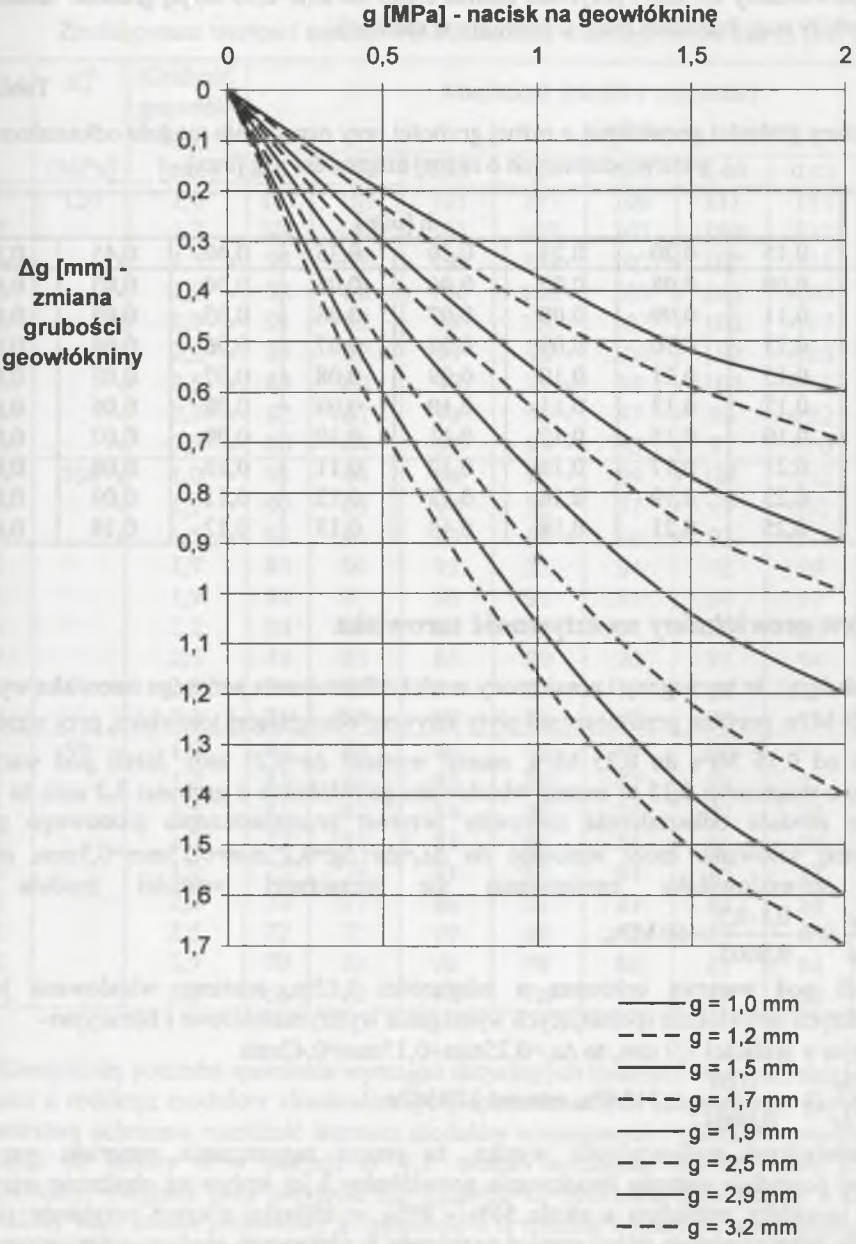
grubości warstwy ochronnej h=0,15 m δ_{15}=0,25; dla h=0,20 m δ_{20}=0,1837 i dalej δ_{25}=0,1406; δ_{30}=0,1111; δ_{35}=0,09; δ_{40}=0,0744; δ_{45}=0,0625; δ_{50}=0,0533 dla kolejnych analizowanych grubości warstwy ochronnej.

Przyrosty ciśnień obciążających geowłókninę dla przedziału pomiarowego nacisków płyty na torowisko będą wynosiły: $\Delta q = q^{II} - q^{I} = p^{II} \cdot \delta - p^{I} \cdot \delta = (p^{II} - p^{I})\delta = 0{,}1\delta$ MPa. Dla kolejnych przyjętych do analizy grubości warstwy ochronnej przyrosty ciśnień obciążających geowłókninę w zakresie pomiarowym od 0,15 MPa do 0,25 MPa będą wynosiły: Δq_{15}=0,025 MPa; Δq_{20}=0,01837 MPa; Δq_{25}=0,01406 MPa; Δq_{30}=0,01111 MPa; Δq_{35}=0,009 MPa; Δq_{40}=0,00744 MPa; Δq_{45}=0,00625 MPa; Δq_{50}=0,00533 MPa.
Odkształcenia różnych geowłóknin spowodowane takim przyrostem ciśnień zależą od wartości ciśnienia początkowego q^{I}, ponieważ funkcja odkształceń geowłókniny jest nieliniowa.

Zgodnie z zależnością $q = p \cdot \delta$ można wyznaczyć wartości q^{I} dla poszczególnych grubości warstwy ochronnej:

$q^{I}_{15} = p^{I} \cdot \delta_{15}$=0,15·0,025=0,00375; q^{I}_{20}=0,15·0,01837=0,00275 MPa; q^{I}_{25}=0,00211 MPa; q^{I}_{30}=0,00167 MPa; q^{I}_{35}=0,00135 MPa; q^{I}_{40}=0,00112 MPa; q^{I}_{45}=0,00094 MPa i q^{I}_{50}=0,0008 MPa.

Brak opisu analitycznego ściśliwości geowłóknin powoduje konieczność oszacowania przyrostów ich odkształceń przy obciążeniu płytą sztywną powierzchni torowiska w zależności od grubości warstwy ochronnej, czyli z uwzględnieniem ciśnienia początkowego, zakresu pomiarowego i przyrostu ciśnień w pełnym zakresie pomiarowym przyjmowanym do oznaczania modułu odkształcenia. Posłużono się w tym celu zależnościami empirycznymi, opracowanymi na podstawie wyników badań wykonywanych przez producentów. Ilustrację tych zależności stanowi rysunek 2.



Rys.2. Zmiany grubości geowłókniny Δg w zależności od ciśnienia q wywieranego na jej górną powierzchnię

Fig.2. Changes of geo-textile thickness according to pressure exerted on its upper area

Dla geowłókniny 1,0 mm i przyrostu ciśnień 0,025 MPa (h=0,15 m) jej grubość zmniejsza się o Δg=0,09 mm. Pozostałe dane zestawiono w tablicy 3.

Tablica 3

Zmiany grubości geowłóknin o różnej grubości przy oznaczaniu modułu odkształcenia warstw ochronnych o różnej miąższości Δg [mm]

g [mm]	h [mm]							
	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
1,0	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02
1,2	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,03	0,03
1,5	0,13	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,04	0,03
1,7	0,15	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,05	0,04
1,9	0,17	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08	0,06	0,04
2,2	0,19	0,15	0,12	0,11	0,10	0,09	0,07	0,04
2,5	0,21	0,17	0,14	0,12	0,11	0,10	0,08	0,05
2,9	0,23	0,19	0,16	0,13	0,12	0,11	0,09	0,05
3,2	0,25	0,21	0,18	0,14	0,13	0,12	0,10	0,05

5. Wpływ geowłókniny na sztywność torowiska

Zakładając, że wymagany i pomierzony moduł odkształcenia wtórnego torowiska wynosi $E_e^{II} = 120$ MPa, przyrost przemieszczeń płyty sztywnej obciążającej torowisko, przy wzroście ciśnienia od 0,15 MPa do 0,25 MPa, musiał wynieść Δs=0,25 mm. Jeżeli pod warstwą ochronną o miąższości 0,15 m została wbudowana geowłóknina o grubości 3,2 mm, to przy pomiarze modułu odkształcenia całkowity przyrost przemieszczenia pionowego płyty obciążającej torowisko może wzrosnąć do $\Delta s_c = \Delta s + \Delta g = 0{,}25\text{mm} + 0{,}25\text{mm} = 0{,}5\text{mm}$, co w efekcie spowodowałoby zmniejszenie się oznaczanej wartości modułu do

$$E_e^{II} = \frac{\Delta p}{\Delta s} D = \frac{0{,}1 \cdot 0{,}3}{0{,}0005} = 60\,\text{MPa}.$$

Jeżeli pod warstwą ochronną o miąższości 0,15m, zostanie wbudowana jedna z najcieńszych geowłóknin spełniających wymagania wytrzymałościowe i filtracyjno-separacyjne o grubości 1,9 mm, to $\Delta s_c = 0{,}25\text{mm} + 0{,}17\text{mm} = 0{,}42\text{mm}$

i $E_e^{II} = \frac{\Delta p}{\Delta s} D = \frac{0{,}03}{0{,}00042} \cong 71\,\text{MPa}$, zamiast 120 MPa.

Z doświadczeń realizacyjnych wynika, że proces zagęszczania materiału warstwy ochronnej powoduje wstępne sprasowanie geowłókniny i jej wpływ na obniżenie wartości modułu torowiska zmniejsza o około 50% - 80%, w związku z czym przyjmuje się ze względów bezpieczeństwa dolną granicę przedziału w pierwszym analizowanym przypadku $E_e^{II} \cong 80$ MPa, a w drugim $E_e^{II} \cong 91$ MPa [3]. Efekt ten można prześledzić na przykładzie kombinacji dziewięciu wcześniej przyjętych do analizy rodzajów geowłóknin wbudowanych pod warstwy ochronne o ośmiu różnych miąższościach i dla trzech wartości modułu projektowego. Wyniki obliczeń zmniejszenia się wartości modułów odkształcenia wtórnego torowiska na skutek wbudowania pod warstwą ochronną geowłókniny separacyjno-drenujacej zamieszczone w tablicy 4 nazwano "zredukowanymi".

Tablica 4

Zredukowane wartości modułów odkształcenia wtórnego torowiska E_r [MPa]

Lp.	E_w^{II} [MPa]	Grubość geowłókniny [mm]	Miąższość warstwy ochronnej [m]							
			0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
1.1	120	1,0	102	103	105	107	109	111	113	115
1.2		1,2	100	102	103	105	107	109	113	113
1.3		1,5	97	100	102	103	105	107	111	113
1.4		1,7	94	98	100	102	103	105	109	111
1.5		1,9	91	95	98	100	102	103	107	111
1.6		2,2	88	92	97	98	100	102	105	111
1.7		2,5	84	90	94	97	98	100	103	109
1.8		2,9	82	87	91	95	97	98	102	109
1.9		3,2	80	84	88	94	95	97	100	109
2.1	108	1,0	93	94	96	97	99	101	102	104
2.2		1,2	90	93	94	96	97	99	102	102
2.3		1,5	87	91	93	94	96	97	101	102
2.4		1,7	85	90	91	93	94	96	99	101
2.5		1,9	83	87	90	91	93	94	97	101
2.6		2,2	80	85	89	90	91	93	96	101
2.7		2,5	78	83	86	89	90	91	94	99
2.8		2,9	76	80	84	87	89	90	93	99
2.9		3,2	74	78	82	86	87	89	91	99
3.1	96	1,0	84	85	86	87	89	90	91	93
3.2		1,2	83	84	85	86	87	89	91	91
3.3		1,5	81	83	84	85	86	87	90	91
3.4		1,7	77	81	83	84	85	86	89	90
3.5		1,9	75	79	81	83	84	85	87	90
3.6		2,2	73	77	80	81	83	84	86	90
3.7		2,5	72	75	79	80	81	83	85	89
3.8		2,9	70	73	76	79	80	81	84	89
3.9		3,2	68	72	74	78	79	80	83	89

Kierując się potrzebą spełnienia wymagań dotyczących nośności torowiska należałoby w związku z redukcją modułów ekwiwalentnych, spowodowanych stosowaniem geowłókniny pod warstwa ochronną, rozróżnić wartości modułów wymaganych i modułów projektowych. Wracając do tablicy 4 w pozycji nr 1.1: moduł wymagany E_w=120 MPa a moduł zredukowany, osiągany przy przyjęciu $E_w=E_{proj.}=E_e=E_r$=102 MPa, czyli niższy o 18 MPa. Należałoby więc moduł projektowy przyjmować o tę różnicę wyższy od wymaganego, czyli $E_{proj}=E_w+\Delta E=E_w+E_w-E_r$. W oparciu o tę zależność podano w tablicy 5 wartości modułów projektowych E_{proj}, które pozwoliłyby na uzyskanie w realizacji, przy zastosowaniu geowłókniny pod warstwą ochronną, wartości modułów wymaganych, określonych w [2].

Przyjmując do projektowania grubości warstw ochronnych wartości modułów projektowych z tablicy 5, można by uniknąć problemów w wykonawstwie i w odbiorach robót podtorzowych.

Tablica 5

Skorygowane wartości modułów projektowych odkształcenia wtórnego torowiska $E_{proj}=E_w+\Delta E$ [MPa]

Lp.	E_w^{II} [MPa]	Grubość geowłókniny [mm]	Miąższość warstwy ochronnej [m]							
			0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
1.1	120	1,0	138	137	135	133	131	129	127	125
1.2		1,2	140	138	137	135	133	131	127	127
1.3		1,5	143	140	138	137	135	133	129	127
1.4		1,7	146	142	140	138	137	135	131	129
1.5		1,9	149	145	142	140	138	137	133	129
1.6		2,2	152	148	143	142	140	138	135	129
1.7		2,5	156	150	146	143	142	140	137	131
1.8		2,9	158	153	149	145	143	142	138	131
1.9		3,2	160	156	152	146	145	143	140	131
2.1	108	1,0	123	122	120	119	117	115	114	112
2.2		1,2	126	123	122	120	119	117	114	114
2.3		1,5	129	125	123	122	120	119	115	114
2.4		1,7	131	126	125	123	122	120	117	115
2.5		1,9	133	129	126	125	123	122	119	115
2.6		2,2	136	131	127	126	125	123	120	115
2.7		2,5	138	133	130	127	126	125	122	117
2.8		2,9	140	136	132	129	127	126	123	117
2.9		3,2	142	138	134	130	129	127	125	117
3.1	96	1,0	108	107	106	105	103	102	101	99
3.2		1,2	109	108	107	106	105	103	101	101
3.3		1,5	111	109	108	107	106	105	102	101
3.4		1,7	115	111	109	108	107	106	103	102
3.5		1,9	117	113	111	109	108	107	105	102
3.6		2,2	119	115	112	111	109	108	106	102
3.7		2,5	120	117	113	112	111	109	107	103
3.8		2,9	122	119	116	113	112	111	108	103
3.9		3,2	124	120	118	114	113	112	109	103

6. Podsumowanie

W pracy przedstawiono problem wpływu geowłókniny separacyjno - drenującej, wbudowanej pod warstwą ochronną, na zmniejszenie sztywności torowiska. Wpływ ten jest wyraźny, ale precyzyjna jego ocena jest bardzo trudna z kilku powodów. Pierwszym z nich jest brak charakterystyk wytrzymałościowych geowłóknin na ściskanie. Kolejnym - trudności w oszacowaniu sprasowania geowłókniny w procesie zagęszczania warstwy ochronnej. Niezależnie od tych trudności w referacie oszacowano ten wpływ i okazał się on znaczący w takiej mierze, w jakiej niejednokrotnie zostało to stwierdzone podczas modernizacji podtorza na liniach magistralnych E-20 i E-30. Rozważono w związku z tym dwie możliwości rozwiązania problemu.

Pierwszą z nich jest zastosowanie do wymiarowania grubości warstwy ochronnej takich wartości modułów projektowych, aby po uwzględnieniu wpływu geowłókniny na obniżenie nośności torowiska w wyniku wbudowania nowej warstwy ochronnej na geowłókninie uzyskać wymaganą (wg [2]) sztywność torowiska. Dane te przedstawiono w tablicy 5. Z zamieszczonego tam zestawienia wartości modułów projektowych wynika, że uwzględnienie ich w projektowaniu skomplikowałoby proces doboru geowłókniny i grubości warstwy ochronnej. Wymagałoby to zastosowania procedury kolejnych przybliżeń i znacznego wydłużenia procesu projektowego. Drugą możliwością jest obniżenie wymaganych przy odbiorach robót sztywności torowiska w zależności od zastosowanej geowłókniny i od grubości warstwy ochronnej. Nie zagrażałoby to ani trwałości konstrukcji nawierzchni i podtorza ani bezpieczeństwu eksploatacji, ponieważ w jej wyniku wzrasta sprasowanie geowłókniny i po kilkumiesięcznym okresie eksploatacji toru sztywność torowiska wzrasta w stopniu zapewniającym uzyskanie wartości przewidzianych w [2]. Według [3] "wzmocnienie warstw ochronnych po półrocznej eksploatacji osiągnęło poziom dwukrotnie przekraczający nośność torowiska określoną bezpośrednio po ich wykonaniu. Średni moduł odkształcenia wtórnego torowiska wynosił wtedy około 60 MPa i zwiększył się do około 133 MPa".

W związku z tym można by zaproponować, aby wymagane przy odbiorach zmodernizowanego podtorza wartości modułów odkształcenia wtórnego torowiska przyjmować w zależności od grubości warstwy ochronnej i grubości wbudowanej pod nią geowłókniny zgodnie z danymi zawartymi w tablicy 4 "Zredukowane wartości modułów odkształcenia wtórnego torowiska E_r [MPa]". Dane te dotyczą jednowarstwowego wzmocnienia torowiska warstwą ochronną z niesortu 0-31,5 mm, ułożoną na geowłókninie separacyjno - drenującej.

Podobny zbiór wartości modułów "zredukowanych" należałoby również opracować dla wzmocnienia dwuwarstwowego, warstwą klińca o grubości 0,15 m, i warstwą niesortu na geowłókninie, oraz dla rozwiązań przewidujących stabilizację podłoża warstwy ochronnej. Inną jeszcze możliwością jest podwyższenie wymaganych wartości modułów podłoża warstwy ochronnej (tabl. 1 i tabl. 2) o różnicę pomiędzy wartością modułu wymaganego i zredukowanego (tabl. 4) i opracowanie typowych rozwiązań wzmocnienia torowiska dla całej gamy występujących w praktyce rodzajów podłoża warstwy ochronnej i wzmacniającej.

Literatura

1. Zelek Z.: Aktualizacja wymagań dla materiałów geosyntetycznych stosowanych w podtorzu kolejowym, CNTK, Temat 2050/12, Warszawa 1998
2. D-4 Instrukcja o utrzymaniu podtorza kolejowego, Biuletyn PKP, Załącznik do nr 9 z dnia 21.04.1993, poz. 49, Warszawa 1993
3. Krużyński M., Piotrowski A.: Badania nośności warstw ochronnych zabudowanych maszyną AHM800R, XI Konferencja Naukowo - Techniczna "Drogi Kolejowe 01", materiały konferencyjne, Wrocław 2001