

AKTUALIZACJA WYMAGAŃ EBA¹ (2014) DOTYCZĄCA BADAŃ GEOSYNTETYKÓW DLA BUDOWNICTWA KOLEJOWEGO W NIEMCZECH²

Kazimierz Kłosek

dr hab. inż., Prof. nzw. PŚL., Katedra Geotechniki i Dróg, Politechnika Śląska, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, e-mail: klosekkpolsl@op.pl

Janusz Sobolewski

dr inż., HUESKER Synthetic GmbH, Engineering Department, Fabrikstraße 13-15, 48712 Gescher, Niemcy, e-mail: sobolewski@huesker.de

Daniel Konopka

inż., Przedsiębiorstwo Realizacyjne INORA Sp. z o.o., ul. Prymasa S. Wyszyńskiego 11,44-101 Gliwice, e-mail: tech@inora.pl

Streszczenie. *Zarówno polskie warunki techniczne utrzymania podtorza: Id-3 {2} jak i warunki niemieckie: EBA (Federalny Urząd Kolejnictwa) {1} stawiają wymagania minimalne, jakie mają spełniać geosyntetyki, precyzują wymagania dotyczące badań kontrolnych i niezależnego nadzoru. W niniejszym referacie podjęto próbę prezentacji obydwu tych dokumentów i porównania niektórych najważniejszych regulacji z tego zakresu. Poza tym bliżej będzie wyjaśnione zagadnienie poprawnego wyznaczania wartości obliczeniowej wytrzymałości na rozciąganie materiałów geosyntetycznych dla stanu granicznego nośności oraz charakterystycznej wytrzymałości długotrwałej ze względu na dopuszczalne wydłużenie dla stanu granicznego użyteczności.*

Słowa kluczowe: *EBA, Id-3, geosyntetyki, funkcje geosyntetyków w kolejnictwie, obliczeniowa wytrzymałość na rozciąganie (Fd), charakterystyczna długotrwała wytrzymałość na rozciąganie (Fk), krótkoterminowa wytrzymałość na rozciąganie (Fo,k), wytrzymałość węzła zgrzewanego, wytrzymałość węzła sklejanego, GRI Test Method GG2-87:1988*

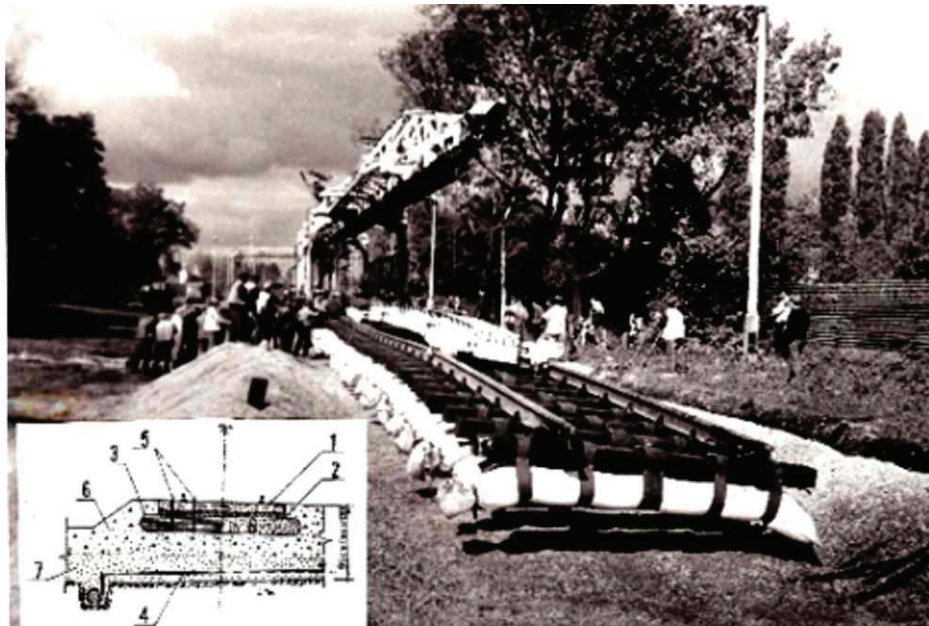
1. Wstęp

Materiały geosyntetyczne są stosowane w polskim kolejnictwie na bardzo szeroką skalę. Służą one głównie jako: elementy separacyjno-filtracyjne, elementy zbrojące, membrany uszczelniające lub jako powierzchniowe elementy ochronne czy drenażowe. Pierwsze zastosowania geosyntetyków w polskim kolejnictwie datuje się na koniec lat 80-tych, kiedy to wykonano odcinek próbny Ruda-Czarny Las z tzw. konstrukcji 4P(rysunek 1 [5,6,7]). Pomimo zadowalających wyników badań i 30-letnich obserwacji na tym odcinku próbnym, ze względu na kryzys

1 Eisenbahn-Bundesamt (EBA) – Niemcy : Federalny Urząd Kolejnictwa

2 Wkład autorów w publikację: Kłosek K. 34%, Sobolewski J. 33%, Konopka D. 33%

gospodarczy w Polsce, szczególnie dokuczliwy w latach 90-tych ubiegłego wieku, geosyntetyki musiały poczekać na 'lepsze czasy'.



Rys. 1. Instalacja toru na odcinku próbnym Ruda-Czarny Las, 1988, {5,6}



Rys. 2. E30 Lewin Brzeski-Łosiów, geowłóknina Fibertex® F650 M i geosiatka Fortrac®80/80-30, 2000, Fot. INORA

Dobrym przykładem zastosowania geosyntetyków może być odcinek linii kolejowej E 30 Lewin Brzeski-Łosiów (rys. 2), gdzie w trakcie modernizacji w 2000 roku zastosowano w podtorzu geosiatkę i geowłókninę, a więc elementy, które spełniły trzy funkcje: separacyjną, filtracyjną i zbrojeniową. Szersze zastosowania geosyntetyków w kolejnictwie umożliwiły Aprobaty Techniczne Centrum Naukowo-Technicznego Kolejnictwa (CNTK), które sankcjonowały ich użycie i jednocześnie potwierdzały właściwości produktów podawanych przez ich producentów. Dla przykładu można by wymienić chociaż kilka z tych aprobat:

- Aprobata Techniczna CNTK AT/10-2002-0049-00. GeosiatkiFornit®
- Aprobata Techniczna CNTK AT/10-2002-0037-00. GeosiatkiFortrac®
- Aprobata Techniczna CNTK AT/10-2002-0052-00. GeotkaninyStabilenka®

Aprobaty te jednak nie precyzowały bliżej metod obliczeniowych dla wymiarowania tych produktów, ograniczając się głównie do parametrów dostawczych. Wraz ze wstąpieniem Polski do UE i wprowadzeniu normy EN13250:2005-04 w 2005 „Geotextiles and geotextile-related products-Required characteristics for use in the construction of railways” (Geotekstyli i produkty pokrewne - Wymagane własności dla stosowania w budownictwie kolejowym) posiadanie aprobat technicznych przestało być obligatoryjne. Aprobaty Techniczne obecnego Instytutu Kolejnictwa są dobrowolne i w zasadzie potwierdzają jedynie parametry produktów deklarowane przez producenta. Zastosowanie geosyntetyków w polskim kolejnictwie jest uregulowane od roku 2009 dwoma polskimi dokumentami:

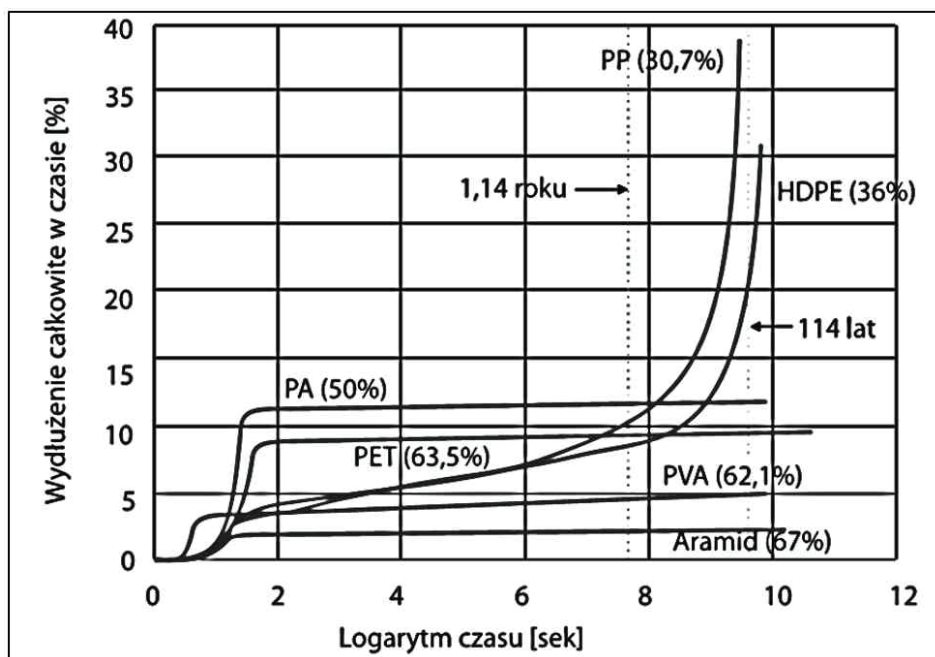
- Standardy Techniczne, szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji lub budowy linii kolejowych do prędkości $V_{max} \leq 200$ km/h (dla taboru konwencjonalnego) / 250 km/h (dla taboru z wychylnym pudłem), Tom 1, Wersja 1.1, CNTK, Warszawa, 2009;
- Warunki Techniczne utrzymania podtorza kolejowego, Id-3, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A, Warszawa, 2009;

Dla przykładu w Niemczech stosowanie geosyntetyków w budownictwie kolejowym sankcjonują między innymi następujące dokumenty:

- Richtlinien 836 Erdbauwerke und sonstige geotechnische Bauwerke planen, bauen und instand halten, 3. Aktualisierung (Wytyczne 836, budowle ziemne i inne geotechniczne budowle: projektowanie, wykonawstwo i utrzymanie, 3. aktualizacja), 18.02.2014, DB Netz AG, Frankfurt am Main;
- Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen-EBGEO, (Zalecenia dla projektowania i obliczania konstrukcji ziemnych ze zbrojeniem geosyntetycznym), DGGT, 2010;
- Prüfungsbedingungen für Geokunststoffe des Eisenbahn-Bundesamtes (Wymagania Federalnego Urzędu kolejnictwa (EBA) dotyczące badań geosyntetyków, Bonn, 01.07.2014.

2. Surowce stosowane do produkcji materiałów geosyntetycznych

Obydwa analizowane normatywy dopuszczają do stosowania materiały geosyntetyczne wytworzone z następujących surowców: polipropylenu (PP), polietylenu o dużej gęstości (HDPE), poliamidu (PA), poliesteru (PET), poliwinylalkoholu (PVA) oraz aramid (AR). Na rys. 3 przedstawiono własności reologiczne poszczególnych polimerów, stosowanych do produkcji materiałów geosyntetycznych w układzie współrzędnych: wielkość bezwzględna wydłużenia [%]/czas (w skali logarytmicznej) dla danego stopnia obciążenia w (%) UTSz ang.: Ultimate Tensile Strength – oznacza doraźną wytrzymałość na zerwanie w/g EN PN 10319.



Rys. 3. Pełzanie polimerów w zależności od czasu i stopnia obciążenia (%) UTS

Analizując przedstawione na rys. 3 zależności wydłużeń do stopnia wyężenia UTS(%) zauważamy, że wśród polimerów stosowanych obecnie do produkcji geosyntetyków występuje duża różnorodność ze względu na ich parametry wytrzymałościowe i reologiczne. Materiały geosyntetyczne produkują się zarówno z surowców zdolnych przenieść duże obciążenia przy małych odkształceniach (AR, PVA), jak i z takich, które ulegają znacznym odkształceniom przy relatywnie niewielkich obciążeniach (PP, HDPE). Dlatego należy każdorazowo przeanalizować, na ile wpływ pełzania ważny jest dla trwałości danej budowli i dokonywać doboru materiałowego, biorąc pod uwagę wpływ środowiska gruntowego oraz sposobu obciążenia (dynamiczny, cykliczny, statyczny).

Należy podkreślić, że wraz z uzyskaniem pozwolenia na budowę dla danego projektu nie kończy się odpowiedzialność projektanta. Rzetelny dobór produktów

i materiałów w czasie budowy stanowi również bardzo ważną fazę i tutaj właśnie mogą być pomocne w/w dokumenty polskie i wymagania EBA [1].

3. Porównanie funkcji materiałów geosyntetycznych wg Instrukcji Id-3 oraz zaleceń Federalnego Urzędu Kolejnictwa (EBA)

Wiążące przepisy określające wymagania jakie muszą spełnić materiały geosyntetyczne stosowane przy realizacji inwestycji kolejowych w Polsce określone zostały w Warunkach Technicznych utrzymania podtorza kolejowego (Instrukcja Id-3), Załącznik 6, 2009 r. [2]. Wyszczególnione w nim zostały 3 grupy funkcji, w jakich przewiduje się stosowanie materiałów geosyntetycznych:

- 1) Element filtracyjny;
- 2) Element rozdzielająco-filtracyjny;
- 3) Element wzmacniający torowisko.

Dla każdej z funkcji określone zostały minimalne wymagania, jakie muszą spełnić materiały geosyntetyczne. Jeśli dany produkt wykorzystuje się do kilku funkcji (geokompozyt), musi on spełnić wszystkie wymagania przewidziane dla tych zastosowań.

Federalny Urząd Kolejnictwa (EBA) w najnowszych wytycznych z dnia 1 lipca 2014 roku [1] dotyczących stosowania materiałów geosyntetycznych w modernizowanych i nowobudowanych liniach kolejowych znacząco rozszerzył listę możliwych zastosowań dla tych materiałów. W stosunku do obowiązujących dotąd wytycznych z 2007 roku lista została rozbudowana z 6 do 12 pozycji i określa ona podobnie jak w przypadku polskich przepisów funkcje, jakie mogą pełnić zastosowane materiały geosyntetyczne. Ponadto znacznie zaostrzono wymagania stawiane materiałom geosyntetycznym.

- 1) Element filtracyjny w systemach odwadniających torowisko;
- 2) Element separacyjno-filtracyjny pod warstwami nośnymi (ochronnymi);
- 3) Element zbrojący, spełniający również funkcje separacyjną i filtracyjną¹⁾;
- 4) Element zbrojeniowy w podtorzu¹⁾;
- 5) Element izotropowy³⁾ zbrojący budowlę ziemną²⁾;
- 6) Element anizotropowy⁴⁾ zbrojący budowlę ziemną²⁾;
- 7) Element ekstremalnie anizotropowy⁵⁾ zbrojący budowlę ziemną²⁾;
- 8) Element o wysokiej odporności alkalicznej odwadniający zasypki przyczółków i ścian oporowych;
- 9) Element uszczelniający w budowlach ziemnych (maty bentonitowe);
- 10) Element uszczelniający w budowlach ziemnych (geomembrany);
- 11) Element ochronny mat bentonitowych i geomembran w budowlach ziemnych;
- 12) Geowłókniny stosowane do ulepszenia parametrów torowiska na istniejących; liniach (stosowane bezpośrednio pod tłucznem podsypki);

Objaśnienie:

- 1) Projektant decyduje o przydatności danego materiału bazując na swojej wiedzy i doświadczeniu.
- 2) Projektant zobligowany jest przedłożyć odpowiednie obliczenia potwierdzające przydatność danego materiału.
- 3) Materiał charakteryzujący się jednakową sztywnością osiową w dwóch kierunkach (tzw. materiał dwukierunkowy) [4]:

$$\omega = \frac{J_{cmd}}{J_{md}} = 1$$

gdzie:

J_{cmd} - sztywność osiowa w kierunku poprzecznym dla zakładanego naprężenia,

J_{md} - sztywność osiowa w kierunku głównym dla zakładanego naprężenia.

- 4) Materiał charakteryzujący się różną sztywnością osiową w dwóch kierunkach (tzw. materiał jednokierunkowy) [4]:

$$\omega = \frac{J_{cmd}}{J_{md}} \neq 1$$

oznaczenia patrz ³⁾

- 5) Materiał charakteryzujący się ekstremalnie różną sztywnością osiową w dwóch kierunkach (tzw. materiał ekstremalnie jednokierunkowy) [4]:

$$\omega = \frac{J_{md}}{J_{cmd}} \geq 10$$

oznaczenia patrz ³⁾.

Dla każdej z funkcji określone zostały minimalne wymagania, jakie muszą spełnić materiały geosyntetyczne przeznaczone do zabudowy.

Federalny Urząd Kolejnictwa (EBA) pokusił się w swoich wytycznych [1] o precyzyjne sklasyfikowanie funkcji, jakie mogą spełniać geosyntetyki odpowiadając tym samym na bardzo dynamiczny rozwój tej technologii materiałowej. Działaniem takim skutecznie uniemożliwiono zabudowywanie materiałów o wątpliwych parametrach, gdyż każda rodzina materiałów geosyntetycznych ma własną charakterystykę pracy, predysponującą lub eliminującą ją z danego zastosowania.

4. Wymagania stawiane materiałom geosyntetycznym wg Instrukcji Id-3

Poniżej zestawiono kompletne wymagania dla trzech funkcji materiałów:

Tabela 1. Wymagania dla geosyntetyków filtracyjnych (S) [2]

Lp.	Właściwość	Metoda badań	Wartość wymagana
1	Masa powierzchniowa	PN-EN ISO 9864:2007	$\geq 150 \text{ g/m}^2$ ¹⁾
2	Wytrzymałość na przebicie statyczne	PN-EN ISO 12236:2006(U)	$\geq 1,5 \text{ kN}$
3	Wskaźnik wodoprzepuszczalności prostopadłej przy nacisku 20 kPa	PN-EN ISO 11058:2002	$\geq 1 \times 10^{-3} \text{ m/s}$

4	Wielkość porów O_{90}	PN-EN ISO 2956:2002	0,06 – 0,15 mm ²⁾
5	Grubość przy nacisku 20 kPa	PN-EN ISO 9863-2:1996	$\geq 10 \times O_{90}$

Objaśnienia:

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

2) ze względu na kołmatację zaleca się stosować włókniny igłowane o wymiarach porów:

- 0,06 - 0,12 mm w gruntach drobnoziarnistych

- 0,08 – 0,15 mm w gruntach o grubszym uziarnieniu

Tabela 2. Wymagania dla geosyntetyków rozdzielająco-filtracyjnych (F) {2}

Lp.	Właściwość	Metoda badań	Wartość wymagana
1	Rodzaj geosyntetyku	-	włóknina
2	Masa powierzchniowa	PN-EN ISO 9864:2007	≥ 250 g/m ²
3	Wytrzymałość na przebicie statyczne(badanie CBR)	PN-EN ISO 12236:2006(U)	$\geq 2,0$ kN
4	Wytrzymałość na przebicie dynamiczne (średnica otworu)	PN-EN ISO 13433:2006(U)	≤ 20 mm
5	Wytrzymałość na rozciąganie	PN ISO 10319:1996/Ap1:1998	≥ 16 kN/m
6	Wydłużenie przy zerwaniu		50 - 100%
7	Wodoprzepuszczalność w kierunku prostopadłym do powierzchni wyrobu	PN-EN ISO 11058:2002	$\geq 1 \times 10^{-4}$ m/s ¹⁾ $\geq 5 \times 10^{-4}$ m/s ²⁾
8	Zdolność przepływu wody w płaszczyźnie wyrobu przy nacisku 20kPa		nie określa się ¹⁾ $\geq 5 \times 10^{-4}$ m/s ²⁾
9	Wielkość porów O_{90}	PN-EN ISO 2956:2002	0,06 - 0,20 mm ³⁾
10	Grubość przy nacisku 20 kPa	PN-EN ISO 9863-2:1999	$\geq 15 \times O_{90}$

Objaśnienia:

1) dotyczy materiału do separacji warstw gruntowych

2) dotyczy materiału do separacji warstw i poprzecznego odprowadzenia wód

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

- 0,06 - 0,12 mm w gruntach spoistych

- 0,08 – 0,20 mm w gruntach niespoistych

Tabela 3. Wymagania dla geosiatek wzmacniających torowisko (R) {2}

Lp.	Właściwość	Metoda badań	Wartość wymagana
1	Rodzaj geosiatki (anizotropowość wytrzymałości na rozciąganie)	-	dwuosiowa ($\leq 25\%$) ¹⁾
2	Wytrzymałość na zrywanie ($F_{o,k}$)	PN ISO 10319:1996/ Ap1:1998	według projektu ²⁾ nie mniejsza jednak niż 20 kN/m
3	Moduł przy wydłużeniu materiału 2, 3 lub 5%		według projektu ³⁾ , kN/(m%)
4	Maksymalne wydłużenie przy rozciąganiu wszerz		$\leq 20\%$

5	Wytrzymałość węzła zgrzewanego lub sklejanego	GRI Test Method GG2-87:1988	$\geq 30\%$ Wytrzymałość pojedynczego zębra ⁴⁾
6	Wymiary oczek	pomiar bezpośredni	według projektu ⁵⁾

Objaśnienia:

1) stosunek wytrzymałości w obu kierunkach powinien być mniejszy od 1:1,25

2) orientacyjne wytrzymałości zależne od modułów odkształceń podłoża wynoszą:

$$E < 10 \text{ MPa} \quad F_{0,k} \geq 40 \text{ kN/m}$$

$$E = 10 \div 20 \text{ MPa} \quad F_{0,k} \geq 30 \text{ kN/m}$$

$$E > 20 \text{ MPa} \quad F_{0,k} \geq 15 \text{ kN/m}$$

3) stosunek wytrzymałości na rozciąganie do maksymalnego wydłużenia (jeśli moduł nie jest znany, można przyjąć, że w przybliżeniu wynosi on 2 x wytrzymałość na rozciąganie/ maksymalne wydłużenie)

4) wstępnie należy sprawdzić, czy węzeł daje się rozerwać rękami

5) wymiary oczek przyjmuje się $\geq 1,7 d_{\text{ś}}$ ęruszywa, zawierające się jednak w przedziale 20-70 mm

5. Wybrane wymagania stawiane materiałom geosyntetycznym wg Federalnego Urzędu Kolejnictwa (EBA)

W związku z bardzo rozbudowanymi wytycznymi EBA (normatyw zawiera 38 stron)[1], przedstawione zostaną tylko kluczowe wymagania dla materiałów geosyntetycznych pełniących następujące funkcje:

- Element filtracyjny w systemach odwadniających torowisko,
- Element separacyjno-filtracyjny pod warstwami nośnymi (ochronnymi),
- Element izotropowy zbrojący budowlę ziemne (wybór materiału poparty obliczeniami),
- Element ekstremalnie anizotropowy zbrojący konstrukcje ziemne (wybór materiału poparty obliczeniami).

Objaśnienia:

- 1) DPM - Dowód Przydatności Materiału. Parametry materiału (produktu) muszą być potwierdzone przez niezależne, akredytowane jednostki badawcze uznawane przez EBA. W innych przypadkach (brak symbolu „x”) producent zobligowany jest do dostarczenia Deklaracji Właściwości Użytkowych (DWU). DPM należy złożyć wraz z wnioskiem o dopuszczenie materiału do zabudowy.
- 2) Niezależna Kontrola Produkcji w/g DIN 18 200- badania potwierdzające parametry materiału w trakcie realizacji inwestycji należy przeprowadzić minimum raz w roku w niezależnej jednostce badawczej akredytowanej przez EBA.

Tabela 4. Element filtracyjny w systemach odwadniających torowisko {1}

Lp.	Właściwość	Metoda badań	Jedn.	Wartość wymagana	DPM ¹⁾	Ważność DPM	Częstotliwość kontroli produktu przez Wykonawcę / Dostawcę	Niezależna kontrola produkcji ²⁾
1	Krótkoterminowa wytrzymałość na rozciąganie (F_{ok}): wzdłuż i w poprzek	DIN EN ISO 10319	kN/m	≥ 10	x	≤ 1 rok	$\leq 20\ 000\ m^2$	-
2	Wydłużenie względne przy rozciąganiu: wzdłuż i w poprzek	DIN EN ISO 10319	%	≥ 20	x	≤ 1 rok	$\leq 20\ 000\ m^2$	-
3	Charakterystyczna wielkość porów O_{90}	DIN EN ISO 12956	μm	$80 \leq O_{90} \leq 160$	x	≤ 1 rok	$\leq 100\ 000\ m^2$	x
4	Grubość pod naciskiem kPa	DIN EN ISO 9863-1	mm	$d \geq 10 \times O_{90}$	x	≤ 1 rok	$\leq 100\ 000\ m^2$	x
5	Wodoprzepuszczalność przy nacisku 20 kPa	DIN 60500 część4	m/s	$\geq 1 \times 10^{-3}$	x	≤ 1 rok	-	x
6	Przepuszczalność wody prostopadła do płaszczyzny (rozrzut wyników badania w stosunku do wartości deklarowanej)	DIN EN ISO 11058	%	≤ 10	x	≤ 1 rok	$\leq 100\ 000\ m^2$	x
7	Trwałość	Dodatek B DIN EN 13249	%	≥ 50	x	≤ 1 rok	-	-
8	Odporność na warunki atmosferyczne	DIN EN ISO 12224	%	≥ 60	x	≤ 1 rok	-	-
9	Klasa wytrzymałościowa	M Geok E	GRK	3	x	≤ 1 rok	$\leq 20\ 000\ m^2$	x
10	Nieszkodliwy wpływ na środowisko naturalne	M Geok E	-	Świadectwo	x	≤ 1 rok	-	-

Tabela 5. Element separacyjno-filtracyjny pod warstwami nośnymi (ochronnymi) {1}

Lp.	Właściwość	Metoda badań	Jedn.	Wartość wymagana	DPM ¹⁾	Ważność DPM	Częstotliwość kontroli produktu przez Wykonawcę / Dostawcę	Niezależna kontrola produkcji ²⁾
1	Krótkoterminowa wytrzymałość na rozciąganie (F_{ok}): wzdłuż i w poprzek	DIN EN ISO 10319	kN/m	≥ 10	x	≤ 1 rok	$\leq 20\ 000\ m^2$	-
2	Wydłużenie względne przy rozciąganiu: wzdłuż i w poprzek	DIN EN ISO 10319	%	≥ 20	x	≤ 1 rok	$\leq 20\ 000\ m^2$	-
3	Charakterystyczna wielkość porów O_{90}	DIN EN ISO 12956	μm	$80 \leq O_{90} \leq 160$	x	≤ 1 rok	$\leq 100\ 000\ m^2$	x
4	Grubość pod naciskiem 2 kPa	DIN EN ISO 9863-1	mm	$d \geq 15 \times O_{90}$	x	≤ 1 rok	$\leq 100\ 000\ m^2$	x
5	Wodoprzepuszczalność przy nacisku 20 kPa	DIN 60500 część4	m/s	$\geq 1 \times 10^{-3}$	x	≤ 1 rok	-	x
6	Przepuszczalność wody prostopadła do płaszczyzny (rozrzut wyników badania w stosunku do wartości deklarowanej)	DIN EN ISO 11058	%	≤ 10	x	≤ 1 rok	$\leq 100\ 000\ m^2$	x

7	Trwałość	D o d a t e k B DIN EN 13249	%	≥ 50	x	≤ 1 rok	-	-
8	Odporność na warunki atmosferyczne	DIN EN ISO 12224	%	≥ 60	x	≤ 1 rok	-	-
9	Klasa wytrzymałościowa	M Geok E	GRK	4	x	≤ 1 rok	$\leq 20\,000\text{ m}^2$	x
10	Nieszkodliwy wpływna środowisko naturalne	M Geok E	-	Świadectwo	x	≤ 1 rok	-	-

Tabela 6. Element izotropowy zbrojący budowlę ziemne (wybór materiału popyarty obliczeniami) {1}

Lp.	Właściwość	Metoda badań	Jedn.	Wartość wymagana	DPM ¹⁾	Ważność DPM	Częstotliwość kontroli produktu przez Wykonawcę / Dostawcę	Niezależna kontrola produkcji ²⁾
1	Krótkoterminowa wytrzymałość na rozciąganie ($F_{0,k}$): wzdłuż i w poprzek	DIN EN ISO 10319	kN/m	≥ 40	x	≤ 1 rok	$\leq 5\,000\text{ m}^2$	x
2	Wytrzymałość na rozciąganie przy wydłużeniu 3%: wzdłuż i w poprzek	DIN EN ISO 10319	kN/m	≥ 10	x	≤ 1 rok	$\leq 5\,000\text{ m}^2$	x
3	Anizotropowość przy wydłużeniu 3% w kierunku wzdłuż i w poprzek	EBGEO	%	≤ 25	-	≤ 1 rok	-	-
4*	Charakterystyczna długotrwała wytrzymałość na rozciąganie F_k wzdłuż i w poprzek. Dla okresu użytkowania 100 lat.	EBGEO	kN/m	≥ 25	x	≤ 1 rok	-	-
5*	Współczynnik A_1	EBGEO	-	Współczynnik	x	≤ 5 rok	-	-
6*	Współczynnik A_2				-	-	-	-
7*	Współczynnik A_3				x	≤ 5 rok	-	-
8	Wodoprzepuszczalność przy nacisku 20 kPa	DIN 60500 część4	m/s	$\geq 1 \times 10^{-3}$	x	≤ 1 rok	-	x
10	Wodoprzepuszczalność wody prostopadła do płaszczyzny (rozrzut wyników badania w stosunku do wartości deklarowanej)	DIN EN ISO 11058	%	≤ 10	x	≤ 1 rok	$\leq 100\,000\text{ m}^2$	x
10	Trwałość	D o d a t e k B DIN EN 13249	%	≥ 50	x	≤ 1 rok	-	-
11	Odporność na warunki atmosferyczne	DIN EN ISO 12224	%	≥ 60	x	≤ 1 rok	-	-
12	Nieszkodliwy wpływ na środowisko naturalne	M Geok E	-	Świadectwo	x	≤ 1 rok	-	-

* - Patrz pkt 6.

Tabela 7. Element ekstremalnie anizotropowy zbrojący budowlę ziemne (wybór materiału poparty obliczeniami) [1]

Lp.	Właściwość	Metoda badań	Jedn.	Wartość wymagana	DPM ¹⁾	Ważność DPM	Częstotliwość kontroli produktu przez Wykonawcę / Dostawcę	Niezależna kontrola produkcji ²⁾
1	Krótkoterminowa wytrzymałość na rozciąganie ($F_{o,k}$): wzdłuż	DIN EN ISO 10319	kN/m	≥ 80	x	≤ 1 rok	$\leq 5\ 000\ m^2$	x
2	Krótkoterminowa wytrzymałość na rozciąganie ($F_{o,k}$): w poprzek	DIN EN ISO 10319	% (wzdłuż)	≥ 10	x	≤ 1 rok	$\leq 5\ 000\ m^2$	x
3	Stosunek sztywności na rozciąganie przy zerwaniu (wzdłuż/w poprzek)	EBGEO	-	$\leq 1/2$	-	≤ 1 rok	-	-
5*	Charakterystyczna długotrwała wytrzymałość na rozciąganie F_k wzdłuż. Dla okresu użytkowania 100 lat	EBGEO	kN/m	≥ 25	x	≤ 1 rok	-	-
6*	Współczynnik redukcyjny A_1	EBGEO	-	Współczynnik	x	≤ 5 rok	-	-
7*	Współczynnik redukcyjny A_2				-	-	-	-
8*	Współczynnik redukcyjny A_4				x	≤ 5 rok	-	-
9	Wodoprzepuszczalność przy nacisku 20 kPa	DIN 60500 część 4	m/s	$\geq 1 \times 10^{-3}$	x	≤ 1 rok	-	x
10	Wodoprzepuszczalność wody prostopadła do płaszczyzny (rozrzut wyników badania w stosunku do wartości deklarowanej)	DIN EN ISO 11058	%	≤ 10	x	≤ 1 rok	$\leq 100\ 000\ m^2$	x
11	Trwałość	D o d a t e k B DIN EN 13249	%	≥ 50	x	≤ 1 rok	-	-
12	Odporność na warunki atmosferyczne	DIN EN ISO 12224	%	≥ 60	x	≤ 1 rok	-	-
13	Nieszkodliwy wpływ na środowisko naturalne	M Geok E	-	Świadectwo	x	≤ 1 rok	-	-

* - Patrz pkt 6.

Porównując polskie wytyczne z niemieckimi należy zauważyć, że EBA [1] wymaga dla standardowych zastosowań co najmniej dwukrotnie wyższej wytrzymałości krótkoterminowej ($F_{o,k}$) na rozciąganie. Ponadto dla materiałów zbrojących podsypkę oraz budowlę ziemne (izotropowych, jak również anizotropowych) wymaga się określenia charakterystycznej wytrzymałości długotrwałej (F_k), co zupełnie pominięto w Id-3 [2]. W związku z tym zadziwiać może fakt szczegółowego sformułowania dotyczącego sztywności i wytrzymałości węzłów geosiatek Id-3 [2], pomimo, że parametry te nie mają bezpośredniego wpływu na proces projektowania. Oczywistym jest, że zbrojenie powinno mieć wytrzymałość strukturalną zapewniającą jego właściwe zazębienie i zakotwienie się w gruncie. Jednak właściwym parametrem powinien być tu współczynnik zazębienia się geosiatki z gruntem ustalony w oparciu o badania na wyciąganie lub ścinanie wzdłuż geo-

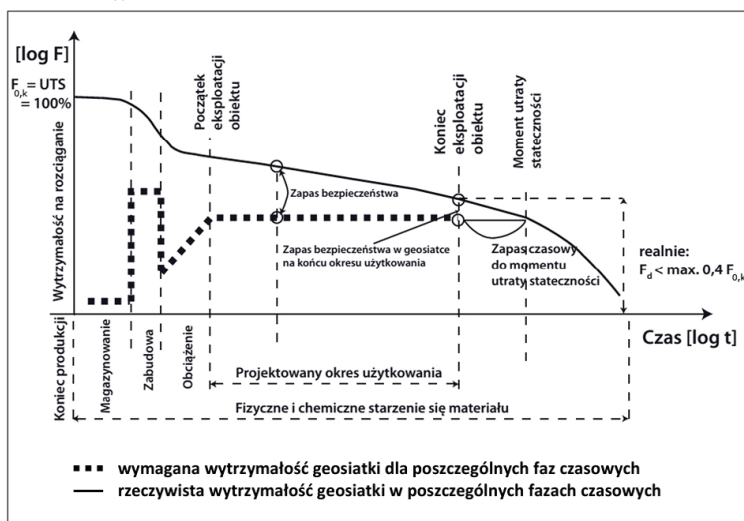
syntetyku. EBA [1] w tym zakresie odsyła do EBGeo2010 [4], gdzie podane są zasady takich badań i obliczania sił zakotwienia zbrojenia lub oporu przy poślizgu gruntu po zbrojeniu. Takie samo podejście można znaleźć w brytyjskiej normie BS 8006:2010, czy też we francuskich normach: NF P94-270 (07.2009) i XP G 38-064 (08.2010). Stąd też zapis ten należałoby usunąć w nowej edycji Id-3.

Na uwagę zasługują również bardzo rygorystyczne wymagania EBA [1] jedynie badań materiałów geosyntetycznych. Producent chcąc dostarczyć dany materiał (produkt) na budowę musi złożyć szereg dokumentów oraz wyników badań przeprowadzonych w niezależnych i akredytowanych jednostkach badawczych, których termin ważności upływa najczęściej po roku czasu. Jest to pierwszy etap kontroli przydatności materiału, drugim są bieżące badania kontrolne na budowie sprawowane przez Wykonawcę lub Dostawcę z określoną w wymaganiach częstotliwością. A trzecim programem jest niezależny nadzór produkcji prowadzony zgodnie z normą DIN 18200.

6. Długoterminowa wytrzymałość na rozciąganie materiałów geosyntetycznych

Dobór wszystkich materiałów geosyntetycznych, stosowanych zwłaszcza w modernizacji linii dużych prędkości, powinien podlegać szczegółowym obliczeniom, co w formie końcowych specyfikacji umożliwi sformułowanie wymagań dotyczących:

- określenia wymaganej wartości obliczeniowej wytrzymałości długoterminowej F_d dla stanu granicznego nośności, rys. 4,
- określenia wymaganej wartości charakterystycznej wytrzymałości długoterminowej $F_{k(e)}$ dla stanu granicznego użyteczności, rys. 4.



Rys. 4. Zmienność wytrzymałości na rozciąganie geosyntetyku w trakcie budowy i eksploatacji obiektu

Zasada wymiarowania konstrukcji z gruntu zbrojonego geosyntetykami polega przede wszystkim na sprawdzeniu dwóch stanów granicznych:

- Stan graniczny nośności (SGN),
- Stan graniczny użyteczności (SGU).

Stan graniczny nośności należy sprawdzać w każdym przypadku, natomiast stan graniczny użyteczności sprawdzamy, gdy powstają ograniczenia dotyczące przemieszczeń konstrukcji, czyli osiadania, obrotu, a także dopuszczalnych odkształceń zależnych od konstrukcji. Stany graniczne nośności należy sprawdzać przyjmując wszystkie wartości, jako obliczeniowe, natomiast stany graniczne użyteczności należy sprawdzać posługując się wartościami charakterystycznym.

Stan graniczny nośności:

Sprawdzając stateczność konstrukcji należy wykazać, że dla najbardziej niekorzystnej i najbardziej prawdopodobnej linii poślizgu fragment, który został wydzielony linią poślizgu nie utraci równowagi pod działaniem obliczeniowych wartości obciążeń, parametrów gruntu oraz wytrzymałości zbrojenia na linii poślizgu [8].

Warunek obliczeniowy:

$$E_d \leq R_d \quad (1)$$

Objaśnienia:

E_d – wartość obliczeniowa siły lub momentu działający na linii poślizgu,

R_d – wielkość obliczeniowa oporu konstrukcji wzdłuż linii poślizgu, przeciwstawiającego się zsuwaniu.

R_d ustala się, jako sumę oporu granicznego wynikającego z wytrzymałości gruntu R_{dg} i zbrojenia F_d . Należy zakładać, że przy ustalaniu oporu granicznego R_d we wszystkich pasmach zbrojenia na linii poślizgu siły w zbrojeniu są równe mniejszej z sił wynikających z wytrzymałości zbrojenia na rozciąganie F_d oraz na wyciąganie T_d w stanie równowagi granicznej [8].

Wyznaczanie charakterystycznej długotrwałej wytrzymałości na rozciąganie geosyntetyku F_k wg Instrukcji ITB nr 429/2007 [3]:

$$F_k = \frac{F_{o,k}}{A_1 \times A_2 \times A_3 \times A_4 \times A_5} \quad (2)$$

Wyznaczanie obliczeniowej wytrzymałości na rozciąganie geosyntetyku F_d wg Instrukcji ITB nr 429/2007 [3]:

$$F_d = \frac{F_k}{\gamma_f} \quad (3)$$

Objaśnienia:

$F_{o,k}$ – wartość krótkoterminowej wytrzymałości na rozciąganie,

A_1 – współczynnik redukcyjny, uwzględniający pełzanie, indywidualnie ustalany dla danego konkretnego produktu, typu i odmiany - ustalany w oparciu o PN-EN ISO 13 431. Badania pozwalające na określenie tego współczynnika dla konkretnego materiału, konkretnego producenta muszą

trwać co najmniej 10 000 godzin. Wartość tego współczynnika jest zależna od rodzaju polimeru i procesu produkcji materiału, zaleca się stosować badania w/g ISO TR 20.432,

- A_2 – materiałowy współczynnik redukcyjny, uwzględniający uszkodzenia mechaniczne powstałe w trakcie transportu, instalacji i wbudowania materiału zasypowego. Wartość tego współczynnika zależy od indywidualnego charakteru i od typu danego produktu, polimeru, rodzaju kruszywa, materiału podłoża i materiału nasypowego oraz zastosowanej techniki zagęszczania,
- A_3 – współczynnik materiałowy, uwzględniający straty na połączeniach (np. szwy),
- A_4 – współczynnik materiałowy, uwzględniający wpływ środowiska gruntowego,
- A_5 – w EBGeo [4] uwzględnia się dodatkowo współczynnik redukcyjny uwzględniający zmęczenie materiałowe w wyniku obciążeń cyklicznych lub dynamicznych, w wytycznych EBA [1] pomija się jeszcze wpływ współczynnika A_5 ,
- γ_f – cząstkowy współczynnik bezpieczeństwa materiałowego: propozycja autorów artykułu:
 - stan obciążeń podstawowy: $\gamma_f = 1,40$,
 - stan budowlany lub remontowy: $\gamma_f = 1,30$,
 - stan wyjątkowy (powodzie, wybuchy, udary...): $\gamma_f = 1,20$.

Z uwagi na trwałość i niezawodność konstrukcji szczególna uwaga powinna być zwrócona na wiarygodność współczynnika A_1 – m.in. poprzez pełne udokumentowanie wyników badań pełzania lub badań długoterminowych produktu na pełzanie. Współczynniki redukcyjne $A_1 \div A_4$ (a w zasadzie już i A_5) powinny być zdefiniowane w raportach z badań wykonanych przez akredytowane jednostki badawcze np. Instytut Kolejnictwa. W przypadku braku odpowiednich badań, wartości współczynników mogą zostać przyjęte na podstawie polskich wytycznych ITB nr 429 [3].

Stan graniczny użyteczności:

Sprawdzenie stanu granicznego odkształceń konstrukcji można przeprowadzić przez kontrolę odkształceń zbrojenia, wówczas warunek niewystąpienia stanu granicznego przyjmuje się w postaci [3]:

$$\varepsilon \leq \varepsilon_{gr} \quad (4)$$

Objaśnienia:

- ε - maksymalna wielkość wydłużenia zbrojenia z uwzględnieniem pełzania w projektowanym okresie użytkowania konstrukcji,
- ε_{gr} - dopuszczalna wielkość wydłużenia zbrojenia, patrz instrukcja ITB 429/2007, [3].

W większości przypadków postępuje się w ten sposób, że z izochron wyznacza się dopuszczalny stopień obciążenia geosyntetyku β dla danego ε_{gr} , a następnie

oblicza wartość charakterystycznej wytrzymałości długotrwałej ze względu na dopuszczalne wydłużenie:

$$F_{k(\varepsilon)} = \frac{F_{o,k} \times \beta}{A_2 \times A_3 \times A_4} \quad (5)$$

W przypadku podpór mostowych należy również wyznaczyć charakterystyczną wytrzymałość długotrwałą dla dopuszczalnego przyrostu wydłużenia geosyntetyku $\Delta\varepsilon \leq 0,5\%$ w stanie eksploatacji:

$$F_{k(\Delta\varepsilon)} = \frac{F_{o,k} \times \beta_{(\Delta\varepsilon)}}{A_2 \times A_3 \times A_4} \quad (6)$$

gdzie: $\beta_{(\Delta\varepsilon)}$ – dopuszczalny stopień obciążenia zbrojenia z uwagi na przyrost wydłużenia przy peźzaniu w okresie eksploatacji budowli.

Mniejsza z wartości $F_{k(\varepsilon)}$ i $F_{k(\Delta\varepsilon)}$ jest decydująca i brana do obliczeń w ramach stanu granicznego użytkowości. Następnie przeprowadza się dowód spełnienia warunku stateczności dla ograniczonych wydłużeń zbrojenia:

$$E_k \leq R_k \quad (7)$$

Objaśnienia:

E_k – wartość charakterystyczna siły lub momentu działającego na linii poślizgu,

R_k – wielkość charakterystyczna oporu konstrukcji wzdłuż linii poślizgu, przeciwstawiającego się zsuwaniu.

R_k ustala się, jako sumę charakterystycznej wielkości oporu wynikającego z wytrzymałości gruntu R_{kg} i zbrojenia $F_{k(\varepsilon)}$ lub $F_{k(\Delta\varepsilon)}$. Należy zakładać, że przy ustalaniu wartości oporu R_k we wszystkich pasmach zbrojenia na linii poślizgu siły w zbrojeniu są równe mniejszej z sił wynikających z wytrzymałości zbrojenia na rozciąganie $\min. \{F_{k(\varepsilon)}, F_{k(\Delta\varepsilon)}\}$ oraz oporu na wyciąganie T_k w stanie granicznym użytkowości.

Ostatecznie w specyfikacji technicznej odnoszącej się do zbrojących materiałów geosyntetycznych powinny być wyszczególnione następujące wartości: F_d , $F_{k(\varepsilon)}$ i $F_{k(\Delta\varepsilon)}$. Dobór geosyntetyku powinien uwzględniać wszystkie wartości współczynników redukcyjnych, a ich źródło w formie protokołu z badań przedłożone do weryfikacji. Należy zwrócić uwagę, że współczynnik zazębienia się zbrojenia z gruntem powinien być zdefiniowany w specyfikacji technicznej, ponieważ wielkość ta jest wykorzystywana w obliczeniach statycznych. Postulowana w Id-3 [2], „Wytrzymałość węzła zgrzewanego lub sklejanego” powinna być całkowicie pominięta, ponieważ parametr ten nie jest uwzględniany w procesie projektowym.

7. Podsumowanie

Przedstawione porównanie wymagań niemieckich i polskich wskazuje, że Id-3 [2] w bardzo ograniczonym zakresie opisuje zastosowania geosyntetyków w kolejnictwie. W Id-3 [2] uwzględnia się jedynie 3 funkcje materiałów geosyntetycznych, podczas, gdy w niemieckich wymaganiach 7 [1]. Ponadto zbrojenia klasyfikuje się jako izotropowe, anizotropowe i ekstremalnie anizotropowe. Pozwala to odróżniać zbrojenia w nawierzchni lub podtorzu, od zbrojenia stosowanego w podstawie nasypów, czy też ścianach oporowych.

Generalnie można stwierdzić, że dla zbrojenia podtorza dopuszcza się w Id-3 [2] dwukrotnie mniejszą wytrzymałość krótkoterminową na rozciąganie zbrojenia, niż dopuszcza EBA [1], wynikającą z warunków konstrukcyjnych. Z punktu widzenia praktyki wartość progowa krótkoterminowej wytrzymałości na rozciąganie 20 kN/m w Id-3 [2] jest zdecydowanie zbyt niska, a zatem z tak słabym zbrojeniem w podtorzu nie można spodziewać się poprawy nośności lub trwałości torowiska.

Osobnym zagadnieniem jest Dowód Przydatności Materiału (DPM), który w dokumencie EBA [1] stanowi ważny element w procesie budowy. DPM musi być poparty wynikami badań i stosownymi obliczeniami, bez DPM nie można wbudować materiału na Niemieckich Kolejach.

Bardzo ważna jest również częstotliwość kontroli produktu dostarczanego na budowę. W EBA [1] zdefiniowano zarówno zakres, jak i częstotliwość tych badań, których wyniki należy przedłożyć do akceptacji nadzorowi budowlanemu. Niespełnienie tego warunku uniemożliwia wbudowanie geosyntetyku lub wiązać się będzie z brakiem odbioru robót. Niezależna kontrola produkcji, która odbywa się w ramach nadzoru produkcji wg DIN 18 200, stanowi jeszcze jeden próg kontrolny, który powinien zapewniać, że dostarczany materiał spełnia wszystkie wymagania specyfikacji technicznej.

Z porównania wynika, że należałoby rozszerzyć zakres Id-3 [2] na inne funkcje, jakie mają spełniać materiały geosyntetyczne oraz uwzględnić zbrojenia anizotropowe, czy też ekstremalnie anizotropowe, które najczęściej stosuje się w ścianach oporowych, przyczółkach oraz w podstawach nasypów. Poza zakresem badań należałoby określić ich częstotliwość i opracować warunki sprawowania nadzoru i odbioru robót.

Bibliografia

- [1] Prüfungsbedingungen für Geokunststoffe des Eisenbahn-Bundesamtes (Wytyczne Federalnego Urzędu Kolejnictwa (EBA) dotyczące badań geosyntetyków), Bonn, 01.07.2014.
- [2] Warunki Techniczne utrzymania podtorza kolejowego, Id-3, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa, 2009.

-
- {3} Projektowanie konstrukcji oporowych, stromych skarp i nasypów z gruntu zbrojonego geosyntetykami. Instrukcja ITB 429/2007.
 - {4} DGGT.: Recommendations for Design and Analysis of Earth Structures using Geosynthetic Reinforcements – EBGEO, Ernst & Sohn, 2010.
 - {5} Basiewicz T., Kłosek K., Konstrukcja podłoża szynowego 4P o podwyższonej zdolności eksploatacyjnej. Materiały V Krajowej Konferencji Naukowej Drogi Kolejowe, Gdańsk 1989.
 - {6} Kłosek K., The Diagnostic of New Permanent Way Type under the Conditions of Great Service Load of Rolling Stock. International Heavy Haul Railway Conference, Montreal, Quebec, Canada, 1996; p.7.59-7.67.
 - {7} Kłosek K., Sobolewski J., Ajdukiewicz.: Przykłady zastosowania geosyntetyków w celu poprawy nośności podtorza w rewitalizacji i w budowie nowych szlaków kolejowych. Materiały Konferencji Naukowej, SITK Nowoczesne Technologie i Systemy Zarządzania w Transporcie Szynowym, Kraków, Zakopane 2011.
 - {8} Sobolewski J., Pilch M., Technologie gruntu zbrojonego geosyntetykami. Zastosowanie w konstrukcjach mostowych. Badania i zasady wymiarowania. Inżynier Budownictwa, styczeń 2009, str. 70-74.

