

Jacek AJDUKIEWICZ

Przedsiębiorstwo Realizacyjne „INORA”

WYBRANE ASPEKTY DOBORU WŁÓKNIN W KONSTRUKCJACH PODTORZY

Streszczenie. W artykule poruszono znaczenie dwóch ważnych parametrów: odporności na ścieranie oraz zdolności poziomej wodoprzewodności włóknin igłowanych nietkanych (non-wovens) dla zastosowania ich w formie warstw separacyjno-filtracyjno-drenażowych w podtorzach, szczególnie w podtorzach kolejowych.

SOME ASPEKT OF FIBRE SELECTION FOR THE CONSTRUCTION OF TRACK SUBGRADE

Summary. The paper is focused on two significant parameters: shear resistance and horizontal water conductivity of non-woven fibre to be used in the form of separating-filtrating and draining layers in the subgrade.

1. Wprowadzenie

Coraz powszechniejsze stosowanie w budowie nowych i rekonstrukcjach oraz modernizacjach istniejących linii kolejowych w Polsce materiałów geosyntetycznych powoduje z jednej strony unowocześnienie samej konstrukcji podtorzy, lecz, niestety, z drugiej strony niejednokrotnie, zbyt krótką żywotność i sprawność eksploatacyjną tych obiektów.

Podstawowym powodem występowania negatywnych skutków w zakresie doboru geosyntetyków jest aktualna treść „Ustawy o zamówieniach publicznych”, wymuszająca niejako od wszystkich (oprócz projektantów projektu realizacyjnego) preferowanie najtańszych (czytaj: najgorszych, najmniej trwałych) rozwiązań technicznych i zastosowanych materiałów. Stąd też na projektantach i jednostkach zajmujących się ustalaniem standardów materiałowych dla potrzeb budownictwa kolejowego spoczywa niejako dodatkowy obowiązek takiego precyzowania w wykonywanych projektach i specyfikacjach projektowych parametrów technicznych przewidywanych do zastosowania materiałów, które by niejako z natury eliminowały materiały pośledniej jakości, wymuszając na wykonawcach stosowanie jakościowo dobrych materiałów, zapewniających ich trwałość w czasie eksploatacji linii kolejowej przez okres co najmniej wymaganej sprawności technicznej tej linii.

Posłużę się tu przykładem z dziedziny jakości materiałów mineralnych stosowanych w konstrukcjach zagranicznych. W Niemczech, w kraju znanym z perfekcjonizmu ekonomicznego, jeżeli chodzi o koszty ponoszone przez państwo i państwowe jednostki

gospodarze Deutsche Bundesbahn dopuszcza do zastosowania na liniach kolejowych jedynie dwa gatunki kruszyw mineralnych. Producenci kruszyw, chcąc dostarczać swe produkty dla DB, muszą dostosować się do wymogów specyfikacji, ale w zakresie tylko dwóch, a nie dwudziestu czy dwustu typów kruszyw.

2. Dobór włóknin

Jednym z bardzo ważnych a niedocenianych parametrów, jaki musi być brany pod uwagę przy projektowaniu podtorzy, jest głębokość zabudowy włóknin separacyjno-filtracyjnych w stosunku do położenia główki szyny. W różnych krajach w zależności głównie od klimatu, a także od natężenia ruchu pociągów i dopuszczalnych obciążeń na oś, włókniny umieszcza się na różnej głębokości od główki szyny.

Jako prawidłowość występuje zasada, iż im bliżej główki szyny umieszczona jest włóknina, tym większa powinna być jej grubość, wyższa odporność na ścieranie i lepsze parametry wodoprzepuszczalności poziomej i pionowej. Najpłycej lokują włókniny koleje kanadyjskie, na których obowiązuje wymóg minimalnej grubości pod obciążeniem 2kPa $g \geq 10\text{mm}$ i gramatury włókniny igłowanej nietkanej $\gamma \geq 1200\text{ g/m}^2$. W krajach europejskich takich jak np. Francja czy Belgia włókniny zabudowywane są na głębokości minimum $0,50\pm 0,70\text{m}$ od główki szyny. Wymogów grubościowych i gramaturowych dla tych wyrobów nie ustalono.

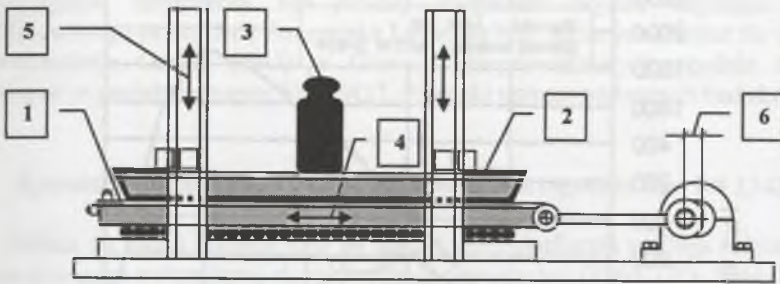
Niemniej jednak we wszystkich przypadkach przy usytuowaniu włóknin w podtorzach muszą być brane pod uwagę przez projektanta dwie wielkości charakterystyczne:

- odporność na ścieranie,
- zdolność ewakuacji wód poza obszar torowiska.

3. Odporność włóknin na ścieranie

Setki tysięcy czy miliony osi poruszających się po torowiskach pociągów mają bardzo poważny wpływ na wycieranie i ścieranie zabudowanych wewnątrz torowiska włóknin.

Przy cyklicznych obciążeniach w rozmieszczonych poziomo włókninach na stałym podłożu następuje występowanie objawów ścierania, które testowane są w badaniach bazujących generalnie na amerykańskiej normie ASTM 4668. Na zasadach przewidzianych tą normą oparty jest również projekt normy europejskiej pr EN 13427; 10-1998, w ramach której pomiarowi podlega zmniejszenie wytrzymałości na rozrywanie (po 750 cyklach pod obciążeniem 6 kg), a także stopień zmniejszenia masy próbek oraz zmiana ich porowatości po cyklu badawczym.



1 - klocek ścierający z płótnem ściernym kalibru 100 (P 100)

2 - próbka pomiarowa geosyntezy: 50 x 300 mm

3 - obciążenie: 6 kg (łącznie z klocek)

4 - liniowa wielkość suwów suwaka z materiałem ściernym: 25 mm

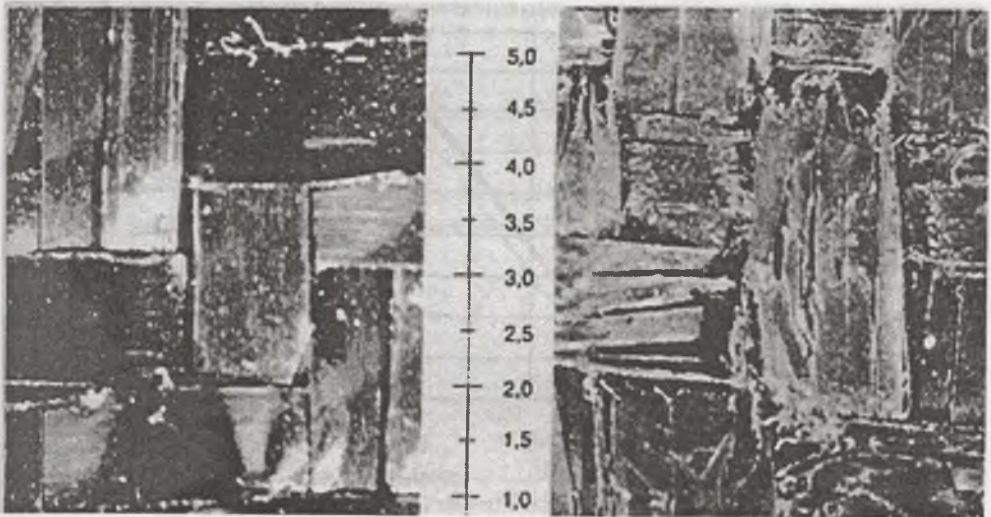
5 - prowadnice

6 - mimośrodowość napędu: 12,5mm

Rys.1. Stanowisko do badania wpływu geosyntezy na ścieranie (abrazję) odpowiadające warunkom projektu normy pr EN 13427; 10-1998

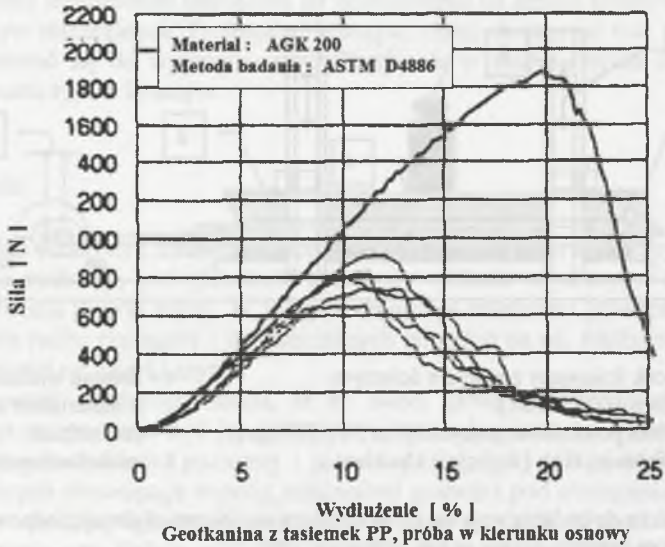
Fig.1. Place for testing geosynthetics towards abrasion suitable for design conditions, norm pr EN 13427; 10-1998

Poniższe rysunki stanowią zobrazowanie wyglądu próbki geotkaniny z tasiemką PP przed i po badaniach, a także wykresy wytrzymałości na rozrywanie zarówno w kierunku wątku, jak i osnowy, wg odczytów ze zrywania próbek pobranych przed i po badaniach na ścieranie.



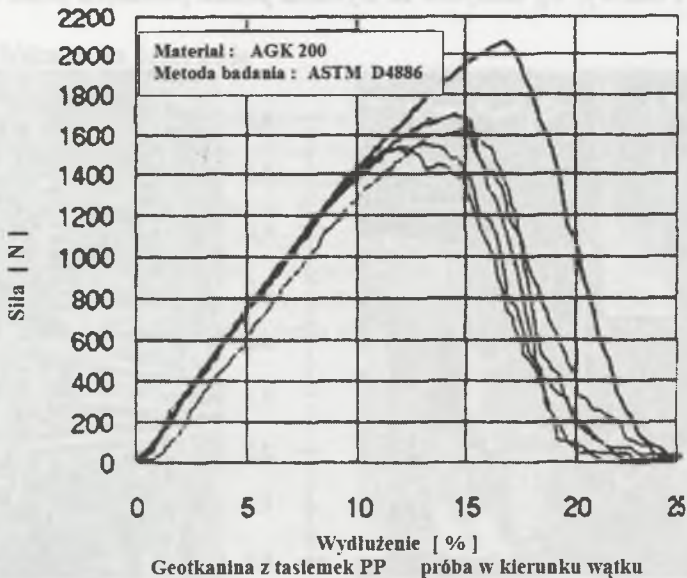
Rys.2a. Próbkę przed badaniem
Fig.2a. Sample before test

Rys.2b. Próbkę po badaniu
Fig.2b. Sample after test



Rys.3a. Krzywe przebiegu wielkości siła / odkształcenie dla geotkaniny z tasemek PP w kierunku osnowy przed poddaniem próbom na ścieranie (krzywe górne) oraz po wykonaniu prób (krzywe dolne)

Fig.3a. Quantity curves force / deformation for geotextile from PP tapes towards warp before testing for abrasion (upper curves) and after testing (lower curves)



Rys.3b. Krzywe przebiegu wielkości siła / odkształcenie dla geotkaniny z tasemek PP w kierunku wątku przed poddaniem próbom na ścieranie (krzywe górne) oraz po wykonaniu prób (krzywe dolne)

Fig. 3b. Quantity curves force / deformation for geotextile from PP tapes towards weft before testing for abrasion (upper curves) and after testing (lower curves)

W celu zobrazowania różnic występujących między włókninami wykonanymi w różnych technologiach zamieszcza się poniżej oryginalne wyniki uzyskane w badaniach certyfikowanego przez Unię Europejską Laboratorium, jakim jest Institut für textile Bau- und Umwelttechnik GmbH (tBU) w Greven, przeprowadzonych zgodnie z wytycznymi zawartymi w projekcie normy EN 13427. Warunki przeprowadzonych badań opisano poniżej.

3.1. Symulacja uszkodzeń wywołanych ścieraniem (zgodnie z pr EN 13427)

Próbka do badań umieszczona na nieruchomej platformie podlega ścieraniu przy użyciu płótna ściernego o określonej charakterystyce powierzchni (P100, ISO- 6544-2).

W warunkach kontrolowanego nacisku (6 kg +/- 0.01 kg) oraz działania ściernego (750 cykli) płótno ściernie przesuwane jest wzdłuż osi poziomej ruchem jednoosiowym (wzdłuż jednej osi). Odporność na ścieranie wyrażana jest procentem utraty maksymalnego naprężenia rozciągającego.

Określenie wytrzymałości na rozerwanie i wydłużenia wykonywane są zgodnie z ISO 5081 na próbkach poddanych ścieraniu oraz na próbkach referencyjnych.

3.2. Próbkki

Z materiału rodzimego należy pobrać min 10 próbek (5 jako próbki referencyjne, 5 do wykonania badania na ścieranie) o wymiarach 50 x 300 mm, w kierunku maszynowym (machinery direction; MD) oraz poprzecznie (cross machinery direction; CD) do tego kierunku.

3.3. Obliczenie wyników

Do określenia maksymalnego naprężenia rozciągającego stosuje się następujące równanie:

$$\text{utrata maksymalnego naprężenia rozciągającego} = \frac{100 * (A - B)}{A},$$

gdzie:

A = maksymalne obciążenie rozciągające dla próbki referencyjnej,

B = maksymalne obciążenie rozciągające dla próbki poddanej ścieraniu.

3.4. Zestawienie porównania wyników badań ścieralności dla różnych włókien pod kątem dopuszczenia ich stosowania w budownictwie kolejowym

Results

Material	Mass per unit area in g/m ²	Results of max. tensile load in kN/m				average loss on max. tensile load** in %	
		MD		CD		MD	CD
		reference	abrasion	reference	abrasion		
Fibertax F-4M							
mean*	313	16,4	15,2	20,4	16,2	+7,3	+10,8
deviation	18,1	1,00	1,19	3,08	2,51		
coefficient of variation	5,8%	6,1%	7,8%	15,1%	13,6%		
Fibertax F-300							
mean*	171	9,4	8,1	10,8	9,8	+13,8	+11,1
deviation	6,4	0,50	0,52	1,37	0,88		
coefficient of variation	3,8%	5,3%	6,4%	12,7%	9,2%		
Fibertax F-3200S							
mean*	203	10,8	10,0	9,7	10,0	+7,4	-3,1
deviation	6,4	0,30	0,72	1,26	1,04		
coefficient of variation	3,2%	2,8%	7,2%	13,0%	10,3%		
Polyfer T822							
mean*	108	5,4	2,9	8,1	5,3	+46,3	+34,8
deviation	7,2	1,33	1,23	0,87	0,60		
coefficient of variation	6,6%	24,8%	42,6%	10,7%	11,4%		
Typar 3407							
mean*	138	7,1	5,8	8,1	6,1	+21,1	+24,7
deviation	8,4	1,02	1,80	1,46	0,47		
coefficient of variation	4,7%	14,3%	28,8%	18,0%	7,6%		
Typar 3607-3							
mean*	193	10,9	8,2	9,9	9,1	+24,8	+8,1
deviation	5,8	0,96	1,41	1,11	1,26		
coefficient of variation	3,0%	8,8%	17,2%	11,2%	13,6%		

* mean of 5 specimen

** - means increase of load



[Signature]
Dipl.-Ing. (SU) Bronstein

Rys.4. Wyniki badań na ścieranie dla włókien produkowanych w różnych procesach technologicznych

Fig.4. Abrasion test results for unwoven fabrics produced in different processings

4. Wzajemne zależności parametrów hydrotechnicznych dobieranych włóknin

Umieszczane w podtorzach włókniny spełniają szereg funkcji technicznych, takich jak: separacja warstw konstrukcyjnych, zwiększanie nośności podtorza i modułu warstw konstrukcyjnych położonych nad włókniną, zabezpieczenie przeciwwychlapkowe, a także zmieniają kierunek wód opadowych z pionowego na poziomy z wyprowadzeniem strumieni tychże wód poza obrys nośnej części podtorza z jednoczesnym zmniejszeniem ryzyka nawodnienia podtorza.

Żeby sprostać takim wymaganiom dobierana włóknina musi posiadać wiele cech szczególnych, m.in. zdolności przeciwkolmatacyjne, zdolność samooczyszczania się powierzchni pod wpływem drgań, a przede wszystkim zdolność efektywnej wodoprzewodności i efektywnej filtracji zarówno wód płynących od góry, jak i wychłapek napierających od dołu na powierzchnię włókniny.

4.1. Żelazne, niepodważalne warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać geowłókniny nietkane, igłowane, stosowane do długowiecznych odwodnień powierzchniowych

Bardzo bogata literatura [1-7] i [10-18] dotycząca geosyntetyków w zastosowaniu do odwodnień na ogół rozpatruje zagadnienia analizy sitowej gruntu i jego wodoprzewodności oraz realnie możliwych wydatków wodnych z przekroju ciągu drenarskiego do wnętrza drenu wskroś geowłókniny lub zagadnienia kolmatacji i sufozji cząstek gruntu wewnątrz struktury geowłókniny w jej porach. Jedynie niewielka ilość pozycji literaturowych, w tym opracowania autorów kanadyjskich, amerykańskich i szwajcarskich, zwraca uwagę na fundamentalne zasady projektowania i wykonywania sprawnego przez wiele dziesiątków lat drenażu.

Na bazie tych właśnie opracowań i przemyśleń oraz po przeniesieniu dat liczbowych z układu anglosaskiego do obowiązującego w tej części Europy, w Polsce, układu metrycznego przedstawione niniejszym zostają bazowe zasady, obowiązujące przy dokonywaniu doboru geowłókniny do rozwiązań drenażu, m.in. do tzw. drenażu „francuskiego”. Jest to z praktycznego punktu widzenia o tyle istotne, że samo zróżnicowanie rodzajów gruntów występujących w Polsce, brak rozwiniętego systemu badań gruntów przed rozpoczęciem procesu projektowania, częsty brak laboratoriów polowych w procesie wykonawstwa, jak też zasady rządzące przetargami w ramach zamówień publicznych czy wreszcie znikomo małe różnice pomiędzy poszczególnymi, zdatnymi i kwalifikującymi się do stosowania do konstrukcji drenaży geowłókninami w stosunku do ponoszonych kosztów robót ziemnych fizycznie powodują, że naukowe recepty, wychodzące z analiz sitowych gruntu, poprzez badanie proporcji pomiędzy np. charakterystyczną wielkością porów geowłókniny a wielkościami charakterystycznymi dla danego gruntu, takimi jak: d_{85} ; d_{60} ; d_{15} ; d_{10} , a także ich wzajemnymi stosunkami liczbowymi (np. d_{60}/d_{10}), w zasadzie uniemożliwiają prosty i co ważniejsze NIEZAWODNY dobór danych charakterystycznych geowłókniny do danego, konkretnego i dokładnie przebadanego gruntu!

Stąd też inżynierowie praktycy wraz z naukowcami posiadającymi praktyczne wdrożenia wyników swoich prac badawczych i naukowych doprowadzili po długich dyskusjach i sporach do w miarę prostego, a jednocześnie w pełni sprawdzającego się w życiu systemu doboru włóknin nietkanych, igłowanych do instalacji odwodnieniowych i drenażowych. System ten przedstawia rys.5.

Żelazne, niepodważalne warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać geowłókniny nietkane, igłowane, stosowane do odwodnień obiektów inżynierskich:

1. Wynikiem wykorzystania inżynierii materiałowej w technologii produkcji geowłóknin jest ich idealne sprawowanie się w aplikacjach:
 - drenaże, a w szczególności drenaży francuskie,
 - spełnianie funkcji rozdzięcia, separacji i filtracji, jak również rozpraszania naprężeń i transportu poziomego wody w obiektach budownictwa ziemnego
 - drenaże i zabezpieczenia pod- i nadmembranowe.
2. Woda w geowłókninach powinna poruszać się poprzez ogromną ilość porów, lecz ze znikomo małą prędkością w każdym z nich.
3. Stosunek wartości wodoprzepuszczalności w kierunku poziomym geowłókniny do wodoprzepuszczalności w kierunku prostym nie powinien (odpowiednio, przy identycznym obciążeniu: 2, 20 czy 200 kPa) być nigdy mniejszy, aniżeli:

$$\frac{k_h}{k_v} \text{ min.} > 1,2,$$

korzystnie, jeżeli powyższy stosunek wynosić będzie 1,5, a bardzo dobrze, jeżeli $\geq 2,0$

4. Przyjmując wodoprzepuszczalność równoległą do płaszczyzny geowłókniny przy obciążeniu 20 kPa za 1,0, po wstępnym doborze, jak w pkt. 3, należy sprawdzić, czy dla danego wyrobu wartości wodoprzepuszczalności poziomej mieszczą się w granicach, jak poniżej:

Dla gradientu hydraulicznego $i=1$ i przy obciążeniu 2, 20 i 200 kPa wartości powinny mieścić się w przedziałach proporcji:

pod obciążeniami:

	2 kPa	20 kPa	200 kPa
Wodoprzepuszczalność w kierunku poziomym [$m/s \times 10^{-4}$]:	(1,80 + 1,33) do 1,00 do (0,40 + 0,25)		

a jednocześnie:

Grubość geowłókniny, igłowanej, nietkanej [mm]:	(1,40 + 1,08) do 1,00 do (0,80 + 0,55)
---	--

Powyższe jest zasadą dla wyrobów KWALIFIKOWANYCH przy ich, dla wielkości mierzonych pod obciążeniem 20 kPa:

- przewodności $k_H \geq 15 \times 10^{-4} m/s$ przy $i=1$ oraz
- grubości co najmniej 1,4 + 3,2mm.

Punktem wyjścia do doboru właściwych włókien jest sprawdzenie, czy dana włóknina pod obciążeniem 20 kPa ma wodoprzepuszczalność poziomą co najmniej $kh > 15 \times 10^{-4}$ [m/s] przy gradiencie hydraulicznym $i = 1$. Jeżeli „nie”, to taki materiał odrzuca się. Jeżeli „tak”, to bada się dalsze współzależności parametrów, zaczynając od stwierdzenia, czy grubość analizowanego wyrobu pod obciążeniem 20 kPa mieści się w granicach (w przeliczeniu na milimetry) pomiędzy 1,4 a 3,2 mm. Jeżeli „nie”, wyrób odrzuca się, jeżeli „tak” – bada się z kolei zależności proporcji wodoprzepuszczalności poziomej wewnątrz przekroju danej włókniny dla 200; 20 i 2 kPa. To samo oblicza się dla parametru grubości.

Geowłóknina kwalifikuje się do pracy w długowiecznych odwodnieniach powierzchniowych, jeżeli poszczególne proporcje parametrów mieszczą się w granicach ujętych w treści „Żelaznych, niepodważalnych warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać geowłókniny nietkane, igłowe, stosowane do odwodnień obiektów inżynierskich”.

Tak dokonany dobór geowłókniny gwarantuje, że w normalnym środowisku gruntowym, przy $4,0 < \text{pH} < 9,0$ oraz przy normalnie spotykanych w praktyce gruntach, dana włóknina pracować będzie długowiecznie: do 100 lat - w gruntach piaszczystych, piaszczysto - żwirowych i podobnych; do 40 lat - w gruntach gliniastych, ilastych oraz piaszczysto - gliniastych z przewagą cząstek gliniastych i gliniasto - ilastych.

Dla gruntów organicznych – gytyi i tym podobnych zasady powyższe nie w pełni stosują się, aczkolwiek tak dobrane włókniny również i w tego typu gruntach pracują dłużej aniżeli jakiegokolwiek inne geosyntetyki.

W tabelicy 1 przedstawiono pewną ilość geowłókien posiadających AT IBDiM o gramaturze 300 i 400 g/m². Autor prosi zainteresowane tym tematem osoby, aby zechciały same przeprowadzić analizę zawartych w niej danych i na podstawie treści niniejszego opracowania wybrały spośród nich swój „typ”.

Tabela 1

CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA		Produkt	Produkt	Produkt	Produkt	Produkt	Produkt	Produkt	Produkt	Produkt	Produkt	Produkt
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		Producenci zagraniczni				Producenci krajowi				Producenci zagraniczni	Producenci krajowi	Producenci zagraniczni
WŁASNOŚCI MECHANICZNE												
Wytrzymałość na wgniatanie – próba statyczna CBR – test												
- wytrzymałość na wgniatanie – próba CBR X	[N]	3080	X	X	3033	X	X	X	X	X	X	4300
- wytrzymałość na wgniatanie – próba CBR X-s	[N]	2800	4250	1500	2400	2200	1800	3100	>1500	2700	4000	4000
- deformacja przy wgnieceniu max	[%]	50	X	50	45	X	X	X	X	X	X	60
- wytrzymałość na rozciąganie												
(wzdłuż pasma wyrobu)	[kN/m]	>13,0	>27,0	8,0	10,0	10,0	10,0	23,0	>13,0		21,0	24,0
(wszereż pasma wyrobu)	[kN/m]	>17,0	>27,0	12,0	18,0	21,0	15,0	17,0	>8,0	30,0	28,0	25,0
- wydłużenie przy zerwaniu												
(wzdłuż pasma wyrobu)	[%]	80,0	60,0	80,0	100,0	100,0	100,0	65,0	12,0	160,0	65,0	70,0
(wszereż pasma wyrobu)	[%]	60,0	60,0	50,0	80,0	100,0	120,0	80,0	6,0	105,0	65,0	80,0
- wytrzymałość na wyrwanie (Grab test)	[N]	900	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1100
WŁASNOŚCI HYDRAULICZNE												
Wodoprzepuszczalność prostopada do płaszczyzny geotekstyli k, z $h_w = 100$ [mm]												
- przy obciążeniu 2 [kPa]	[m/s x 10 ⁻³]	15,0	21,0	50,0	8,1	35,0	10,1	35,0	11,0	15,0	25,0	23,0
- przy obciążeniu 20 [kPa]	[m/s x 10 ⁻³]	8,0	12,0	30,0	6,9	X	7,0	27,0	X	X	X	15,0
- przy obciążeniu 200 [kPa]	[m/s x 10 ⁻³]	4,0	3,0	10,0	3,2	X	2,3	4,0	X	X	3,0	6,0
Wodoprzepuszczalność w płaszczyźnie geotekstyli k, z $h_w = 100$ [mm]												
- przy obciążeniu 2 [kPa]	[m/s x 10 ⁻³]	20,0	X	100,0	X	30,0	X	41,0	43,0	59,0	X	31,0
- przy obciążeniu 20 [kPa]	[m/s x 10 ⁻³]	13,0	X	30,0	X	X	X	26,0	X	22,0	X	23,0
- przy obciążeniu 200 [kPa]	[m/s x 10 ⁻³]	5,0	X	10,0	X	X	X	12,0	X	7,0	X	8,0
- wskaźnik wodoprzepuszczalności (przy 10 cm słupa wody)	[k/s m ²]	75	X	X	41,7	X	X	X	X	X	X	80
- umowny wymiar porów O_{90}	[µm]	70	X	130	50	73	63	80-100	86	80	100	70
WŁASNOŚCI FIZYCZNE												
- masa powierzchniowa	[g/m ²]	300	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
- grubość przy obciążeniu 2 kPa	[mm]	2,0	3,5	4,0	3,8	4,1	3,7	3,3	3,8	4,3	2,7	3,5
- grubość przy obciążeniu 20 kPa	[mm]	1,4	2,8	2,6	3,4	3,3	2,8	2,8	2,7	X	X	2,5
- grubość przy obciążeniu 200 kPa	[mm]	0,9	1,8	2,2	1,9	1,9	1,7	2,1	1,6	X	1,8	1,7
PARAMETRY ZAOPATRZENIOWE												
- szerokość	[m]	5,0	6,0	5,8	4,0	6,0	3,2	X	3,2	6,0	5,0	5,0
- długość	[m]	100	80	100	100	100	50	X	100	100	100	100
- materiał		PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP
Dane źródłowe		Wszystkie dane zostały zaczerpnięte z odpowiednich polskich Aprobat Technicznych										

X - producent nie wpisany w A.1 danych

Literatura

1. Rügger R.; Hufenus R.; „Bauen mit Geokunststoffen”; SVG; St Gallen; 2000; Szwajcaria
2. Bhatia S.K.; L.D. Suits; „Geotextile Filters and Prefabricated Drainage Geocomposites”; Edition ASTM; V. 1996; USA
3. Suits L.D.; Goddard J.B.; Baldwin J.S.; “Geosynthetics in Subsurface Drainage”; Edition ASTM; III. 2000; USA
4. Koerner R.M.; “Geosynthetics in Filtration, Drainage and Erosion Control”; Elsevier Applied Science; 1992; London
5. Wolski W.; Młynarek J.; “Filters and Drainage in Geotechnical and Environmental Engineering”; BALKEMA; 2000; Rotterdam
6. Koerner R.M.; “Designing with Geosynthetics”; Prentice Hall; 1998; USA
7. Młynarek J.; O. Vermeersch; “Designing Geotextile Filters for Soil Filtration”; 51st Canadian Geotechnical Conference; 1998; Edmonton; Alberta; Kanada
8. Ajdukiewicz J.; “Poradnik projektanta, inwestora i wykonawcy. Geotekstyli”; wyd. Przedsiębiorstwo Realizacyjne *INORA*; 1994; Gliwice
9. Das Geotextil – Handbuch – SVG - Schweizer Verband der Geotextilfachleute; 1988
10. Geotextilien im Bahnbau – Geotextilien zum Trennen, Filtern und Drainieren im Bahnkörper; LOCHER HAUSER GRUPPE
11. A Design Primer: Geotextiles and Related Materials, Industrial Fabric Association International, 1992, USA
12. Geosynthetics: Microstructure and Performance, Ian D. Peggs, 1989, Philadelphia;
13. Van Santvoor G., Geotextiles and Geomembranes in Civil Engineering, 1994, Balkema, Rotterdam
14. Ajdukiewicz J.; “Modernizacja podtorza a zastosowanie geosyntetyków”. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej „Problemy modernizacji i naprawy podtorza kolejowego”; 2000; Wrocław-Żmigród
15. Seifart H.; Schweinsberg R.; „The interoperability of European high-speed railways”; 2001;
16. De Meerleer F.; Donckers F.; “The Use of Geotextiles for the Construction of the European High Speed Train Network”; 6th International Conference on Geosynthetics; 1998; USA
17. Raymond G.P.; “Railway rehabilitation geotextiles”; 1999; Geotextiles and Geomembranes 17; p. 213-230
18. Rahn H.; “Die Rolle der Tragschichten im Eisenbahnbau”; 2001; Ei-Eisenbahningenieur 3