INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr 1/IV/2013, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 129–141
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

BADANIA WYBRANYCH PARAMETRÓW WYTRZYMAŁOŚCI GEOWŁÓKNIN UŁOŻONYCH NA PODŁOŻU ODKSZTAŁCALNYM I NIEODKSZTAŁCALNYM

Mariusz Cholewa[2], Tymoteusz Zydroń[2], Łukasz Pelc[1]
[1]Przedsiębiorstwo Inżynieryjne PEKUM Sp. z o.o.,
[2]Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

TESTS OF SELECTED MECHANICAL PARAMETERS OF NON-WOVEN GEOTEXTILES OVERLYING A DEFORMABLE AND UNDEFORMABLE SUBSOIL

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych wytrzymałości na przebicie piramidką wybranych geowłóknin igłowanych o gramaturze od 150 do 1200 g · m^{-2}. Porównano wartości siły przebicia geosyntetyków ułożonych na podłożu nieodkształcalnym z wartościami uzyskanymi na podłożu odkształcalnym. Podłoże nieodkształcalne zgodnie z PN-EN 14574:2006P stanowiła płytka aluminiowa. Jako podłoże odkształcalne użyto mieszanki popiołowo-żużlowej zagęszczonej w cylindrze do trzech wartości wskaźnika zagęszczenia: 0,90, 0,95 i 1,00. Zaobserwowano, że wartości siły przebicia na podłożu nieodkształcalnym wzrastają proporcjonalnie do gramatury geowłóknin. Wartość siły potrzebnej do przebicia badanej próbki na gruntowym podłożu odkształcalnym maleje wraz ze wzrostem wskaźnika zagęszczenia. Przebicie geowłóknin ułożonych na podłożu odkształcalnym wymagało użycia większych sił w porównaniu do podłoża nieodkształcalnego i powodowało duże odkształcenia geowłóknin.

Słowa kluczowe: *geowłókniny, popioło-żużel, wytrzymałość na przebicie*

Summary

In the article results of laboratory tests of a puncture resistance with a pyramid carried out on chosen needle punched non-woven geotextiles of basic weight from 150 do 1200 g · m^{-2} are presented. Values of the puncture strength were compared for geotextiles placed on a rigid and soft support. According to PN-EN 14574:2006P a rigid support was an aluminum plate. Ash-slag mixture, compacted in a cylinder at compaction indexes of Is=0.90, 0.95 and 1.00 was used as a soft support.

It was observed that the puncture strength values on the rigid support are increasing proportionally to the basic weight. The value of the strength needed to puncture tested sample on the soil ground is decreasing along with the increase in the compaction index. Puncture of the geotextiles placed on the soft support required higher strengths in comparison to the rigid support and caused large deformations of the geotextiles.

Key words: *non-woven geotextiles, ash-slag, puncture resistance*

WSTĘP

Obecnie wyroby geosyntetyczne zyskały pozycję pełnoprawnego materiału budowlanego. W procesie planowania inwestycji budownictwa ziemnego są na tyle atrakcyjne w swojej wielofunkcyjności i różnorodności, że stanowią często stosowany materiał [Horrocks ,Anand 2000, Koerner 2005]. Stale rozwijająca się technologia i duże możliwości wytwórcze pozwalają uzyskać coraz lepsze właściwości fizyczne oraz mechaniczne omawianych wyrobów. Geosyntetyki mogą bardzo dobrze współpracować z materiałem ziemnym, tworząc system o korzystnym mechanizmie działania [Tatsuoka 2008]. Oprócz znaczących zalet geosyntetyki posiadają również wady, które narzucają pewne wymagania czy też ograniczenia co do warunków i sposobu ich montażu [PN-EN 13251:2002/A1:2006P]. Główną ich wadą jest mała odporność na promienie UV [Chodyński 2002] i agresywny chemizm materiału zasypowego [Cholewa 2012].

Geowłókniny to bardzo obszerna grupa wyrobów z rodziny geosyntetyków. Charakteryzują się unikalną cechą, jaką stanowi połączenie w jednym materiale właściwości hydraulicznych, wytrzymałości na zrywanie, odporności na przebicie, a przede wszystkim wodoprzepuszczalności [Bartkowiak 2001]. Różne procesy produkcyjne, w których do łączenia włókien stosuje się m.in. igłowanie, zgrzewanie i klejenie, warunkują późniejsze przeznaczenie wyrobu. Równie istotna jest masa powierzchniowa – geowłókniny pełniące funkcje osło-

nowe powinny charakteryzować się gramaturą powyżej 400 g · m^{-2}. Zapewnia to odpowiednie zabezpieczenie chronionych geomembran.

Niniejszy artykuł zawiera opis i wyniki badania geowłóknin mających pełnić funkcje osłonowe i separacyjne. Analiza dotyczy wartości siły przebicia geosyntetyków ułożonych na podłożu nieodkształcalnym i wartości uzyskanych na podłożu odkształcalnym. W tekście odniesiono się do obowiązującej metodyki normowej, a także zaproponowano własne rozwiązanie badawcze powiązane z charakterystyką podłoża gruntowego, na którym geowłókniny będą zabudowane.

CHARAKTERYSTYKA ZASTOSOWANYCH MATERIAŁÓW

Charakterystyka geowłóknin

Badania wykonano dla pięciu geowłóknin produkowanych metodą igłowania. Charakterystykę techniczną materiałów pochodząca od producenta zawiera tabela 1. Omawiane wyroby mają zastosowanie jako warstwy separacyjne, ochronne i filtracyjne.

Geowłókniny separacyjne Secutex GRK 151-GRK 3C, 401-GRK 5C, o gramaturach odpowiednio 150 i 400 g · m^{-2}, koloru białego, wykonano z polipropylenu (PP) bez dodatku surowca z recyklingu. Ten typ materiału stosowany jest w budownictwie ziemnym – zabezpiecza warstwy gruntowe z różnych materiałów przed mieszaniem się, jednocześnie umożliwiając przepływ filtracyjny. Stosowany w budownictwie drogowym i kolejowym służy do oddzielania warstw konstrukcyjnych nasypów [NAUE, 2008].

Geowłókniny ochronne Secutex R 404, R 1024, o gramaturach odpowiednio 400 i 1200 g · m^{-2} wykonano z włókien polipropylenowych (PP) odzyskanych w procesie recyklingu. Z założenia mają pełnić funkcje ochronne dla geomembran stosowanych przy budowie uszczelnień przeciwfiltracyjnych na składowiskach odpadów, uszczelnianiu sztucznych zbiorników powierzchniowych itp. Mimo dużej gramatury, w porównaniu do wyżej opisanych wyrobów GRK 151-GRK 3C i 401-GRK 5C posiadają mniejszą wytrzymałość na rozciąganie, natomiast ich maksymalne wydłużenie przy rozciąganiu jest większe. Wartości siły przebicia statycznego – odpowiednio 1600 N i 6000 N – gwarantują dobre zabezpieczenie chronionych geomembran.

Geowłóknina filtracyjna Terrafix 813 to wyrób dwuwarstwowy, wykonany 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). Gramatura wynosząca 814 g · m^{-2} oraz wytrzymałość na rozciąganie powyżej 12 kN · m^{-1} pozwalają temu rodzajowi geowłókniny z powodzeniem pełnić funkcje filtracyjne i wzmacniające. Geowłókniny Terrafix 813 wykorzystywane są w szerokim zakresie w budownictwie hydrotechnicznym, jako pojedyncze lub wielowarstwowe filtry tekstylne, maty obciążone piaskiem.

Tabela 1. Podstawowe dane techniczne badanych geowłóknin.
Table 1. Basic technical data of tested geotextiles.

Parametr	Metoda badania	Jednostka	151 GRK 3C	401 GRK5C	R 404	R 1204	Terrafix 813
Gramatura	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^{-1}]	5,0/8,0	18,0/25,0	7,0/11,0	22,5/40,0	≥12,0 (wzdłuż) ≥12,0 (wszerz)
Wydłużenie przy max. 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 E 60500 DIN EN ISO 12956	[mm]	0,15	0,08	0,15	0,08	0,08
Standardowe wymiary	-	[m x m]	5,90 x 100	5,90 x 100	5,80 x 100	5,80 x 50	5,80 x 50

Źródło: Materiały informacyjne firmy Naue GmbH&Co.KG, Wartturmstraße 1, 32312 Lübbecke.

Tabela 2. Podstawowe właściwości fizyczne i mechaniczne mieszanki popiołowo-żużlowej.
Table 2. Basic physical and mechanical properties of ash-slag mixture.

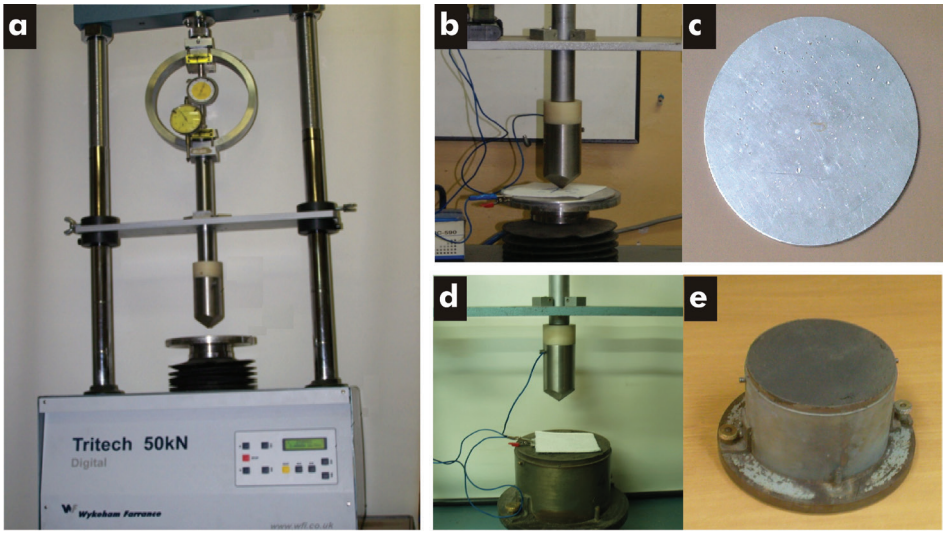
Parametr	Jednostka	Wartość
Zawartość frakcji według norm PN-EN ISO 14688-1:2006P i PN-EN ISO 14688-2:2006P: – żwirowa 63-2 mm – piaskowa 2-0,063 mm – pyłowa 0,063-0,002 mm – iłowa < 0,002 mm	[%]	 14,50 62,50 22,10 0,90
Nazwa wg PN-B-02481:1998P	[-]	Po
Nazwa według PKN-CEN ISO/TS 17892-4:2009P	[-]	siSa
Wskaźnik różnoziarnistości	[-]	8,80
Gęstość właściwa	[g × cm^{-3}]	2,49
Wilgotność optymalna	[%]	30,50
Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu	[g × cm^{-3}]	1,26

Charakterystyka mieszanki popiołowo-żużlowej

Wykorzystana w badaniach mieszanka popiołowo-żużlowa została pobrana z wydzielonej części osadnika popiołów i żużli Elektrowni Skawina. Zakład zajmuje się produkcją energii elektrycznej z wykorzystaniem węgla kamiennego jako paliwa podstawowego. Ze względów technologicznych udział biomasy w spalanym materiale nie przekracza 10%. Ilość tzw. zielonej energii (wyprodukowanej z biomasy) stanowi około 4%. Opisywana mieszanka popiołowo-żużlowa jest pozostałością po procesie spalania, odkładającą się w dolnej części kotła i pozostającą w oczyszczających spaliny elektrofiltrach. W laboratorium Katedry Inżynierii Wodnej i Geotechniki Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie oznaczono parametry fizyczne mieszanki (tab. 2), którą później zagęszczano jako podłoże dla przebijanych geowłóknin.

Skład granulometryczny oznaczono metodą sitową „na mokro" dla cząstek większych lub równych 0,063 mm i areometryczną dla cząstek mniejszych od 0,063 mm. Popioło-żużel zawierał ponad 14% cząstek odpowiadających frakcji żwirowej, ponad 62% ziaren odpowiadających frakcji piaskowej, około

22% – pyłowej, oraz nieznaczną ilość frakcji iłowej (tab. 2). Pod względem geotechnicznym mieszankę popioło-żużlową można scharakteryzować – według PKN-CEN ISO/TS 17892-4:2009P – jako piasek zapylony o zawartości frakcji najdrobniejszych f_{si+cl} = 23%. Oznaczona w kolbie miarowej gęstość właściwa wyniosła 2,49 g × cm^{-3}. Wilgotność optymalną (30,5%) i maksymalną gęstość objętościową szkieletu (1,26 g × cm^{-3}) oznaczono w aparacie Proctora, stosując standardową energię zagęszczania – 0,59 J × cm^{-3}. Wszystkie parametry są charakterystyczne dla odpadów paleniskowych i odbiegają znacząco od parametrów naturalnych gruntów mineralnych.



a) prasa hydrauliczna; b) przebicie na podłożu nieodkształcalnym; c) płytka aluminiowa;
d) przebicie na podłożu odkształcalnym; e) zagęszczona w cylindrze mieszanka popiołowo-żużlowa.
a) hydraulic press; b) puncture on the rigid support c) aluminum plate;
d) puncture on the soft support e) ash-slag mixture compacted in the cylinder

Rysunek 1. Stanowisko badawcze
Figure 1. Test stand

METODY BADAWCZE

Badania obejmowały określenie wytrzymałości na przebicie piramidką geowłóknin ułożonych na dwóch rodzajach podłoża – podłożu nieodkształconym

oraz zagęszczonej mieszance popiołowo-żużlowej. Badania przeprowadzono zgodnie z PN-EN 14574:2006P. Zastosowana metoda miała symulować oddziaływanie ostrych i sztywnych elementów podczas obciążenia geosyntetyków zabezpieczających geomembrany. Podłoże nieodkształcalne (statyczne) stanowiła aluminiowa płytka (ze stopu AlMgSi F32) o średnicy 20 cm i grubości 0,3 cm umieszczona na stalowej podstawie. Jako podłoże odkształcalne użyto mieszanki popiołowo-żużlowej zagęszczonej w cylindrze do trzech wartości wskaźnika zagęszczenia: 0,90, 0,95 i 1,00. Mieszaninę o wilgotności optymalnej zagęszczano warstwami w cylindrze o średnicy 152 mm. Wykonano ogółem 75 próbek podłoża gruntowego. Zbadano 5 rodzajów geowłóknin, które przebijano najpierw na sztywnym podłożu, na którym każdy rodzaj geowłókniny przebito 10 razy, a następnie na podłożu gruntowym o zmiennej wartości wskaźnika zagęszczenia, na którym geowłókniny przebito pięciokrotnie.

Badania wytrzymałości na przebicie próbek badanych geowłóknin przeprowadzono, korzystając z prasy hydraulicznej Tritech 50 kN (rys. 1). Jest to prasa z pionowym układem mechanicznym. Bada się na niej wytrzymałość na ściskanie i zginanie próbek gruntu oraz innych materiałów. Aparat ten odpowiada zaleceniom normy, zgodnie z którą przeprowadzono badania. Prasa zapewnia utrzymanie podczas badania stałej prędkości trzpienia obciążającego. Zestaw pomiarowy montowany do prasy składał się z dynamometru, piramidki przebijającej, lampki sygnalizacyjnej i płytki aluminiowej lub cylindra z mieszanką popiołowo-żużlową. Maksymalna wartość pomiaru zamontowanego pierścienia dynamometru wynosiła 5 kN. Piramidka miała kształt ściętego walca. Ostrosłup składał się z czterech boków o kącie wierzchołkowym 90°.

Badanie polegało na powodowanym przez prasę zagłębianiu się trzpienia w geowłókninie do momentu zamknięcia obwodu elektrycznego z płytka aluminiową ułożoną na podstawie prasy lub giętką blaszką o średnicy 20 mm i grubości 0,3 mm ułożoną na gruncie (rys. 1). Zakończenie badania następowało w chwili przebicia próbki geosyntetyku na wylot. Zamknięcie obwodu elektrycznego pomiędzy stalową piramidka i przewodzącą podkładką sygnalizowała świecąca się lampka. Następował koniec badania, wraz z którym odczytywano wartość siły przebicia z dynamometru jako pochodną liczby działek, czas trwania badania i zagłębienie trzpienia.

WYNIKI BADAŃ I ANALIZA

W wyniku badań otrzymano 125 pomiarów siły przebicia i przemieszczeń trzpienia przebijającego. Dla jednej geowłókniny otrzymano 25 wyników pomiarów siły i czasu, w jakim nastąpiło przebicie. Wyniki pomiarów zostały uśrednione i poddane analizie.

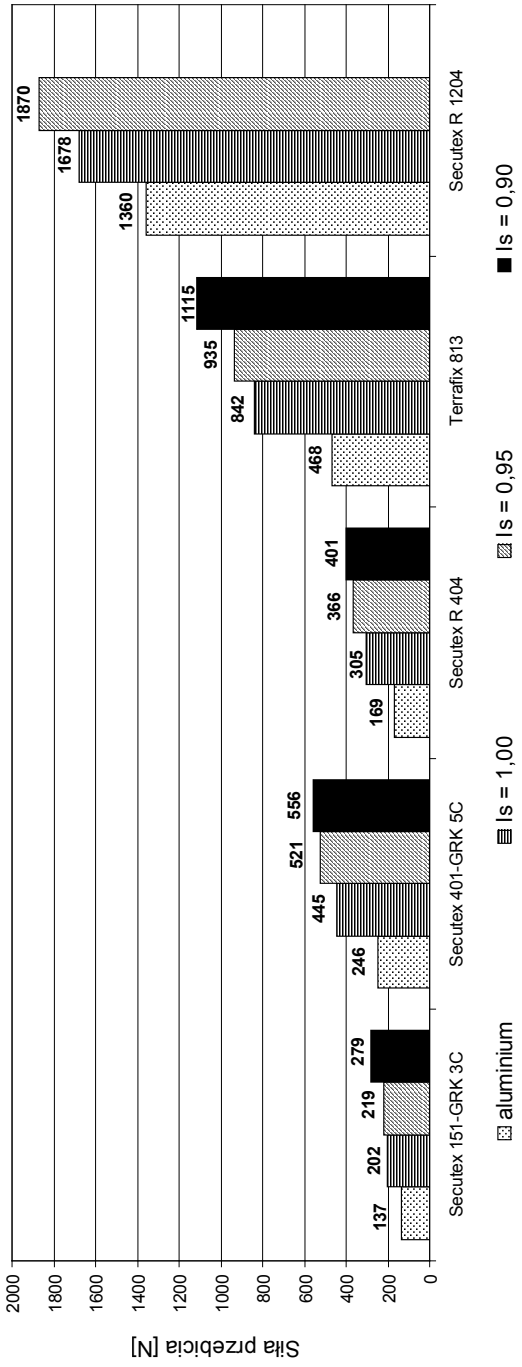
Wartości siły przebicia

Wyniki badań siły przebicia przedstawiono zbiorczo na rys. 2. Dla każdej z geowłóknin zestawiono uśrednione wartości siły przebicia na mieszance popiołowo-żużlowej o trzech wartościach wskaźnika zagęszczenia i – dla porównania – na płytce aluminiowej.

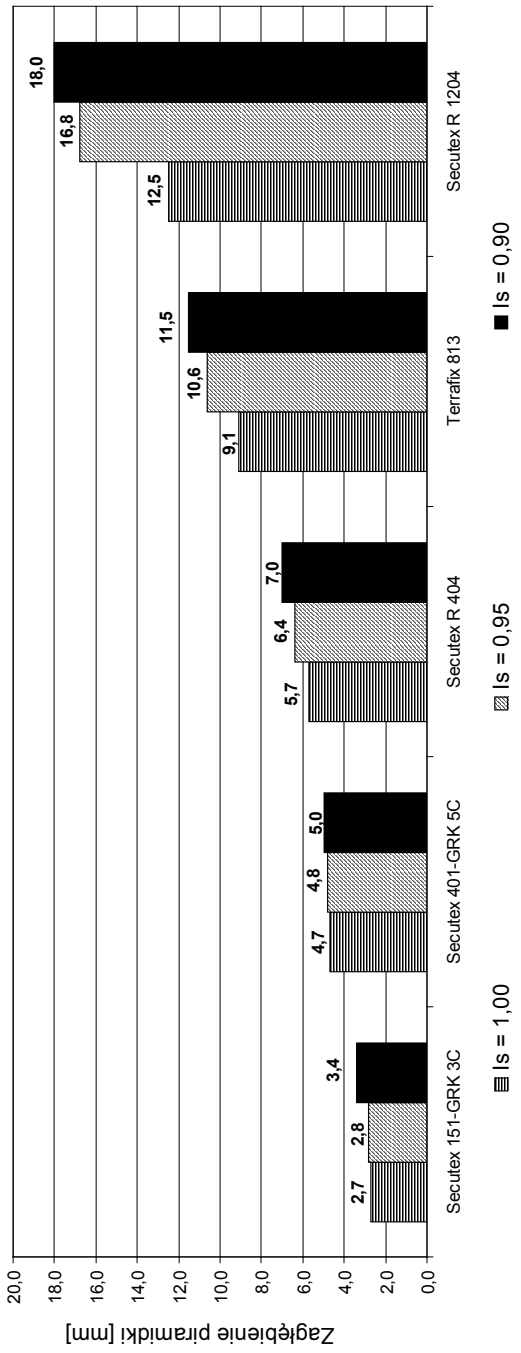
Przedstawione na wykresie (rys. 2) wyniki wskazują, że siła przebicia geowłóknin jest najmniejsza na podłożu nieodkształcalnym. Wartość siły przebicia wzrasta wraz z gramaturą geowłóknin. Na podłożu nieodkształcalnym minimalna wartość siły wyniosła 137 N – dla geowłókniny Secutex 151-GRK 3C. Maksymalną wartość siły, 1360 N, odnotowano dla geowłókniny o największej gramaturze.

Dla podłoża odkształcalnego wartości siły mieściły się w przedziale od 202 N do 1870 N. Wartość siły potrzebnej do przebicia badanej próbki wzrastała wraz ze spadkiem wskaźnika zagęszczenia podłoża gruntowego. Maksymalną siłę przebicia na podłożu odkształcalnym uzyskano dla geowłókniny Secutex R 1204. Wyniosła ona 1870 N (przy $I_S = 0{,}95$). Minimalna wartość siły na podłożu odkształcalnym wyniosła 202 N (przy $I_S = 1{,}00$). Uzyskano ją dla geowłókniny Secutex 151-GRK 3C. Przy zagęszczeniu $I_S = 0{,}90$ nie udało się przebić najgrubszej geowłókniny – Secutex R 1204. Piramidka zagłębiała się do dna cylindra, w którym znajdował się grunt, lecz nie odnotowano sygnału przebicia.

Siła potrzebna do przebicia geowłóknin na podłożu gruntowym o wskaźniku zagęszczenia równym 1,00 była większa od siły potrzebnej do przebicia na płytce aluminiowej. Dla geowłóknin GRK 151-GRK 3C i R 1024 różnica wyniosła odpowiednio 47 i 23%, dla pozostałych – 80% (tab. 3). Po zmniejszeniu wartości wskaźnika zagęszczenia z 1,00 do 0,95 wartości sił wzrosły od 8 do 20%. Wartości sił wzrosły również po zmniejszeniu wartości wskaźnika zagęszczenia z 0,95 do 0,90 – mieściły się w przedziale od 7 do 27%.



Rysunek 2. Wartości siły przebicia geowłóknin na podłożu nieodkształcalnym i odkształcalnym.
Figure 2. Puncture strength values of non-woven geotextiles on the rigid and soft suport



Rysunek 3. Zagłębienie piramidki przy przebiciu na podłożu odkształcalnym.
Figure 3. Pyramid's pit at the puncture on the soft support

Tabela 3. Procentowy przyrost wartości siły przebicia przy zmianie podłoża.
Table 3. Table 3. Percentage increase in puncture strength values with a change of support

Rodzaj podłoża	Typ geowłókniny				
	Secutex 151-GRK 3C	Secutex 401-GRK 5C	Secutex R 404	Terrafix 813	Secutex R 1024
	Zwiększenie wartości siły [%]				
aluminium	47	81	80	80	23
gruntowe Is = 1,00	8	17	20	11	11
gruntowe Is = 0,95	27	7	10	19	>10
gruntowe Is = 0,90					

Wielkość przemieszczeń

Wraz z pomiarem wartości siły przebicia wykonywano odczyt zagłębienia piramidki przebijającej. Pozwoliło to określić, na jaką głębokość trzpień musi wbić się z geowłókniną w grunt, by doszło do przebicia. Wyniki pomiarów przedstawiono zbiorczo na rysunku 3. Dla każdej z geowłóknin zestawiono uśrednione wartości zagłębienia na podłożu z mieszanki popiołowo-żużlowej o trzech wartościach wskaźnika zagęszczenia.

Wielkości przemieszczeń przy przebijaniu geowłóknin nie powinny przekraczać wydłużenia przy maksymalnym rozciągnięciu. Można wtedy oczekiwać, że pomimo braku przebicia sygnalizowanego lampką może dojść do rozerwania materiału geowłókniny na skutek przekroczenia wartości granicznego wydłużenia.

Analizując wartości przedstawione na rysunku 3, można stwierdzić, że:

- wraz ze wzrostem zagęszczenia gruntu maleje zagłębienie trzpienia z próbką w gruncie;
- maksymalne zagłębienie, przekraczające 18 mm, zanotowano dla geowłókniny Secutex R 1204, przy zagęszczeniu I_S = 0,90;
- minimalne zagłębienie, równe 2,7 mm, zanotowano dla geowłókniny Secutex 151-GRK 3C, przy zagęszczeniu I_S = 1,00.

PODSUMOWANIE

Badania uszkodzeń geosyntetyków, jakie mogą wystąpić w budowlach ziemnych, przyczyniają się do zwiększania wysiłku producentów zmierzającego do doskonalenia tych wyrobów. Pewne procedury normowe powinny odzwierciedlać współpracę geosyntetyku z podłożem gruntowym. Badania takie prezentują Bolt, Duszyńska i Piotrowska [2004] oraz Dickinson i Brachman [2008]. Autorzy zwracają uwagę na konieczność udoskonalania metod badawczych w celu zapewnienia warunków badań odzwierciedlających rzeczywistą pracę geosyntetyków w budowlach ziemnych.

Zagęszczenie mieszaniny popiołowo-żużlowej wpływa nie tylko na jej parametry geotechniczne [Zawisza E., Cholewa M., Mardyła P., 2009], ale również na cechy wytrzymałościowe współpracującego z nim geosyntetyku. Wyniki wartości siły przebicia na podłożu gruntowym są wyraźnie większe od normowych badań klasyfikacyjnych na podłożu nieodkształcalnym. Wartości siły przebicia na podłożu z mieszanki popiołowo-żużlowej o wskaźniku zagęszczenia równym 0,90 są ponad 100% większe od wartości uzyskanych na podłożu nieodkształcalnym jakim była płytka aluminiowa. Projektant może mieć świadomość pewnego zapasu wytrzymałości w stosunku do wartości klasyfikacyjnej ustalanej normowo przez producenta geowłókniny.

BIBLIOGRAFIA

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

Bolt A., Duszyńska A., Piotrowska M. (2004). *Badania laboratoryjne symulujące uszkodzenia mechaniczne geotekstyliów i wyrobów pokrewnych w budowlach ziemnych*. W: *Materiały II Problemowej Konferencja Geotechniki „Współpraca budowli z podłożem gruntowym", Białystok–Białowieża, 17-18 czerwca 2004*, Białystok: P. Białost., 201-210.

Chodyński A. (2002). *Trwałości surowców stosowanych w geosyntetykach*. W: *Materiały VIII Konferencji Naukowo-Technicznej „Szkoła metod projektowania obiektów inżynierskich z zastosowaniem geosyntetyków"*, Ustroń, 65-78.

Cholewa M. (2012). *Oddziaływanie chemiczne mieszanki popiołowo-żużlowej na wytrzymałość geowłóknin igłowanych*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 3(04), 167-177.

Dickinson S., Brachman R.W.I. (2008). *Assessment of Alternative Protection Layers for a Geomembrane–geosynthetic Clay Liner (GM–GCL) Composite Liner*. Canadian Geotechnical Journal, 45, 11, 1594-1610.

Horrocks A.R., Anand S.C. (red.) (2000). *Handbook of Technical Textiles*, Boca Raton, FL: CRC Press/Woodhead Pub.

Koerner R.M. (2005). *Designing with Geosynthetics*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.

NAUE (2008). [Materiały informacyjne firmy Naue GmbH&Co.KG]. Lübbecke.

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

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

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

PN-EN 14574:2006P Geosyntetyki – Wyznaczanie oporu na przebicie piramidką geosyntetyków osłonowych.

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

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

Tatsuoka F. (2008). *Geosynthetics Engineering, Combining Two Engineering Disciplines. Special Lecture*, 4th GeoSynthetics Asia, June 2008, Shanghai. http://www.rs.noda.tus.ac.jp/soil/TatsuokaWork/Tatsuoka_Lec_Presentation/2008Shanghai/08Shanghai_pre.pdf

Zawisza E., Cholewa M., Mardyła P., (2009). *Wpływ uziarnienia i zagęszczenia na ściśliwość wybranych mieszanin popiołowo – żużlowych*. Drogownictwo, 10, 343-348.

Dr inż. Mariusz Cholewa
Dr inż. Tymoteusz Zydroń
e-mail:mcholewa@ur.krakow.pl
e-mail; tzydron@ur.krakow.pl
Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki
Uniwersytet Rolniczy im.H.Kołłątaja
Al. Mickiewicza 24/28
30-059 Kraków
Mgr inż. Łukasz Pelc
Przedsiębiorstwo Inżynieryjne PEKUM Sp. z o.o.
ul. Grzegórzecka 67c/141a
31-559 Kraków
e-mail: 200lukas@interia.pl