INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr 3/IV/2012, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 167–177
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

Mariusz Cholewa

ODDZIAŁYWANIE CHEMICZNE MIESZANKI POPIOŁOWO-ŻUŻLOWEJ NA WYTRZYMAŁOŚĆ GEOWŁÓKNIN IGŁOWANYCH

CHEMICAL INFLUENCE OF AN ASH-SLAG MIXTURE ON THE STRENGTH OF STITCHED GEOTEXTILES

Streszczenie

Geosyntetyki, materiały znajdujące szerokie zastosowanie w inżynierii budowlanej i ochronie środowiska posiadają pewne charakterystyczne parametry wyjściowe uzyskiwane podczas badania nowo wytworzonych produktów. Jednak z czasem, na skutek oddziaływania czynników degradujących, wartości te ulegają zmianie. Poznanie zakresu tych zmian umożliwia ulepszenie produktów lub projektowanie konstrukcji z odpowiednim współczynnikiem bezpieczeństwa.

Polski przemysł energetyczny wykorzystuje w procesach wytwarzania energii głównie węgiel kamienny i brunatny. Produktami ubocznymi spalania są popioły lotne unoszone przez spaliny i wychwytywane w elektrofiltrach oraz popioło-żużle usuwane z komory paleniskowej. Obecnie mieszanki popiołowo-żużlowe są cennym gruntem antropogenicznym, używanym do budowy nasypów, gdzie zabudowywuje się również geowłókniny.

Celem podjętych badań było ustalenie wpływu chemizmu popioło-żużli na zmianę wybranych parametrów wytrzymałościowych geosyntetyków. Głównym czynnikiem degradującym, który mógłby w okresie prowadzenia badań wpłynąć na strukturę, a przez to na wytrzymałość geowłóknin, jest odczyn pH popioło-żużli. Mieszankę pobrano ze składowiska Huty ArcelorMittal Poland S.A. w Krakowie Nowej Hucie, z kilkunastu miejsc osadnika o powierzchni 15 ha z głębokości 0,5 do 2,0 m. Przeprowadzone badania chemiczne wykazały silnie zasadowy odczyn pH, który może destrukcyjnie oddziaływać na strukturę włókien stykającej się geowłókniny, a przez to na parametry wytrzymałościowe wyrobu.

Sprawdzenie wytrzymałości na przebicie statyczne próbek wykonano zgodnie z normą PN-EN ISO 12236 i porównano materiał „świeży" z materiałem poddanym działaniu mocno zasadowego pH i czynników atmosferycznych.

W badaniach wykorzystano geowłókniny igłowane; dwie wykonane z polipropylenu (PP), dwie z recyklowanych włókien polipropylenu, jedna dwuwarstwowa z włókien odcinkowych syntetycznych PP/PES.

W celu realizacji założeń badawczych wybudowano nasyp doświadczalny z mieszanki popiołowo- żużlowej o wysokości 1,0 m, w którym zabudowano geowłókniny. Konstrukcja nasypu zapewniała ochronę geosyntetyków przed oddziaływaniem promieniowania słonecznego i podsiąkaniem wody gruntowej. Próbki zasypano na głębokości 0,5 m pozostawiając je na okres 8 i 24 miesięcy. Naturalne czynniki atmosferyczne mogły oddziaływać bezpośrednio na nasyp. Próbki geowłóknin umieszczono tak, aby obie strony wyrobu były w bezpośrednim kontakcie z mieszanka popiołowo-żużlową z zaznaczeniem górnej powierzchni.

Po wydobyciu geowłóknin z nasypu wykonano przebicie statyczne, uzyskane wyniki badań pozwoliły sformułować dwa podstawowe wnioski;

– ośmio miesięczny okres zabudowania geowłóknin w nasypie nie wpłynął istotnie na ich wytrzymałość na przebicie. Nie zanotowano dla żadnego z typów geowłóknin zmniejszenia wartości siły przebijającej,

–po okresie 24 miesięcy zabudowania w nasypie z mieszanki popiołowo-żużlowej geowłókniny GRK 151 i 401 z włókien polipropylenowych utraciły 15-16% wytrzymałości na przebicie statyczne. Geowłókniny R 404, 1024 i Terrafix z recyklowanych włókien polipropylenu utraciły natomiast 17-19% wytrzymałości.

Słowa kluczowe: odczyn popioło-żużli, degradacja, wytrzymałość geowłóknin

Summary

Geosynthetics, materials that are broadly used in civil engineering and environmental protection, have certain initial characteristics, which are obtained while testing new products. However, with time, these values change as a result of the influence of degrading factors. Getting to know the scope of these changes enables improving products or designing structures with the appropriate safety factor.

Power industry in Poland uses mainly hard and brown coal in processes of energy generation. Fly ashes raised by the exhaust fumes and separated by electrofilters and ash-slag removed from furnace chamber are combustion by-products. Nowadays, the ash-slag mixtures are valuable anthropogenic soils, used for building embankments, where the geotextiles are also built in.

The taken up research aimed at the determination of the influence of the ash-slag chemistry on the changes of chosen strength parameters of geotextiles. The main degrading agent in the period of the research, which could influence the structure and thus the strength of geotextiles, was pH of the ash-slag. The mixture was taken from the dumping ground of the Steelworks Arcelor Mittal Poland S.A. in Kraków, from several places of the holding pond of the surface of 15 ha, from depths 0.5 to 2.0 m. The carried out chemical tests revealed strongly alkaline pH, which can destructively influence the structure of fibres of the adhering geotextile, and as a result the strength parameters of the product.

The static punch strength of the samples prepared according to the standard PN-EN ISO 12236 was checked, and the "fresh" material was compared with the one subjected to the strongly alkaline reaction and the atmospheric factors.

Stitched geotextiles were used for the tests, two of them made of polypropylene (PP), two – of recycled fibres of polypropylene and one – two-ply, made of synthetic staple fibres PP/PES.

To execute the research assumptions, a 1.0 m high experimental embankment was built up of the ash-slag mixture, in which the geotextiles were built in. The structure of the embankment ensured protection of the geosynthetics from the solar radiation and permeating groundwater. The samples were buried at the depth of 0.5 m and left for 8 and 24 months. Natural atmospheric factors could directly influence the embankment. Samples of geotextiles were placed in a way so that both sides of the product were in a direct contact with the ash-slag mixture, and the upper surface was marked.

After getting out the geotextiles from the embankment, they were subjected to the static puncture and the obtained test results allowed to make two basic conclusions:

– 8-months period of resting the geotextiles in the embankment did not essentially influenced their puncture strength. For none of types of the geotextiles were noticed any decrease of the value of the puncture force.

After 24 months of resting in the embankment made of the ash-slag mixture, the geotextiles GRK 151 and 401 made of the polypropylene fibres lost 15–16% of their puncture strength. The geotextiles R 404, 1024 and Terrafix made of the recycled polypropylene fibres lost 17–19% of their puncture strength.

Key words: *ash-slag reaction**,** degradation, geotextiles strength*

WSTĘP

Geosyntetyki to materiały znajdujące szerokie zastosowanie w inżynierii budowlanej i ochronie środowiska [Sawicki i in. 1996; Wesolowski, Krzywosz, Brandyk 2000; Maślanka, Pielichowski 2006]. Jednak korzystne parametry nowo wytworzonych produktów geosyntetycznych z czasem – na skutek oddziaływania czynników degradujących – ulegają zmianie [Bartkowiak 2001; Chodyński 2002; Bartkowiak, Malkiewicz 2006; Bolt, Sterpejkowicz-Wersocki 2006; Pawlikowski 2006]. Poznanie zakresu tych zmian umożliwia ulepszenie produktów oraz projektowanie konstrukcji z odpowiednim współczynnikiem bezpieczeństwa.

Geowłókniny igłowane stosowane w pracach ziemnych i hydrotechnicznych spełniają wiele funkcji (określonych w normie PN-EN 13251:2002/ A1:2006): wzmacniającą, filtracyjną, drenażową, separacyjną, ochronną. W procesie ich produkcji, podczas spilśniania geowłóknin, w celu ułatwienia ich splątania dodawany jest rozcieńczony kwas siarkowy, który później zostaje zneutralizowany poprzez płukanie. Wartość pH pozostaje na poziomie neutralnym lub lekko kwasowym dla zapewnienia odporności na starzenie oraz odpowiedniej elastyczności i wytrzymałości włókien. Jeżeli wartość pH geowłókniny ma odczyn zasadowy przez dłuższy okres, istnieje ryzyko uszkodzenia włókien i ataku mikroorganizmów. Normy DIN 61206 ustalają wartość pH na poziomie

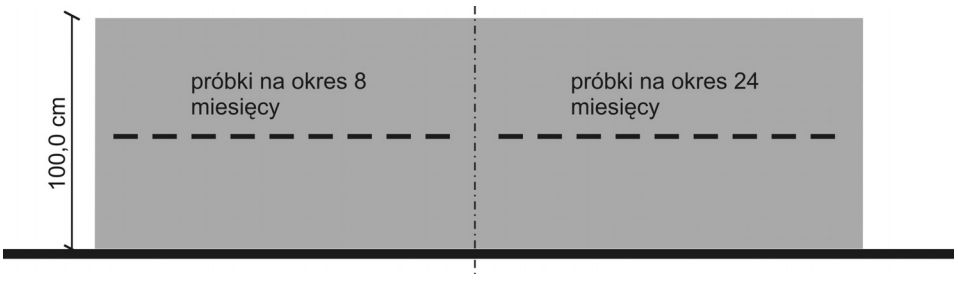
5–8 w przypadku geowłóknin o gęstości 0,36 g/cm^3 lub mniejszej oraz pH 4–8 dla gęstości 0,36 g/cm^3 lub większej.

Polski przemysł energetyczny wykorzystuje w procesach wytwarzania energii głównie węgiel kamienny i brunatny [Rosik-Dulewska 1999]. Produktami ubocznymi ich spalania są unoszone przez spaliny i wychwytywane w elektrofiltrach popioły lotne oraz usuwane z komory paleniskowej popioło-żużle. Obecnie mieszanki popiołowo-żużlowe są cennym gruntem antropogenicznym. Dla oceny przydatności popioło-żużli w budownictwie oprócz parametrów geotechnicznych konieczne bywa również sprawdzenie oddziaływania na stosowane geosyntetyki, a szczególnie geowłókniny, wrażliwe na środowisko chemiczne, w jakim są zabudowane.

Celem podjętych badań było ustalenie wpływu kontaktu geowłóknin z popioło-żużlami na zmianę wybranych parametrów wytrzymałościowych. Głównym czynnikiem degradującym, który może wpłynąć na strukturę, a przez to na wytrzymałość geowłóknin, jest odczyn pH popioło-żużli. Badania, wykonane zgodnie z normą PN-EN ISO 12236: 2007, obejmowały sprawdzenie i porównanie wytrzymałości na przebicie statyczne próbek materiału nowo wytworzonego oraz materiału poddanego działaniu mocno zasadowego pH popioło-żużli i czynników atmosferycznych.

METODA BADAŃ

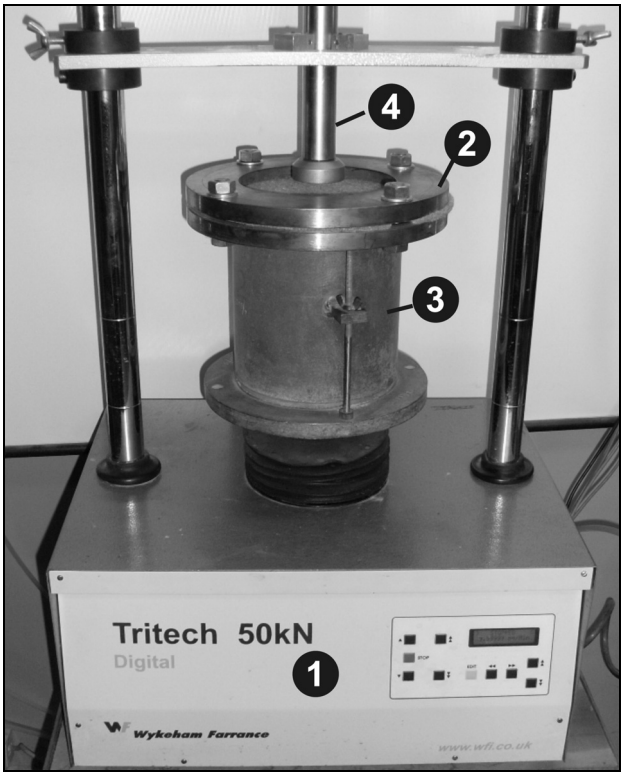
Polowe stanowisko badawcze to nasyp doświadczalny z mieszanki popiołowo-żużlowej, w którym zabudowano geowłókniny (rys. 1). Konstrukcja nasypu zapewniała ochronę geosyntetyków przed oddziaływaniem promieniowania słonecznego i podsiąkaniem wody gruntowej. Próbki zasypano na głębokości 0,5 m, tak aby obie strony wyrobu były w bezpośrednim kontakcie z mieszanka popiołowo-żużlową, z zaznaczeniem górnej powierzchni.



Rysunek 1. Stanowisko, na którym zabudowano próbki geowłóknin
Figure 1. Research position, which geotextiles were developed

Po wydobyciu z nasypu wycinano próbki o średnicy 260 mm, z zachowaniem orientacji góra-dół. Prowadzono ocenę większej ilości materiału, aby stwierdzić, czy jest on jednorodny na całej swojej powierzchni.

Stanowisko badawcze (rys. 2), na którym przeprowadzono badania siły przebicia, składało się z prasy hydraulicznej typu Tritech 50kN, pierścienia dynamometrycznego o maksymalnej wartości pomiaru 30kN, za pomocą którego odczytywano wartość siły, z jaką trzpień naciska na próbkę, dwóch skręconych ze sobą pierścieni, między którymi znajdował się badany geosyntetyk, oraz cylindra, na którym umieszczano pierścienie z próbką. Układ zaciskowy zabezpieczał próbkę przed nadmiernym naprężeniem wstępnym i wyślizgnięciem się podczas badania. Trzpień ustawiano tak, aby lekko dotykał próbki, a następnie rozpoczynano przebijanie ze stałą prędkością, prostopadle do płaszczyzny badanej próbki.



Rysunek 2. Stanowisko do badania wytrzymałości na przebicie metodą CBR: 1) prasa hydrauliczna, 2) pierścienie zaciskowe, 3) podstawa cylindryczna, 4) trzpień przebijający
Figure 2. Position for examining the static puncture test (CBR-Test): 1) pneumatic press, 2) clamp rings, 3) cylindrical base, 4) showing tang

W przypadku każdego badania zapisywano wartość siły przebicia oraz odległość przemieszczenia przy przebiciu. W sprawozdaniu z badań zawarto także informacje dotyczące: badanej próby, klimatu badań, liczby badanych próbek, uzyskanych wyników badań, znaczącego wyślizgiwania się geosyntetyku ze szczęk.

CHARAKTERYSTYKA POPIOŁO-ŻUŻLI

Materiał popioło-żużlowy pobrano ze składowiska Huty ArcelorMittal Poland S.A. w Krakowie Nowej Hucie, z kilkunastu miejsc osadnika o powierzchni 15 ha, z głębokości 0,5–2,0 m. Podstawowe parametry geotechniczne mieszanki przedstawia tabela 1. Charakterystyka chemiczna wykazała silnie zasadowy odczyn pH, który może oddziaływać destrukcyjnie na strukturę włókien stykającej się mieszanką geowłókniny, a przez to na parametry wytrzymałościowe wyrobu.

Tabela 1. Charakterystyka geotechniczna mieszanki popiołowo-żużlowej
Table 1. Geotechnical characteristics of the ash-slag mixture

Parametr	Jednostka	Wartość
Zawartość frakcji według norm PN-EN ISO 14688-1:2006 i PN-EN ISO 14688-2:2006: – żwirowa 63–2 mm – piaskowa 2–0,063 mm – pyłowa 0,063–0,002 mm – iłowa < 0,002 mm	[%]	 0,60 87,35 9,10 2,95
Rodzaj gruntu według normy PN-B-02481:1998	[–]	P_g
Rodzaj gruntu według normy PKN-CEN ISO/TS 17892-4:2009	[–]	clSa
Wskaźnik różnoziarnistości	[–]	2,60
Gęstość właściwa	[g · cm^{-3}]	2,36
Wilgotność optymalna	[%]	32,5
Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu	[g · cm^{-3}]	1,285
Kąt tarcia wewnętrznego przy $I_S = 0,95$	[°]	37,90
Spójność przy $I_S = 0,95$	[kPa]	36,10

W laboratorium Zakładu Ekologicznych Podstaw Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie określono odczyn pH popioło-żużli. Badanie wykonano przy wykorzystaniu dwóch metod: jednomolowego roztworu KCL i metody roztworu wodnego, uzyskując odpowiednio wartości pH 10,3 i 9,9.

CHARAKTERYSTYKA GEOWŁÓKNIN

W badaniach wykorzystano geowłókniny igłowane jednego producenta o nazwach handlowych Secutex i Terrafix. Charakterystykę techniczną materiałów przedstawia tabela 2.

Geowłókniny separacyjne Secutex GRK 151-GRK 3C, 401-GRK 5C – koloru białego, wykonane z polipropylenu (PP) – stanowią skuteczną barierę zabezpieczającą przed mieszaniem się różnych warstw gruntowych. Produkty te znalazły zastosowanie w budownictwie drogowym i kolejowym (podłoża i podbudowy drogowe, nasypy, drogi tymczasowe, podtorza kolejowe i tramwajowe) oraz w budownictwie ogólnym [Naue].

Geowłókniny ochronne Secutex R 404, R 1024 – o barwie szarobrunatnej, wykonane z recyklowanych włókien polipropylenu (PP) – chronią geomembrany przed uszkodzeniami mechanicznymi. Znalazły zastosowanie przy budowie składowisk odpadów.

Geowłókniny filtracyjne Terrafix 813 – dwuwarstwowe, wykonane z włókien odcinkowych syntetycznych PP/PES (wchodzący w skład wyrobu polieterosulfon stosowany jest tam, gdzie wymagane są bardzo dobre i stabilne właściwości mechaniczne i chemiczne) – wykorzystywane są w szerokim zakresie w budownictwie hydrotechnicznym jako pojedyncze lub wielowarstwowe filtry tekstylne, maty obciążone piaskiem do podwodnej instalacji itp.

WYNIKI BADAŃ I ANALIZA

Przebadano łącznie 75 próbek geowłóknin. Każdy z materiałów był reprezentowany przez 5 próbek nowo wytworzonego produktu, 5 próbek po 8 miesiącach i 5 próbek po 24 miesiącach zabudowania w nasypie z mieszanki popioło-żużlowej. Dla poszczególnych typów geotekstyliów wyniki przedstawiono graficznie w postaci wykresów prezentujących wartości uśrednione z pięciu prób przebicia.

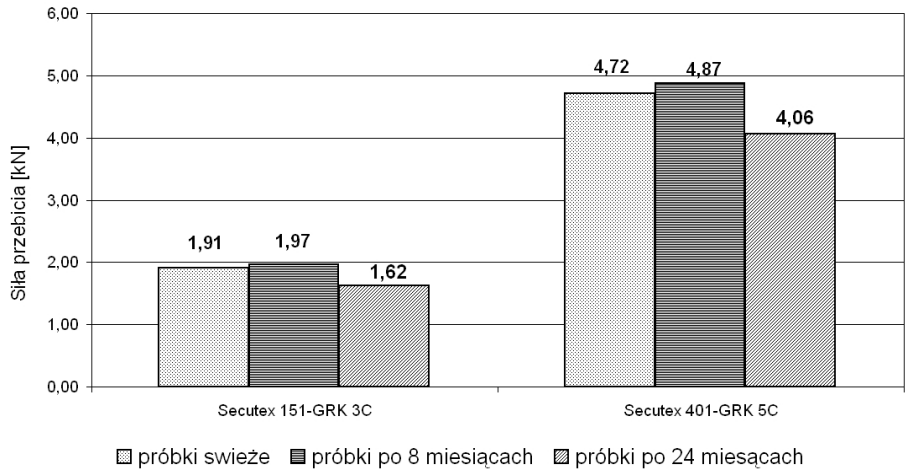
W przypadku geowłókniny Secutex 151-GRK 3C maksymalna siła, jaka została osiągnięta podczas badania próbek świeżego produktu, wynosiła 1,91 kN. Podczas badania próbek po 8 miesiącach zabudowania w popioło-żużlu maksymalna siła wynosiła 1,97 kN. W próbkach materiału zabudowanego przez 24 miesiące wartość siły przebicia spadła do 1,62 kN.

W przypadku geowłókniny Secutex 401-GRK 5C, charakteryzującej się większą masą powierzchniową, maksymalna siła, jaka została osiągnięta podczas badania próbek nieeksploatowanego materiału, wynosiła 4,72 kN. Podczas badania próbek po 8 miesiącach zabudowania maksymalna siła wynosiła 4,87 kN. Próbki zabudowane przez 24 miesiące charakteryzowały się wytrzymałością 4,06 kN.

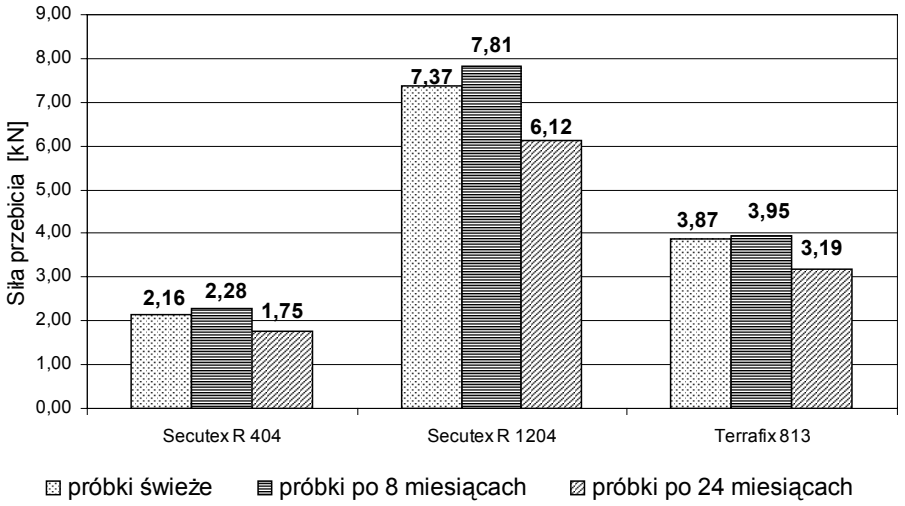
Tabela 2. Dane techniczne badanych geowłóknin
Table 2. Technical characteristics of the tested geotextiles

Parametr	Metoda badania	Jednostka	Secutex®				Terrafix® 813
			151-GRK 3C	401-GRK 5C	R 404	R 1204	
Masa powierzchniowa	DIN EN 965	g/m^2	150	400	400	1200	814
Grubość	DIN EN 964-1	mm	1,8	3,3	3,6	9,5	6,6/≥6,0
Wytrzymałość na rozciąganie	DIN EN ISO 10319	kN/m	5,0/8,0	18,0/25,0	7,0/11,0	22,5/40,0	≥12,0 (wzdłuż) ≥12,0 (wszerz)
Maksymalne wydłużenie przy rozciągnięciu	DIN EN ISO 10319	%	60/40	60/40	90/60	90/60	70 (wzdłuż) 40 (wszerz)
Przebicie statyczne	DIN EN ISO 12236	N	1670	4000	1600	6000	—
Wydłużenie przy przebiciu statycznym	DIN EN ISO 12236	%	35	35	50	50	—
Efektywna wielkość porów	DIN EN ISO 12956	mm	0,15	0,08	0,15	0,08	0,08
Przepuszczalność wodna przy obciążeniu 2 kN/m^2 – k_v – k_h	DIN EN ISO 11058	m/sec m/sec	$9{,}8 \cdot 10^{-3}$ $3{,}0 \cdot 10^{-2}$	$1{,}0 \cdot 10^{-3}$ $1{,}0 \cdot 10^{-2}$	—	—	—
Wodoprzepuszczalność prostopadła do płaszczyzny wyrobu: - $VI_{H\,50}$ - $Przepływ_{H\,50}$	DIN EN ISO 11058	m/s I/ms	—	—	$8{,}5 \cdot 10^{-2}$ 85	$2{,}0 \cdot 10^{-2}$ 20	—
Przepuszczalność wodna	DIN E 60500 T5	m/sec	—	—	—	—	$1{,}86 \cdot 10^{-3}$ (przy Δh = 25cm)
Zdolność przepływu wody q w płaszczyźnie wyrobu przy gradiencie hydraulicznym i = 1 i obciążeniu 2 kPa	DIN EN ISO 12958	I/ms	—	—	$8 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$	—
Odporność na przebicie gruntem typu 3.3 (według klasyfikacji BAW*)	RPG wg BAW	1200Nm	—	—	—	—	tak
Wytrzymałość na rozdzieranie	ASTM-D-4533	N	150/250	—	—	—	—
Odporność na ścieranie	RPG wg BAW	—	—	—	—	—	tak
Odporność filtracyjna na grunty (wg BAW)	RPG wg BAW		—	—	—	—	1/2/3/4
Metoda łączenia	—	—	igłowanie	igłowanie	—	—	igłowanie
Standardowe wymiary	—	m · m	5,90 · 100	5,90 · 100	5,80 · 100	5,80 · 50	5,80 · 50

Naue GmbH&Co.KG, Wartturmstraße1 32312, Lübbecke, Germany. *BAW – Federalny Instytut Inżynierii Wodnej, Niemcy



Rys. 3. Wykres maksymalnej siły przebicia geowłóknin Secutex 151-GRK 3C oraz 401-GRK 5C
Figure 3. Graph of the maximum punch strength of geotextiles Secutex 151-GRK 3 C and 401-GRK 5 C



Rysunek 4. Wykres maksymalnej siły przebicia geowłóknin Secutex R 404, R 1204 oraz Terrafix 813
Figure 4. Graph of the maximum punch strength of geotextiles Secutex R 404, R 1204 and Terrafix 813

W przypadku geowłókniny Secutex R 404 maksymalna siła, jaka została osiągnięta podczas badania próbek materiału nowo wytworzonego, wynosiła 2,16 kN. Podczas badania próbek po 8 i 24 miesiącach zabudowania maksymalna siła wynosiła odpowiednio 2,28 i 1,75 kN.

W przypadku geowłókniny Secutex R 1204 maksymalna siła dla próbek świeżego produktu wynosiła 7,37 kN, po 8 i 24 miesiącach zabudowania maksymalna siła wynosiła odpowiednio 7,81 i 6,12 kN.

W przypadku geowłókniny Terrafix 813 maksymalna siła, jaka została osiągnięta podczas badania próbek wyjściowych, wynosiła 3,87 kN. Podczas badania próbek po 8 miesiącach zabudowania w nasypie maksymalna siła wynosiła 3,95 kN, natomiast po 24 miesiącach – 3,19 kN.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania i analiza otrzymanych wyników pozwoliły stwierdzić, że:

– ośmiomiesięczny okres zabudowania geowłóknin w nasypie nie wpłynął istotnie na ich wytrzymałość na przebicie. Dla żadnego z typów geowłóknin nie zanotowano zmniejszenia wartości siły przebijającej, uzyskiwane wyniki były nawet o kilka procent wyższe w porównaniu do próbek wyjściowych;

– po okresie 24 miesięcy zabudowania w nasypie z mieszanki popiołowo-żużlowej geowłókniny GRK 151 i 401 z włókien polipropylenowych utraciły 15–16% wytrzymałości na przebicie statyczne, natomiast geowłókniny R 404, 1024 i Terrafix z recyklowanych włókien polipropylenu utraciły 17–19% wytrzymałości.

BIBLIOGRAFIA

Bartkowiak E. *Geowłókniny igłowane o właściwościach drenażowych i ochronnych*. Konferencja Naukowo-Techniczna. Ustroń 2001, s. 92-101.

Bartkowiak E., Malkiewicz J. *Parametry i właściwości użytkowe geowłóknin igłowanych wytwarzanych z włókien odcinkowych na tle właściwości innych geotekstyliów* [w:] *Geosyntetyki i tworzywa sztuczne w geotechnice i budownictwie inżynieryjnym. Materiały konferencji naukowo-technicznej. Częstochowa, 11–13 marca 2006 r.* Częstochowskie Wydawnictwo Archidiecezjalne Regina Poloniae. Częstochowa 2006, s. 19–26.

Bolt A. Sterpejkowicz-Wersocki W. *Trwałość geosyntetyków z uwzględnieniem zagadnień filtracji* [w:] *Geosyntetyki i tworzywa sztuczne w geotechnice i budownictwie inżynieryjnym. Materiały konferencji naukowo-technicznej. Częstochowa, 11–13 marca 2006 r.* Częstochowskie Wydawnictwo Archidiecezjalne Regina Poloniae. Częstochowa 2006, s. 43–50.

Chodyński A. *Trwałości surowców stosowanych w geosyntetykach* [w:] *VIII Konferencja Naukowo-Techniczna: Szkoła metod projektowania obiektów inżynierskich z zastosowaniem geosyntetyków*. Ustroń 2002, s. 65–78.

Maślanka K., Pielichowski J. *Geosyntetyki w inżynierii i ochronie środowiska*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne TEZA. Kraków 2006, 141 ss.

NAUE – Materiały informacyjne firmy Naue GmbH&Co.KG, Wartturmstraße1 32312, Lübbecke, Germany.

Pawlikowski M., Mglej R. *Badania mineralogiczne procesu starzenia się geosyntetyków stosowanych w obiektach inżynierskich* [w:] *Geosyntetyki i tworzywa sztuczne w geotechnice i budownictwie inżynieryjnym. Materiały konferencji naukowo-technicznej. Częstochowa, 11–13 marca 2006 r.* Częstochowskie Wydawnictwo Archidiecezjalne Regina Poloniae. Częstochowa 2006, s. 193–202.

PN-B-02481:1998 Geotechnika — Terminologia podstawowa, symbole literowe i jednostki miar.

PN-EN 13251:2002/A1:2006 Geotekstylia i wyroby pokrewne — Właściwości wymagane w odniesieniu do wyrobów stosowanych w robotach ziemnych, fundamentowaniu i konstrukcjach oporowych.

PN-EN ISO 12236:2007 Geosyntetyki – Badanie statycznego przebicia (metoda CBR).

PN-EN ISO 14688-1:2006 Badania geotechniczne — Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów — Część 1: Oznaczanie i opis.

PN-EN ISO 14688-2:2006 Badania geotechniczne — Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów — Część 2: Zasady klasyfikowania.

PKN-CEN ISO/TS 17892-4:2009 Badania geotechniczne — Badania laboratoryjne gruntów — Część 4: Oznaczanie składu granulometrycznego.

Rosik-Dulewska Cz. *Podstawy gospodarki odpadami*. Wydawnictwo Ekoinżynieria. Lublin 1999, 302 ss.

Sawicki A., Kulczykowski M., Bogdanowicz U., Kazimierowicz–Frankowska K. *Geosyntetyki w inżynierii lądowej i wodnej*. Inżynieria i Budownictwo 1996, nr 11, s. 617–620.

Wesolowski A., Krzywosz Z., Brandyk T. *Geosyntetyki w konstrukcjach inżynierskich*. Wydawnictwo SGGW. Warszawa 2000, 231 ss.

Dr inż. Mariusz Cholewa
Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki
Uniwersytet Rolniczy
Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków
tel. 12 6624150
e-mail: mcholewa@ur.krakow.pl