

Anna Gniwek*

Agnieszka Gawryluk**

METODY BADAŃ WŁAŚCIWOŚCI FILTRACYJNYCH GEOSYNTETYKÓW

Prawidłowe wykorzystanie geosyntetyków wymaga znajomości ich właściwości fizycznych, mechanicznych i hydraulicznych. W artykule omówiono wybrane metody badawcze pozwalające na określenie parametrów filtracyjnych oraz przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w Laboratorium Badań Podłoża Budowlanego Zakładu Geotechniki i Fundamentowania ITB.

1. Wstęp

Geosyntetyki to grupa materiałów budowlanych cieszących się coraz większą popularnością. Podstawowy podział według normy [1] omawianych wyrobów przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1. Podstawowy podział geosyntetyków według normy [1]
Table 1. Basic classification of geosynthetics according to [1]

Geosyntetyki (GSY)		
	przepuszczalne	na ogół nieprzepuszczalne
Geotekstyli (GTX)	geotekstylny wyrobki pokrewne (GTP)	bariery geosyntetyczne (GBR)
Tkane (GTX-W)	geosiatki i georuszty (GGR)	geosyntetyczne bariery polimerowe (GBR-P)
	georuszty drenażowe (GNT)	
Nietkane (GTX-N)	geosyntetyki komórkowe (GCE)	geosyntetyczne bariery ilowe (GBR-B)
	geotaśmy (GST)	
Dziane (GTX-K)	geomaty (GMA)	geosyntetyczne bariery bitumiczne (GBR-B)
	geosyntetyki dystansujące (GSP)	

* mgr inż. – Zakład Geotechniki i Fundamentowania ITB

** mgr inż. – Zakład jw.

Geosyntytyki są stosowane w budownictwie między innymi:

- do budowy dróg i kolei [2], [3],
- w fundamentowaniu [4],
- w systemach drenażowych [5],
- w zabezpieczeniach przeciwoerozyjnych – do ochrony i umacniania brzegów [6],
- przy budowie zbiorników wodnych i zapór [7],
- przy budowie kanałów [8],
- przy budowie tuneli i konstrukcji podziemnych [9],
- w budowie składowisk odpadów stałych [10],
- w budowie zbiorników odpadów ciekłych [11].

Ze względu na pełnione funkcje geosyntytyki dzielimy – zgodnie z normą [1] na:

- **separacyjne** – służące do oddzielenia warstw gruntu o odmiennych parametrach,
- **filtracyjne** – zapewniające swobodny przepływ wody z równoczesnym utrzymaniem struktury szkieletu gruntu chronionego (zapobiegające przedostaniu się cząstek drobnych frakcji gruntu przy swobodnym przesączaniu się wody),
 - **wzmocnieniowe** – zwiększające nośność na przykład drogi gruntowej, warstwy bitumicznej nawierzchni (siła nacisku punktowego rozkładana jest na większe powierzchnie),
 - **ochronne** – mające na celu ochronę innego materiału lub warstwy przed uszkodzeniami mechanicznymi,
 - **odwadniające** – powodujące drenaż pionowy lub poziomy odprowadzający wodę/cieczę poprzez wewnętrzną przepuszczalną warstwę geokompozytu drenarskiego,
 - **przeciwoerozyjne** – mające na celu ochronę warstw wierzchnich brzegów lub skarp przed działaniem czynników zewnętrznych, na przykład wody czy wiatru.

Wyróżniamy następujące właściwości geosyntytyków [1]:

- fizyczne wraz z identyfikacyjnymi,
- mechaniczne – wytrzymałościowe, odkształceniowe,
- odpornościowe,
- hydrauliczne.

Badania identyfikacyjne i cech fizycznych obejmują oznaczenie:

- typu włókniny, wyglądu zewnętrznego,
- wymiarów geometrycznych,
- masy powierzchniowej.

W badaniach wytrzymałościowych i odkształceniowych oznacza się:

- wytrzymałość na rozciąganie,
- wydłużenie przy maksymalnej sile,
- zależność: siła – odkształcenie w badaniu na rozciąganie,
- wytrzymałość na statyczne przebicie (metoda CBR),
- wytrzymałość na dynamiczne przebicie (metoda spadającego stożka),
- współczynnik tarcia wyrób/grunt,
- pełzanie podczas rozciągania i zniszczenia przy pełzaniu.

Badania odporności obejmują oznaczenie:

- odporności na czynniki atmosferyczne,
- odporności na degradację chemiczną (badania starzenia w cieczach probierczych),
- odporności na degradację biologiczną.

Badania cech hydraulicznych obejmują oznaczenie:

- charakterystycznej wielkości porów O_{90} ,
- wodoprzepuszczalności w kierunku prostopadłym do płaszczyzny wyrobu,
- wodoprzepuszczalności w płaszczyźnie wyrobu.

W zależności od pełnionych funkcji geosyntetyk podlega różnym badaniom, które zestawiono w tabelicy 2.

Tablica 2. Badania w zależności od funkcji [12]

Table 2. Investigations depending on the function according to [12]

Właściwość	Funkcja				
	odwodnienie	filtracja	ochrona	wzmocnienie	separacja
Wygląd zewnętrzny	+	+	+	+	+
Grubość przy nacisku 2, 20, 200 kPa	+	+	+	+	+
Masa powierzchniowa	+	+	+	+	+
Wytrzymałość na rozciąganie	+	+	+	+	+
Wydłużenie przy maksymalnej sile	+	+	+	+	+
Naprężenie przy odkształceniu 3%, 5%, 10% w badaniu rozciągania	-	-	-	+	-
Wytrzymałość na statyczne przebicie (metoda CBR)	+	+	+	+	+
Wytrzymałość na dynamiczne przebicie (metoda spadającego stożka)	+	+	+	+	+
Współczynnik tarcia wyrób/grunt	-	-	-	+	-
Pełzanie podczas rozciągania	-	-	-	+	-
Wodoprzepuszczalność w kierunku prostopadłym do powierzchni	+	+	+	+	+
Wodoprzepuszczalność w płaszczyźnie wyrobu	+	-	-	-	-
Charakterystyczna wielkość porów O_{90}	+	+	+	+	+
Odporność na starzenie się w warunkach atmosferycznych*	+	+	+	+	+
Odporność na degradację chemiczną	w specyficznych warunkach stosowania				
Odporność na degradację biologiczną	w specyficznych warunkach stosowania				
* Jeśli wyrób jest wytworzony z polimerów z domieszką surowców wtórnych lub przewidywany czas eksploatacji jest dłuższy niż 25 lat					

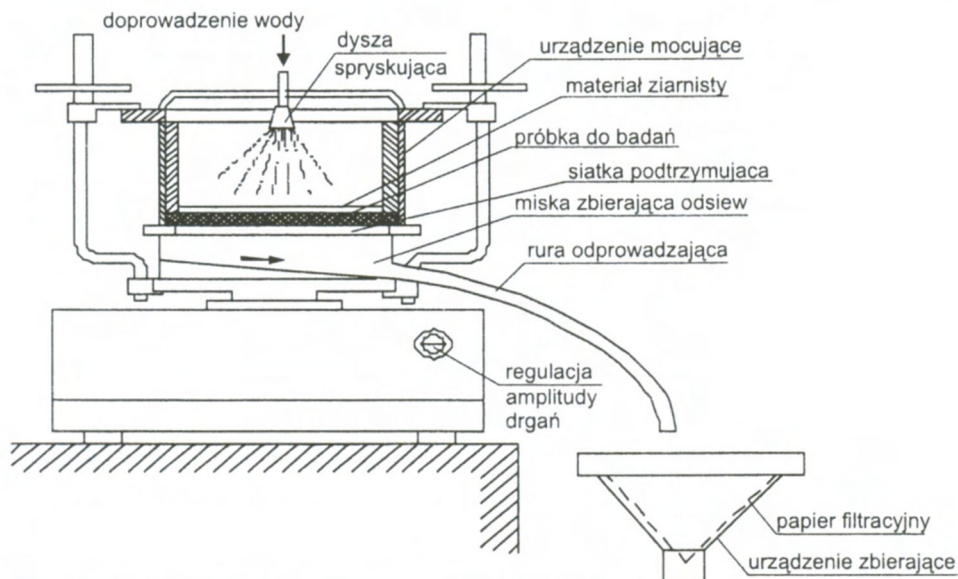
Celem artykułu jest przedstawienie zakresu badań wykonywanych w Laboratorium Badań Podłoża Budowlanego na potrzeby oceny właściwości hydraulicznych geosyntetyków.

2. Parametry hydrauliczne geosyntetyków

Opis metod badawczych pozwalających oznaczyć właściwości hydrauliczne geosyntetyków przedstawiono poniżej.

2.1. Badanie charakterystycznej wielkości porów wykonywane metodą przesiewania na mokro

Badanie charakterystycznej wielkości porów wykonywane metodą przesiewania [12] polega na przesiewaniu na mokro (przemywaniu) piasku kwarcowego o uziarnieniu odpowiadającym wymaganiom normowym [13] przez pojedynczą warstwę wyrobu geotekstylnego. Charakterystyczna wielkość porów, O_{90} , odpowiada największemu wymiarowi ziaren przesianego materiału, które wraz z mniejszymi stanowią 90% materiału, który przeszedł przez badany wyrób ($O_{90} = d_{90}$).

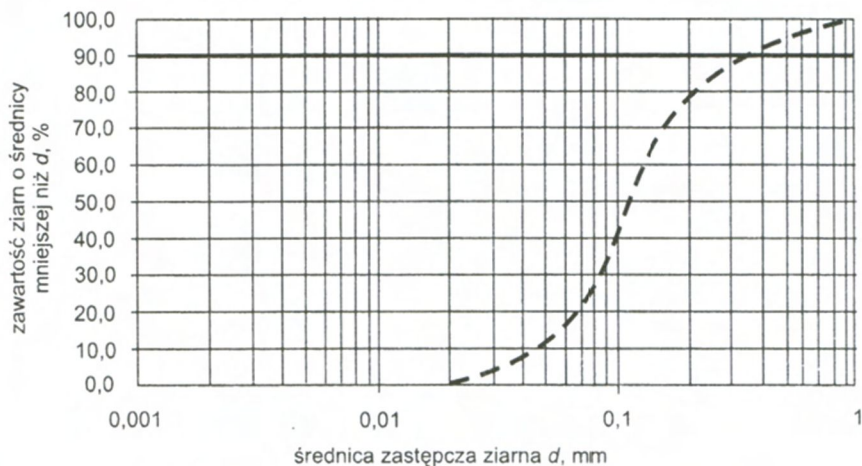


Rys. 1. Schemat aparatu do przesiewania piasku wzorcowego na badanej warstwie próbki
Fig. 1. Scheme of the sieving (screening) equipment of model sand on tested layer of sample

Do przeprowadzenia badania wykorzystuje się specjalnie przystosowaną wstrząsar-kę, do której doprowadzona jest woda. Strumień wody skierowany jest bezpośrednio na próbkę wraz z materiałem ziarnistym. Woda razem z materiałem, który przeszedł przez badaną próbkę, odprowadzana jest do naczynia zbierającego. Tak zebrany materiał filtruje się w celu odzyskania materiału badawczego. Następnie suszy się osobno próbkę

z materiałem, który pozostał na badanej powierzchni, oraz materiał ziarnisty odzyskany z naczynia zbierającego. Z wysuszonego materiału, który przeszedł przez badaną próbkę, wyznacza się krzywą uziarnienia. Na podstawie tej krzywej wyznacza się $O_{90} = d_{90}$.

Schemat aparatu do przesiewania piasku wzorcowego na badanej warstwie próbki przedstawiono na rysunku 1, a przykładową krzywą uziarnienia, z której odczytuje się O_{90} – na rysunku 2.



Rys. 2. Przykładowa krzywa uziarnienia, z której odczytujemy O_{90} ($O_{90} = 0,30$)
 Fig. 2. Example of granulometric curve, from which O_{90} is obtained ($O_{90} = 0,30$)

2.2. Badanie przepuszczalności w kierunku prostopadłym do powierzchni wyrobu

Badanie przepuszczalności geotekstyn w kierunku prostopadłym do powierzchni zgodnie z normą [13] wykonuje się, stosując metodę stałego naporu hydraulicznego (stałej różnicy poziomów wody) – próbka poddawana jest skierowanemu prostopadle do jej powierzchni jednokierunkowemu przepływowi wody przy zachowaniu stałej wysokości naporów hydraulicznych. Z badania wyznacza się tzw. wskaźnik prędkości przepływu (V_{H50}). Jest to prędkość przepływu wody przez pojedynczą nieobciążoną warstwę wyrobu geotekstynowego przy wysokości naporu hydraulicznego 50 mm.

Zgodnie z normą wymagane jest przeprowadzenie 3 badań.

Badanie rozpoczyna się pomiarem prędkości przepływu przy naporze hydraulicznym wynoszącym 70 mm – po ustaleniu naporu mierzy się objętość wody przepływającej przez próbkę, w cm^3 , w określonym czasie s . Następnie na tej samej próbce powtarza się pomiar przy naporze hydraulicznym wynoszącym 60, 50, 40, 30 i 20 mm.

Dla każdej wysokości naporu hydraulicznego oblicza się prędkość przepływu wody przez próbkę v_{20} , przy temperaturze wody 20°C , stosując równanie według normy [14]:

$$v_{20} = \frac{V R_T}{A t}, \text{ m/s} \quad (1)$$

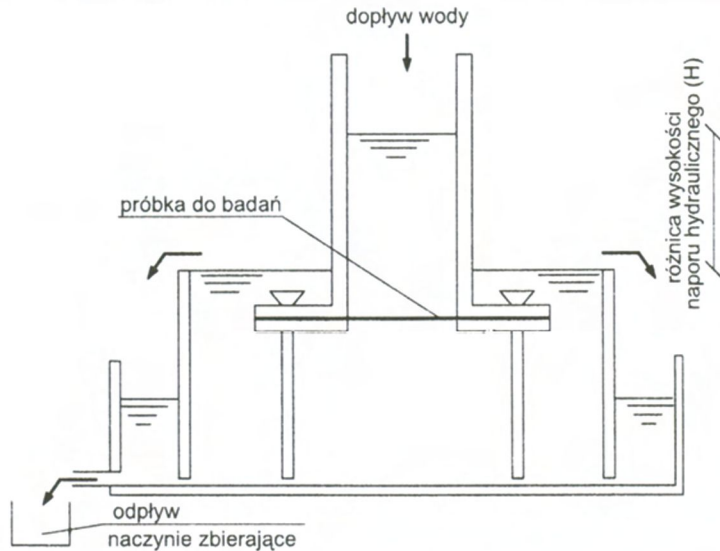
gdzie: V – zmierzona objętość wody, m^3 ,

- R_T – współczynnik korekcyjny do temperatury wody 20°C [-],
 A – czynna powierzchnia próbki, m²,
 t – czas przepływu objętości V wody, s.

W przypadku każdej próbki sporządza się wykres naporu hydraulicznego H w funkcji prędkości przepływu v_{20} , a następnie odczytuje wielkość prędkości filtracji przy wysokości naporu hydraulicznego 50 mm.

Wynikiem badania jest średnia prędkość filtracji (V_{H50}) z trzech próbek.

Na rysunku 3 pokazano schemat aparatu do określania współczynnika przepuszczalności w kierunku prostopadłym do wyrobu.



Rys. 3. Schemat aparatu do określenia współczynnika przepuszczalności w kierunku prostopadłym do wyrobu

Fig. 3. Scheme of equipment for test of permeability in the direction perpendicular to the product

2.3. Badanie przepuszczalności w płaszczyźnie wyrobu

Zgodnie z metodą badania przepuszczalności w płaszczyźnie wyrobu podanej w normie [14] wyznaczono współczynnik filtracji w płaszczyźnie geowłókniny k_H przy danym nacisku: 2, 20, 50 i 100 kPa.

Badanie przeprowadza się dla różnych poziomów wody oraz dla każdego kierunku produkcji wyrobu (wzdłuż i w poprzek).

Dla każdego obciążenia wyznaczono współczynnik filtracji, stosując wzór według normy [15]:

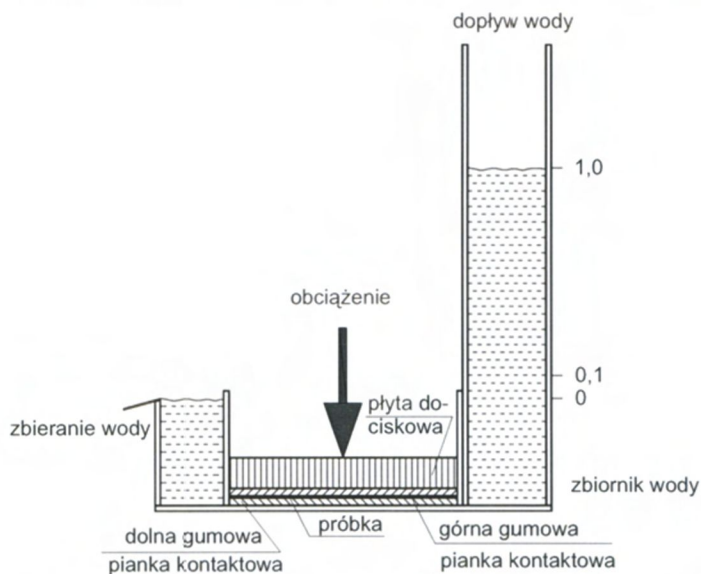
$$k_H = \frac{Q l R_T}{\Delta H b d t}, \text{ cm/s} \quad (2)$$

gdzie: Q – ilość przepływającej wody, cm³,
 l – długość próbki, cm,

- R_T – współczynnik korekcyjny do temperatury wody 20°C [-]
 ΔH – różnica poziomów wody, cm,
 b – szerokość próbki, cm,
 d – grubość próbki, cm,
 t – czas przepływu wody, s.

Wynikiem badania jest średnia wartość z trzech oznaczeń dla każdego kierunku przepływu wody.

Schemat aparatury do pomiaru współczynnika przepuszczalności pokazano na rysunku 4.



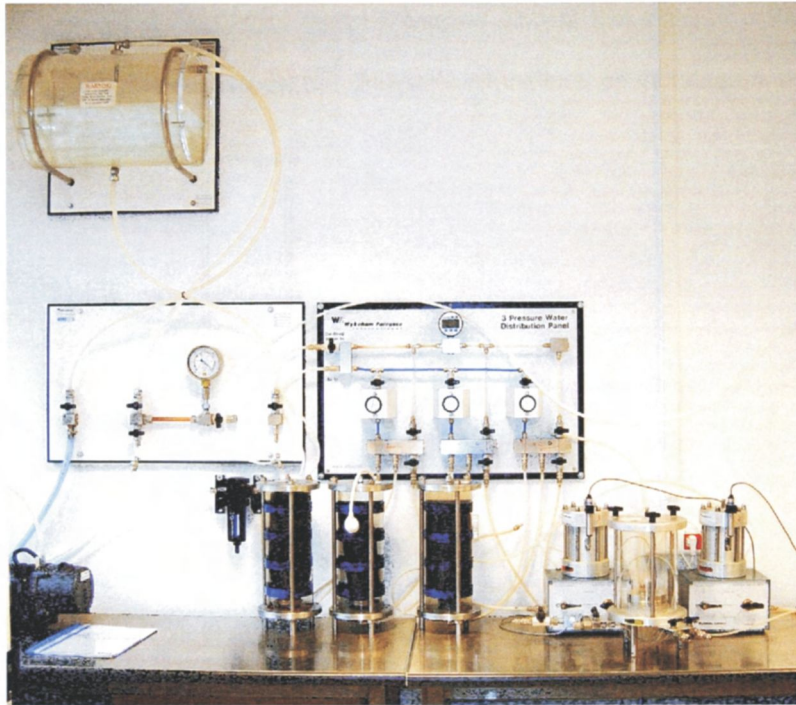
Rys. 4. Schemat aparatury do pomiaru współczynnika przepuszczalności w płaszczyźnie wyrobu
 Fig. 4. Scheme of equipment for test of permeability in the plain of the product

2.4. Oznaczanie współczynnika filtracji

Oznaczanie współczynnika filtracji według normy [15] przeprowadza się przy zastosowaniu aparatury do pomiaru współczynnika filtracji w komorze hydraulicznej, składającego się z pompy infuzyjnej, przewodów wysokociśnieniowych o małym przekroju poprzecznym z zaworami, czujnika różnicowego ciśnienia, panelu sterującego z systemem rejestrującym oraz systemu zapisu z komputerem stacjonarnym, a także komory z czujnikiem ciśnienia w komorze. Przepływ cieczy odbywa się poprzez małośrednicowe przewody. Dolna podstawa próbki połączona jest z jednym końcem czujnika różnicowego ciśnienia, natomiast górna podstawa – z drugim końcem czujnika. W panelu sterującym możliwe jest ustawienie prędkości przepływu cieczy w zakresie od 0,001 do 80 cm³/godz. Podczas badania woda ze stałą wymuszoną prędkością podawana jest poprzez czujnik różnicowy do dołu próbki. W czasie jednego badania przez próbkę przepuszcza się wodę o kilku różnych wydatkach Q_i dla każdego z nich rejestruje się wyniki pomiarów. Podczas

badania rejestrowany jest czas i wielkość ciśnienia różnicowego DH aż do momentu ustabilizowania się tej wartości.

Schemat stanowiska do badania filtracji w komorze hydraulicznej został przedstawiony na fotografii 1.

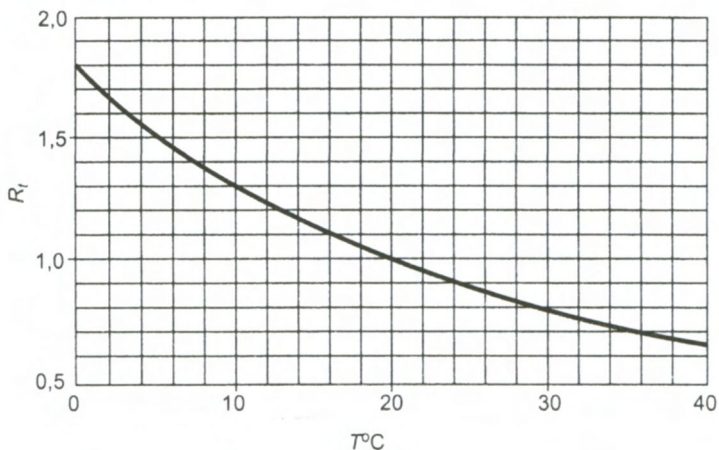


Fot. 1. Schemat stanowiska do badania filtracji w komorze hydraulicznej
Photo 1. Measurement stand for permeability tests in hydraulic cell

Według normy [2] współczynnik przepuszczalności w kierunku pionowym k_v , m/s, przy 20°C oblicza się z równania

$$k_v = \frac{1,63 q L}{A [(p_1 - p_2) - p_c]} R_t 10^{-4}, \text{ m/s} \quad (3)$$

- gdzie: q – średnie natężenie przepływu wody przez próbkę gruntu, ml/min,
 L – długość (średnica) próbki, mm,
 $(p_1 - p_2)$ – różnica między ciśnieniem w górnej linii odwodnienia, a ciśnieniem w dolnej linii odwodnienia,
 p_c – spadek ciśnienia w systemie, kPa, dla natężenia przepływu q , odczytany z wykresu kalibracyjnego,
 R_t – współczynnik poprawki temperaturowej uwzględniającej lepkość wody, wprowadzony z rysunku 5.



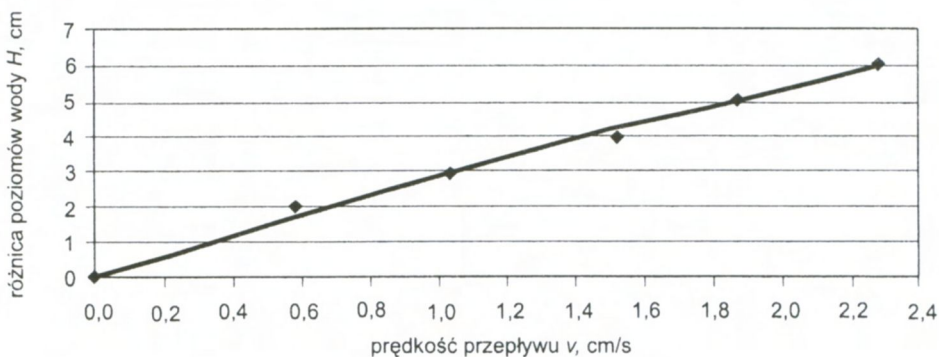
Rys. 5. Wykres poprawki temperaturowej według normy [15]
 Fig. 5. Graph of the temperature correction by [15]

3. Przykładowe wyniki badań

Niżej przedstawiono przykładowe wyniki badań właściwości filtracyjnych geosyntetyków, przeprowadzonych w laboratorium LG Zakładu Geotechniki i Fundamentowania ITB.

- Badanie wodoprzepuszczalności w kierunku prostopadłym do powierzchni – oznaczenie wskaźnika prędkości przepływu $V_{I_{H50}}$ przy różnicy poziomów $h = 50$ mm.

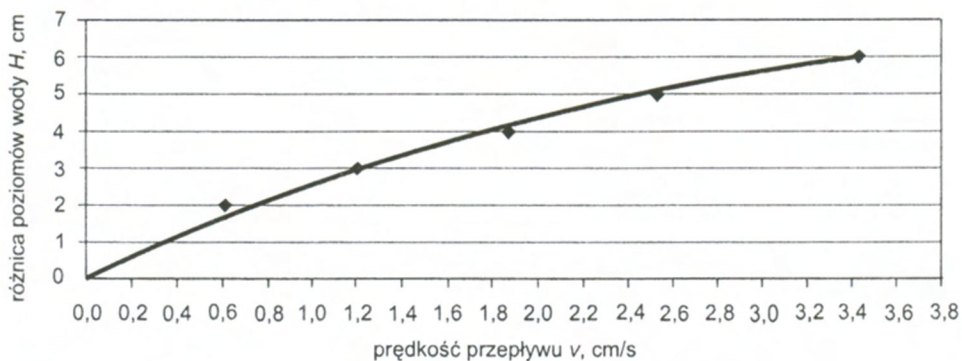
Badanie przeprowadzone na jednej warstwie tkaniny:



Rys. 6. Wykres zależności prędkości przepływu wody od różnicy poziomów
 ($V_{I_{H50}} = 1,9 \times 10^{-2}$ m/s)

Fig. 6. Diagram of dependence of water flow speed on the difference of levels
 ($V_{I_{H50}} = 1,9 \times 10^{-2}$ m/s)

Badanie przeprowadzone na dwóch warstwach tkaniny:

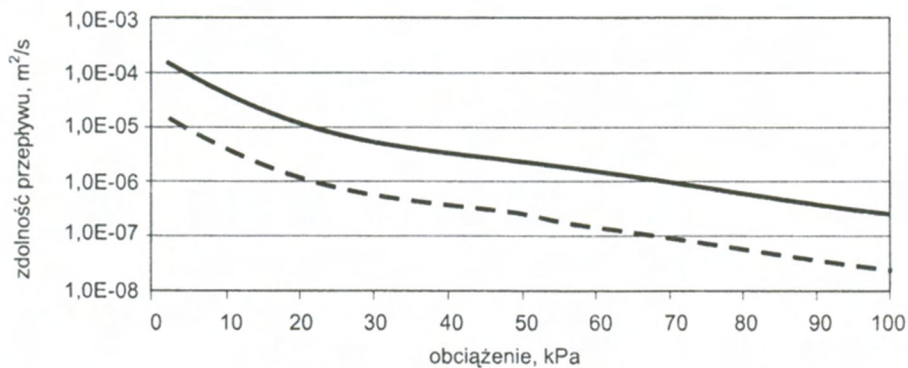


Rys. 7. Wykres zależności prędkości przepływu wody od różnicy poziomów
($V_{I_{H50}} = 2,4 \times 10^{-2}$ m/s)

Fig. 7. Diagram of dependence of water flow speed on the difference of levels
($V_{I_{H50}} = 2,4 \times 10^{-2}$ m/s)

• Badanie wodoprzepuszczalności w płaszczyźnie tkaniny – oznaczenie zdolności przepływu q_{ng} .

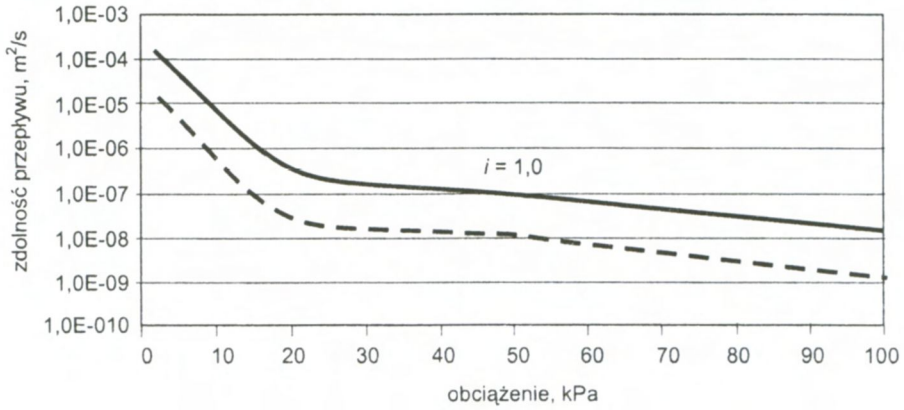
Kierunek przepływu: **w poprzek**



Rys. 8. Wykres zależności zdolności przepływu od obciążenia

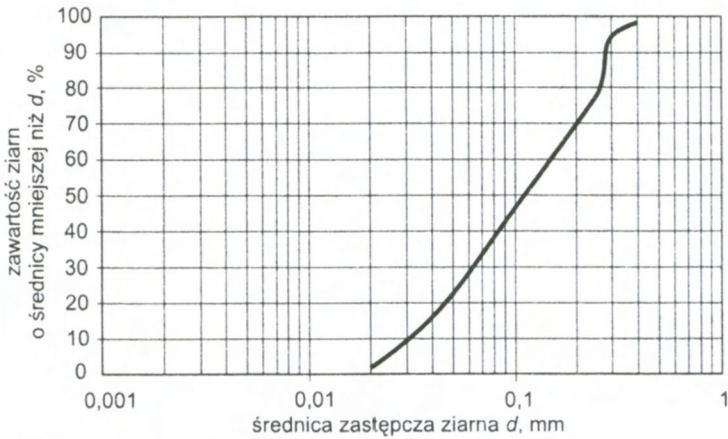
Fig. 8. Diagram of dependence of flow ability on load

Kierunek przepływu: **wzdłuż**



Rys. 9. Wykres zależności zdolności przepływu od obciążenia
Fig. 9. Diagram of dependence of flow ability on load

- Oznaczenie charakterystycznej wielkości porów O_{90} :



Rys. 10. Wykres uziarnienia przesiewu ($O_{90} = 0,28$)
Fig. 10. Diagram of granulometric curve ($O_{90} = 0,28$)

Tabela 3. Właściwości hydrauliczne badanej tkaniny
Table 3. Hydraulic properties of the geosynthetic

Lp.	Właściwości	Wynik badania
1	<p>Wodoprzepuszczalność w kierunku prostopadłym do powierzchni wyrobu; wskaźnik prędkości przepływu V_{t50}, m/s, wg normy [14] liczba warstw: – 1 warstwa – 2 warstwy</p>	<p>$1,9 \times 10^{-2}$ $2,4 \times 10^{-2}$</p>
2	<p>Wodoprzepuszczalność w płaszczyźnie wyrobu; zdolność przepływu q_{ng}, m^2/s, wg normy [15] Kierunek przepływu: • w poprzek dla $i = 0,1$ przy obciążeniu: 2 kPa 20 kPa 50 kPa 100 kPa dla $i = 1,0$ przy obciążeniu: 2 kPa 20 kPa 50 kPa 100 kPa • wzdłuż dla $i = 0,1$ przy obciążeniu: 2 kPa 20 kPa 50 kPa 100 kPa dla $i = 1,0$ przy obciążeniu: 2 kPa 20 kPa 50 kPa 100 kPa</p>	<p>badanie wykonano na 2 warstwach tkaniny</p> <p>$1,5 \times 10^{-2}$ $1,1 \times 10^{-3}$ $2,9 \times 10^{-4}$ $2,5 \times 10^{-5}$</p> <p>$1,6 \times 10^{-2}$ $1,1 \times 10^{-3}$ $2,7 \times 10^{-4}$ $2,9 \times 10^{-5}$</p> <p>$1,4 \times 10^{-2}$ $3,4 \times 10^{-5}$ $1,2 \times 10^{-5}$ $1,3 \times 10^{-6}$</p> <p>$1,7 \times 10^{-2}$ $3,9 \times 10^{-5}$ $1,0 \times 10^{-5}$ $1,5 \times 10^{-6}$</p>
3	Charakterystyczna wielkość porów, O_{90} , mm, wg PN-EN ISO 12956:2002	0,28

4. Podsumowanie

Stosowanie geosyntetyków w budownictwie jest od dawna uznanym rozwiązaniem w konstrukcjach inżynierskich. Od kilku lat również w Polsce cieszy się rosnącym zainteresowaniem. Wzrastające zapotrzebowanie zwiększa wybór produktów syntetycznych oferowanych przez producentów.

W zależności od zastosowania, główne zadanie geosyntetyku zmienia się od funkcji separacji, poprzez filtrowanie, wzmocnienie, ochronę, aż do stabilizacji. Często wymagane jest połączenie kilku funkcji. Aby do danej funkcji odpowiednio dobrać materiał, niejednokrotnie niezbędna jest znajomość parametrów hydraulicznych, dlatego ważne jest określenie charakterystycznej wielkości porów, przepuszczalności wody w kierunku prostopadłym do powierzchni wyrobu oraz przepuszczalności w płaszczyźnie wyrobu.

Przy projektowaniu nie można oczywiście zapomnieć o innych właściwościach wyrobu (fizycznych, mechanicznych). Dopiero na podstawie wszystkich cech opisujących produkt możemy być pewni, że zastosowany geosyntetyk spełni przypisane mu wymagania. Należy podkreślić, że aby prawidłowo stosować geosyntetyki, należy nie tylko wykazać się znajomością ich właściwości hydraulicznych, ale trzeba także dokonać prawidłowego doboru geosyntetyku do rodzaju gruntu, w który zostanie wbudowany.

Bibliografia

- [1] PN-EN ISO 10318:2007 Geosyntetyki. Terminy i definicje
- [2] BS 1377: Part 6: 1990 Badania konsolidacji i filtracji w komorach hydraulicznych z pomiarem ciśnienia porowego
- [3] PN-EN 13429 Geotekstyli i wyroby pokrewne. Właściwości i wymagania w odniesieniu do wyrobów stosowanych do budowy dróg i innych powierzchni obciążonych ruchem (z wyłączeniem dróg kolejowych i nawierzchni asfaltowych)
- [4] PN-EN 13250 Geotekstyli i wyroby pokrewne. Właściwości wymagane w odniesieniu do wyrobów stosowanych do budowy dróg kolejowych
- [5] PN-EN 13251 Geotekstyli i wyroby pokrewne. Właściwości wymagane w odniesieniu do wyrobów stosowanych w robotach ziemnych, fundamentowaniu i konstrukcjach oporowych
- [6] PN-EN 13252 Geotekstyli i wyroby pokrewne. Właściwości wymagane w odniesieniu do wyrobów stosowanych w systemach drenażowych
- [7] PN-EN 13253 Geotekstyli i wyroby pokrewne. Właściwości wymagane w odniesieniu do wyrobów stosowanych w zabezpieczeniach przeciwozyjnych (ochrona i umocnienia brzegów)
- [8] PN-EN 13254 Geotekstyli i wyroby pokrewne. Właściwości wymagane w odniesieniu do wyrobów stosowanych do budowy zbiorników wodnych i zapór
- [9] PN-EN 13255 Geotekstyli i wyroby pokrewne. Właściwości wymagane w odniesieniu do wyrobów stosowanych do budowy kanałów
- [10] PN-EN 13256 Geotekstyli i wyroby pokrewne. Właściwości wymagane w odniesieniu do wyrobów stosowanych do budowy tuneli i konstrukcji podziemnych
- [11] PN-EN 13257 Geotekstyli i wyroby pokrewne. Właściwości wymagane w odniesieniu do wyrobów stosowanych do budowy składowisk odpadów stałych
- [12] ZAUT-15/IV.04 Włókniny w robotach ziemnych i drogowych. Geowłókniny
- [13] PN-EN ISO 12956 Geotekstyli i wyroby pokrewne. Wyznaczanie charakterystycznej wielkości porów
- [14] PN-EN ISO 11058 Geotekstyli i wyroby pokrewne. Wyznaczanie wodoprzepuszczalności w kierunku prostopadłym do powierzchni wyrobu, bez obciążenia
- [15] PN EN ISO 12958 Geotekstyli i wyroby pokrewne. Wyznaczanie zdolności przepływu wody w płaszczyźnie wyrobu
- [16] PN-EN 13265 Geotekstyli i wyroby pokrewne. Właściwości wymagane w odniesieniu do wyrobów stosowanych do budowy zbiorników odpadów ciekłych

TEST METHODS OF GEOSYNTHETICS FILTER PROPERTIES

Summary

Reinforcement of the soil by means of geosynthetics is a common method. It is based on permeability and strength parameters given by a manufacturer. Designer makes a decision on the basis of these data, if (or) particular geosynthetics can be used and if it is successful. This paper is discussing different methods for determination of permeability parameters as well as is presenting test results conducted in the LG (Laboratory of Soils) laboratory of the Geotechnical and Fundamentation Department.

Praca wpłynęła do Redakcji 24 I 2011 r.