

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska nr 57, 2012: 159–170  
(Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. 57, 2012)  
Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences No 57, 2012: 159–170  
(Sci. Rev. Eng. Env. Sci. 57, 2012)

**Sylwia STĘPIEŃ, Monika JĘDRYSZEK, Eugeniusz KODA**

Katedra Geoinżynierii SGGW w Warszawie  
Department of Geotechnical Engineering WULS – SGGW

## **Ocena zmian przepuszczalności geowłókniny zastosowanej jako filtr w systemie ujęcia odcieków ze składowiska odpadów komunalnych**

### **Assessment of water permeability change of non-woven geotextile filter used in leachate drainage on sanitary landfill**

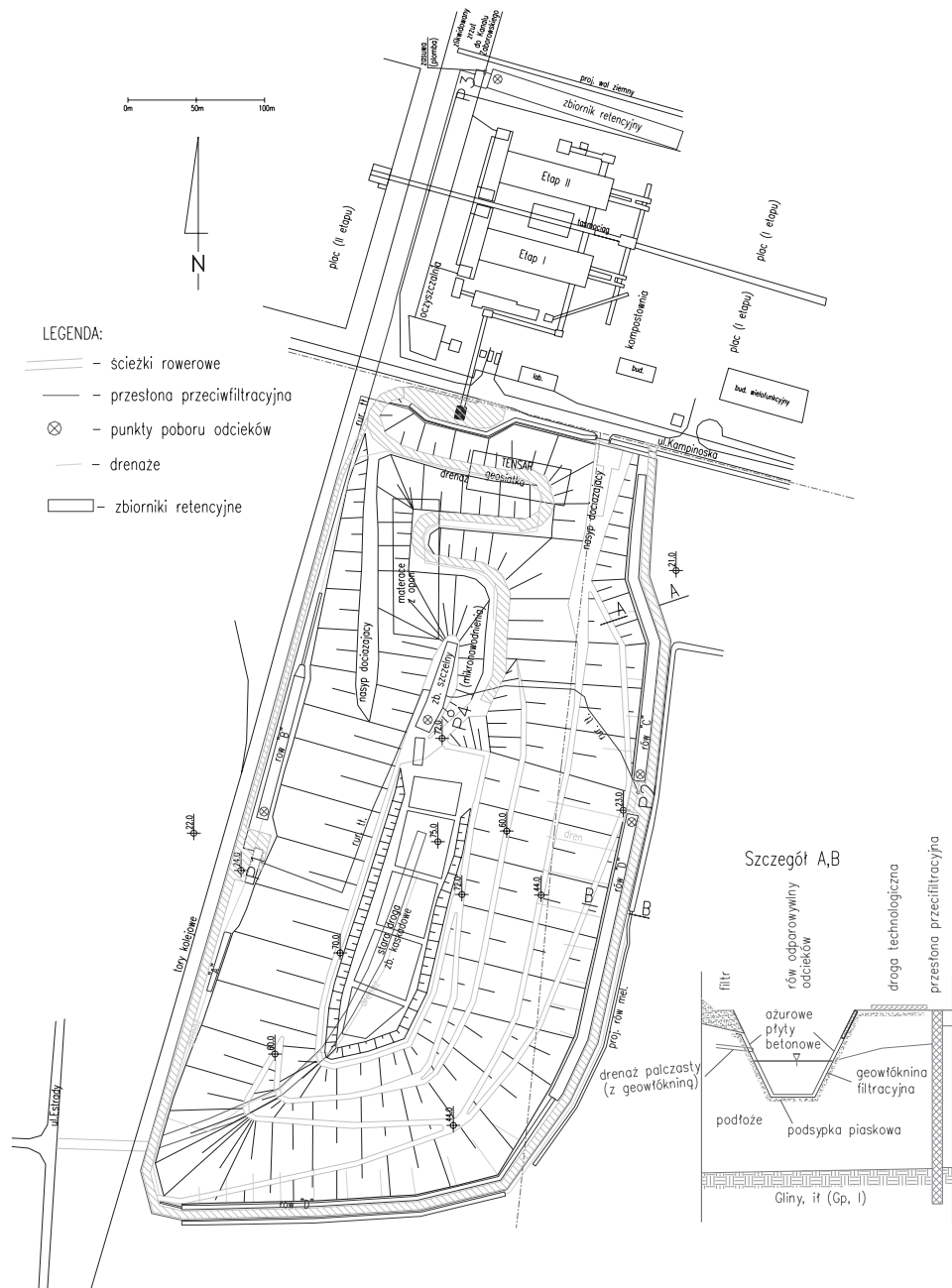
**Słowa kluczowe:** materiały filtracyjne, geowłókniny, wodoprzepuszczalność, kolmatacja  
**Key words:** filters, non-woven geotextiles, water permeability, clogging

#### **Wprowadzenie**

W ostatnim 20-leciu geowłókniny były szeroko stosowane w systemach drenażowych odcieków ze składowisk odpadów komunalnych jako filtry zmniejszające ryzyko zakolmatowania (Koerner 1999, Wesołowski i in. 2000). W czasie przepływu wody przez układ grunt – materiał geotekstylny grubsze ziarna gruntu zostają ponad otworami materiału geotekstynego, tworząc sklepienia (filtr naturalny) między filtrem syntetycznym i gruntem o strukturze nie-naruszonym. Drobniejsze cząstki gruntu, przylegające do filtra geotekstynego, w wyniku przepływu wody są wyno-

szone przez pory. Część z nich zostaje zatrzymana w porach materiału, powodując jego częściowe zakolmatowanie. Odporność geowłóknin na zamulenie decyduje o trwałości działania systemów i konstrukcji, w których zastosowano te materiały (Bolt i Sterpejkowicz-Wysocki 2006, Rowe i Yu 2010, Gardoni i in. 2010, Quaranta i Tolikonda 2011).

W artykule przedstawiono wyniki badań prędkości przepływu wody oraz współczynnika wodoprzepuszczalności geowłókniny polipropylenowej igłowanej o masie powierzchniowej  $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ , pobranej ze składowiska odpadów balastowych Radiowo po 12 latach od wbudowania, oraz tej samej geowłókniny „czystej”. Badania wodoprzepuszczalności geowłókniny przeprowadzono zgodnie z metodyką przedstawioną w normie PN-EN ISO 11058-2010 Geotekstyli i wyroby pokrewne. Wyzna-



RYSUNEK 1. Plan zagospodarowania oraz schemat systemu ochrony wód gruntowych wokół składowiska Radiowo (na podstawie Koda 2005)  
 FIGURE 1. Development plan and scheme of groundwater protection system around Radiowo landfill (to Koda 2005)

czanie charakterystyk wodoprzepuszczalności w kierunku prostopadłym do powierzchni wyrobu, bez obciążenia. Geowłóknina posiadała aprobatę techniczną wydaną przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów w Warszawie. Materiał został pobrany z dwóch rowów drenażowo-retencyjnych C i D (rys. 1) długości około 200 m każdy. Rowy o spadku podłużnym 0,5‰ zlokalizowane były wzdłuż wschodniej skarpy składowiska Radiowo i kierowały odcieki do pompowni położonej w środkowej części skarpy składowiska.

Rowy miały za zadanie zbierać odcieki ze składowiska oraz wody opadowe spływające ze skarp, działały również jako zbiorniki retencyjne magazynujące sezonowe nadmiary wód odciekowych z okresu jesienno-zimowego. Wody odciekowe były zagospodarowane na składowisku w ramach systemu recykulacji. Schemat systemu ochrony wód gruntowych, składający się z przesłony przeciwfiltracyjnej i rowu, pokazano na rysunku 1. Rowy o szerokości dna 2,0 m i nachyleniu skarp 1 : 1,5 były umocnione na całym obwodzie do rzędnej 23 m betonowymi płytami ażurowymi typu EKO, ułożonymi na omawianej geowłókninie i podsypce z pospółki grubości 10 cm (rys. 2). Rowy drenażowo-retencyjne zostały wykonane w 2000 roku i przez ponad 12 lat były eksploatowane bez istotnych zakłóceń (rys. 3). W 2011 roku opracowano projekt zastąpienia rowów retencyjnych drenażem rurowym i odprowadzenia odcieków do kanalizacji miejskiej.

Zabudowa rowów pozwoliła na powiększenie miejsca do składowania odpadów i opracowanie nowego kształto-



RYSUNEK 2. Umacnianie skarp rowu płytami EKO na geowłókninie i podsypce, 2000 rok  
FIGURE 2. Ditch's slope reinforcement with concrete slabs on geotextile and mineral sand, 2000



RYSUNEK 3. Rów retencyjny w trakcie eksploatacji, 2008 rok  
FIGURE 3. Ditch during exploitation, 2008

wania bryły składowiska w celu wydłużenia jego eksploatacji. Zabudowa rowu retencyjnego wymagała usunięcia istniejących umocnień na jego skarpach, co pozwoliło na pozyskanie materiału (geowłókniny) do badań przedstawionych w niniejszej pracy. W trakcie prac modernizacyjnych pobrano próbki geowłókniny „eksploatowanej” z rowów C i D (rys. 4) i przetransportowano szczelnie zamknięte w plastikowym worku do komory stałej wilgotności w Centrum Wodnym w SGGW.



RYSUNEK 4. Budowa drenażu opaskowego odcieków w miejscu rowu, 2012 rok  
 FIGURE 4. Construction of leachate drainage Instead of leachate ditch, 2012

### Cel i metodyka badań

Celem badań było określenie wpływu zakolmatowania geowłókniny na jej przepuszczalność. Badania zostały przeprowadzone w aparacie do wyznaczania wodoprzepuszczalności w kierunku prostopadłym do powierzchni wyrobu, na próbkach geowłókniny „czystej” i próbkach geowłókniny „eksploatowanej” pobranych z rowów retencyjnych C i D. Doświadczenie zostało przeprowadzone w warunkach bez obciążenia metodą stałej wysokości naporu hydraulicznego według normy PN-EN ISO 11058:2010. Pomiar wodoprzepuszczalności geowłókniny został wykonany z wykorzystaniem aparatury będącej na wyposażeniu Centrum Wodnego SGGW (rys. 5).

Elementy stanowiska badawczego (rys. 6) obejmują:

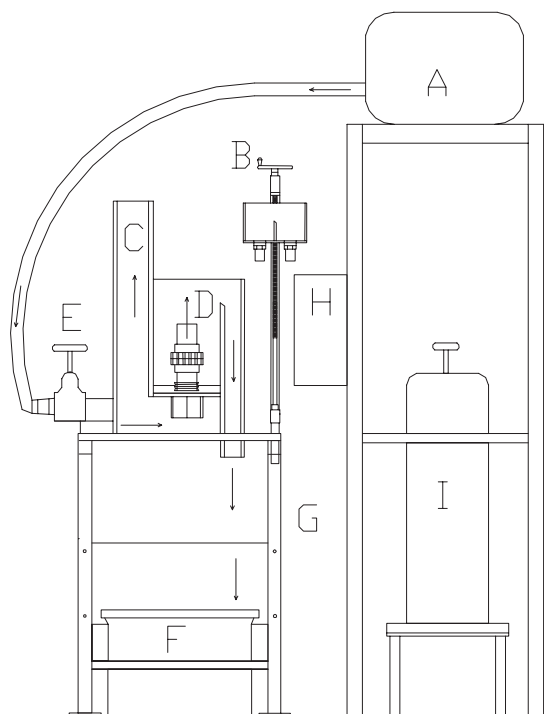
- A – zbiornik z wodą zasilającą, odpowietrzoną,
- B – pokrętko do regulacji różnicy naporu hydraulicznego,
- C – obudowę przyrządu do pomiaru wodoprzepuszczalności,
- D – uchwyt do mocowania próbki,



RYSUNEK 5. Widok stanowiska do wyznaczania charakterystyk wodoprzepuszczalności w kierunku prostopadłym do powierzchni wyrobu  
 FIGURE 5. Laboratory equipment for determination of water permeability characteristics in normal direction to the plane

- E – zawór dławiący wlot wody,
- F – pojemnik do zbierania wody,
- G – ramy mocujące i prowadnice,
- H – urządzenie rejestrujące,
- I – zbiornik do odpowietrzania wody.

Badanie współczynnika wodoprzepuszczalności poprzecznej polegało na pomiarze przepływu wody prostopadle do płaszczyzny próbki geowłókniny w określonym czasie oraz przy odpowiednio zadanym gradiencie hydraulicznym. Do badania wykorzystano pojedynczą warstwę geowłókniny „czystej” oraz „eksploatowanej” pobranej z rowów C i D, z której wycięto 5 pró-



RYSUNEK 6. Schemat stanowiska do wyznaczania charakterystyk wodoprzepuszczalności w kierunku prostopadłym do powierzchni wyrobu  
 FIGURE 6. Scheme of laboratory equipment for determination of water permeability characteristics in normal direction to the plane

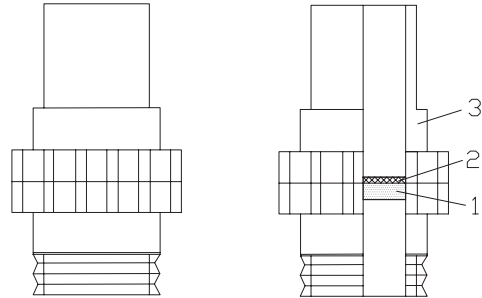
bek o powierzchni  $0,001963 \text{ m}^2$  każda. W celu nasycenia przygotowanych próbek geowłókniny wodą przed badaniem zostały one umieszczone w wodzie destylowanej na 12 godzin. W cylindrze zastosowano siatkę podtrzymującą w celu uniknięcia odkształcenia materiału pod wpływem naporu wody przepływającej przez uchwyt zamontowany w urządzeniu do badania wodoprzepuszczalności (rys. 7). Następnie urządzenie zostało wypełnione wodą do momentu, gdy różnica poziomów wody wyniosła 50 mm, w celu wyparcia z geowłókniny pęcherzyków powietrza. Kolejną czynnością było wyregulowanie przepływu tak, aby spadek wysokości naporu hydraulicznej

go wyniósł 70 mm (PN-EN ISO 11058: 2010).

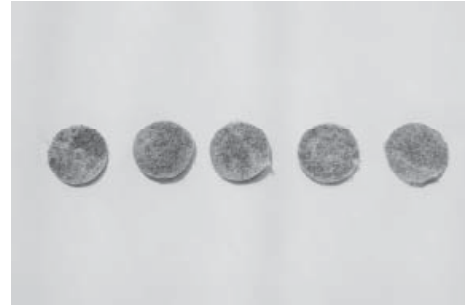
Pomierzono objętość wody przepływającej przez próbkę w ustalonym czasie. Rzeczywista objętość wody została ustalona na podstawie średniej z trzech odczytów. Powyższe czynności zostały powtórzone dla czterech mniejszych wartości naporu hydraulicznego, kolejno dla: 56, 42, 28 i 14 mm dla 5 próbek materiału „czystego” (rys. 8). W celach porównawczych taką samą procedurę zastosowano dla próbek geowłókniny „eksploatowanej” (przez 12 lat), pobranych z rowów C i D (rys. 9), z tą różnicą, że gradient hydrauliczny zadawano w odwrotnej kolejności, zaczynając od



RYSUNEK 7. Cylinder z próbką: 1 – geowłóknina, 2 – siatka podtrzymująca, 3 – cylinder  
 FIGURE 7. Cylinder with sample: 1 – non-woven geotextile, 2 – supporting mesh, 3 – cylinder



RYSUNEK 8. Próbkki geowłókniny „czystej” po badaniu  
 FIGURE 8. „Pure” geotextile samples after test



RYSUNEK 9. Próbkki geowłókniny „eksploatowanej” po badaniu  
 FIGURE 9. „Exploited” geotextile samples after test

## Wyniki badań

wielkości najmniejszych, tak aby nie zostały zbyt szybko wypłukane cząstki gruntu, które znajdowały się w geowłókninie. Zaczynając od wysokich gradientów, pomiar mógł być mniej wiarygodny, szczególnie w końcowej fazie badania. Na rysunku 9, przedstawiającym próbki eksploatowane po zakończonym badaniu, można zauważyć, że zanieczyszczenia i cząstki, które zalegały na próbce, zostały częściowo wypłukane w trakcie badania.

Dla każdej próbki i przy każdym naporze hydraulicznym została obliczona prędkość przepływu wody według następujących wzorów (PN-EN ISO 11058: 2010):

$$v_{20} = \frac{V \cdot R}{A \cdot t} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

gdzie:

$$R_t = \frac{\eta_T}{\eta_{20}} = \frac{1,762}{1 + 0,0337 \cdot T + 0,00022 \cdot T^2} \quad [-],$$

$$\eta_T = \frac{1,78}{1 + 0,0337 \cdot T + 0,00022 \cdot T^2} \text{ [mPa} \cdot \text{s]},$$

$V$  – zmierzona objętość wody [ $\text{m}^3$ ],

$R_t$  – współczynnik korekcyjny w odniesieniu do wody o temperaturze  $20^\circ\text{C}$  [-],

$T$  – temperatura wody [ $^\circ\text{C}$ ],

$A$  – czynna powierzchnia próbki [ $\text{m}^2$ ],

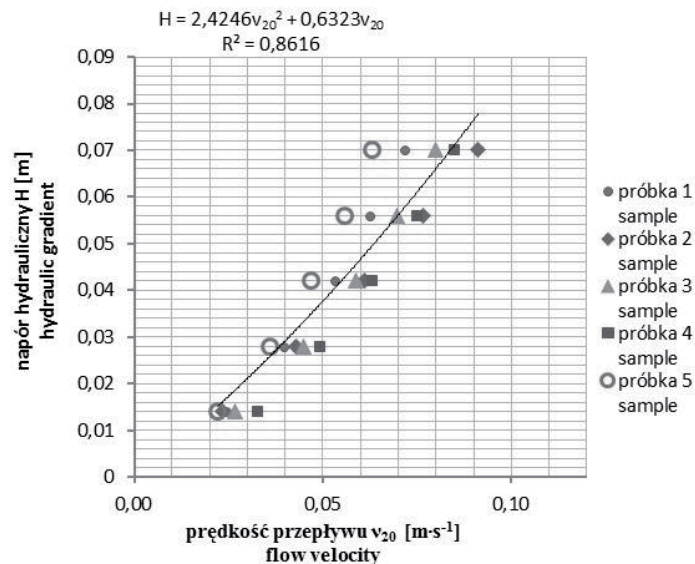
$t$  – czas zmierzony do momentu osiągnięcia objętości wody  $V$  [s],

$\eta_T$  – lepkość dynamiczna w temperaturze badania  $T^\circ\text{C}$  [ $\text{MPa} \cdot \text{s}$ ],

$\eta_{20}$  – lepkość dynamiczna w  $20^\circ\text{C}$  [ $\text{mPa} \cdot \text{s}$ ].

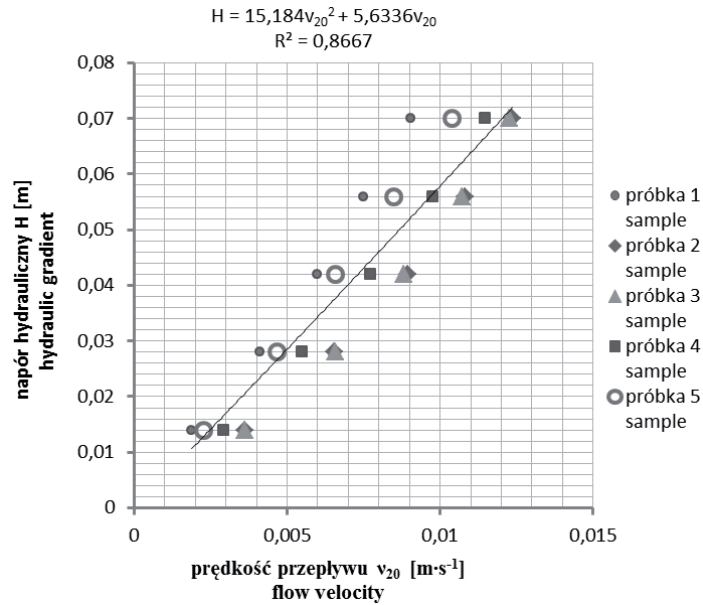
Objętość wody pomierzona dla próbek geowłókniny „czystej” przy zadanych gradientach miała większe rozbieżności niż objętość wody dla próbek geowłókniny „eksploatowanej”. Znaczące różnice prędkości i objętości przepływu odnotowano przy największym zadany

nym gradencie hydraulicznym. Na podstawie analizy statystycznej na rysunku 10, wykorzystując program Microsoft Excel, przedstawiono w formie graficznej zależność prędkości przepływu wody od wysokości naporu hydraulicznego dla próbek geowłókniny „czystej”, natomiast na rysunkach 11 i 12 – zależności prędkości przepływu wody od wysokości naporu hydraulicznego dla próbek geowłókniny „eksploatowanej”, pobranych z rowów retencyjnych C i D. Przedstawione linie trendu oraz współczynniki korelacji liniowej ( $R^2$ ), wskazują na wysoką dodatnią korelację między analizowanymi cechami (analizowane dane są spójne) oraz dobrą jakość przewidywania. Zróżnicowanie charakterystyk przepływu wody dla geowłókniny „czystej” wynika prawdopodobnie z niejednorodności strukturalnej tego produktu. Zmniejszenie przepuszczalności

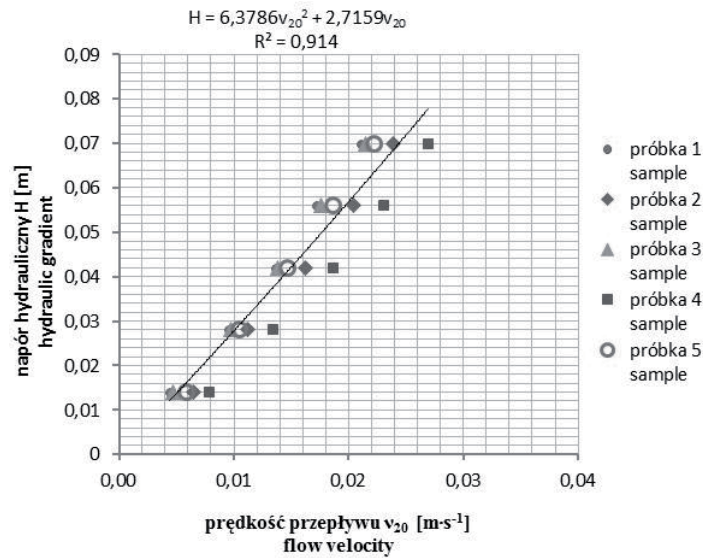


RYSUNEK 10. Zależność prędkości przepływu wody od wysokości naporu hydraulicznego dla próbek geowłókniny „czystej”

FIGURE 10. Relationship between water flow velocity and hydraulic gradient for „pure” geotextile samples



RYSUNEK 11. Zależność prędkości przepływu wody od wysokości naporu hydraulicznego dla próbek geowłókniny „eksploatowanej” pobranych z rowu C  
 FIGURE 11. Relationship between water flow velocity and hydraulic gradient for „exploited” geotextile samples taken from ditch C



RYSUNEK 12. Zależność prędkości przepływu wody od wysokości naporu hydraulicznego dla próbek geowłókniny „eksploatowanej” pobranych z rowu D  
 FIGURE 12. Relationship between water flow velocity and hydraulic gradient for „exploited” geotextile samples collected from ditch D



„eksploatowanej” geowłókniny może natomiast wynikać zarówno z kolmatacji mechanicznej, jak i biologicznej, obserwowanej w systemach drenażowych na terenie składowisk odpadów (Brachman i in. 2000, Rowe i Yu 2010, Gardoni i in. 2010).

Po opracowaniu wyników badań na podstawie otrzymanego równania krzywej obliczono wskaźnik prędkości przepływu ( $V_{H50}$ ) dla wysokości naporu hydraulicznego 50 mm. Dodatkowo został obliczony współczynnik wodoprzepuszczalności ( $k_n$ ) dla tej samej wysokości naporu hydraulicznego, według wzoru (Koda i Krzywosz 1995):

$$k_n = \frac{V \cdot g}{A \cdot t \cdot \Delta h} \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

gdzie:

$g$  – grubość badanego materiału przy zadanym obciążeniu [m],

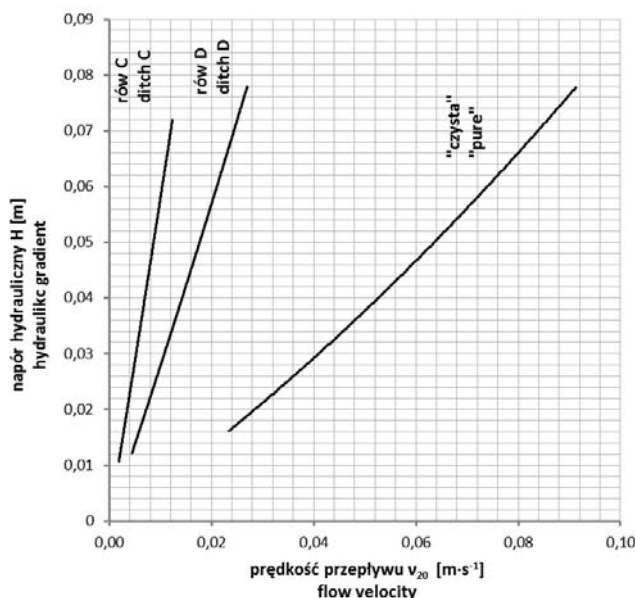
$\Delta h$  – różnica ciśnień nad i pod badanym materiałem wyrażona wysokością słupa wody [m].

W tabeli 1 zestawiono oznaczone wielkości wskaźników prędkości i współczynników wodoprzepuszczalności próbek geowłóknin, natomiast na rysunku 13 przedstawiono charakterystyki prędkości przepływu wody dla badanych próbek geowłókniny. Wskaźnik prędkości przepływu wody przy gradiencie 50 mm dla próbek geowłókniny „eksploatowanej” pobranych z rowu C jest 7-krotnie mniejszy, z kolei dla próbek geowłókniny z rowu D jest tylko 3-krotnie mniejszy niż dla próbek geowłókniny „czystej” (rys. 13). Natomiast współczynnik wodoprzepuszczalności poprzecznej ( $k_n$ ) zmniejszył się średnio o 85% dla geowłókniny pobranej z rowu C i o 70% dla geowłókniny z rowu D. Większe zakolmatowanie geowłókniny pobranej z rowu C wynikało z większych wielkości zawiesiny ogólnej zawartej w odciekach ze składowiska spływających do tego rowu ( $4200 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  w rowie C wobec  $2380 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  w rowie D) oraz innych wskaźników zanieczyszczenia badanych w ramach monitoringu składowiska (Golimowski i Koda 2005).

TABELA 1. Wielkości wskaźników prędkości przepływu oraz współczynników wodoprzepuszczalności poprzecznej dla badanych próbek geowłókniny

TABLE 1. The values of velocity index and transversal water permeability coefficient for tested geotextile samples

| Gewłóknina<br>Geotextile                                | Grubość<br>$g$ [mm]<br>Thickness | Wskaźnik prędkości<br>przepływu<br>$V_{H50}$ [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]<br>Velocity index | Współczynnik wodoprzepuszczalności<br>poprzecznej<br>$k_n$ [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]<br>Transversal permeability coefficient |
|---|----------------------------------|---|---|
| „Czysta”<br>“Pure”                                      | 6,12                             | 0,0640  | $7,89 \cdot 10^{-3}$  |
| „Eksploatowana”<br>z rowu C<br>“Exploited” from ditch C | 6,93                             | 0,0087  | $1,33 \cdot 10^{-3}$  |
| „Eksploatowana”<br>z rowu D<br>“Exploited” from ditch D | 7,93                             | 0,0180  | $2,87 \cdot 10^{-3}$  |



RYSUNEK 13. Porównanie charakterystyk prędkości przepływu wody dla badanych próbek geowłókniny „eksploatowanej” (z rowów C i D) i „czystej”  
 FIGURE 13. Comparison of water flow velocity characteristics for tested “exploited” geotextile samples (from ditches C and D) and “pure” geotextile samples”

## Podsumowanie i wnioski

Odpowiedni dobór materiałów geosyntetycznych na warstwy filtracyjne ma podstawowe znaczenie dla zapewnienia efektywnej pracy i trwałości systemów drenażowych. Podstawowe znaczenie ma tu znajomość cech fizycznych i hydraulicznych oraz niezmienności w czasie pracy. Istotna jest także świadomość zagrożeń wynikających ze składu cieczy (odcieków) filtrującej przez materiał oraz sufozyjność chronionego gruntu. Badania wodoprzepuszczalności poprzecznej geowłókniny polipropylenowej przeprowadzono dla próbek „czystych” i próbek geowłókniny „eksploatowanej”, pobranych ze skarp rowów retencyjnych na składowisku Radiowo. Duży wpływ na różny stopień kolma-

tacji badanej geowłókniny miały zróżnicowane wielkości zawiesiny ogólnej zawartej w odciekach przepływających przez ten materiał. Przeprowadzone badania wykazały, że spadek współczynnika wodoprzepuszczalności geowłókniny po 12 latach eksploatacji wynosił około 85%, jednakże nie ograniczyło to działania układu filtracyjnego, a współczynnik przepuszczalności geowłókniny (częściowo zakolmatowanej) zapewniał wystarczający dopływ odcieków do rowów retencyjnych.

## Literatura

- BOLT A., STERPEJKOWICZ-WERSOCKI W. 2006: Trwałość geosyntetyków z uwzględnieniem zagadnień filtracji. Konferencja Na-

- ukowo-Techniczna „Geosyntetyki i tworzywa sztuczne w geotechnice i budownictwie inżynierskim”, Częstochowa: 35–42.
- BRACHMAN R.W.I., ROWE R.K., MOORE I.D. 2000: Drainage pipes for landfill leachate collection systems. 6<sup>th</sup> Environmental Engineering Specialty Conference of the CSCE & 2<sup>nd</sup> Spring Conference of the Geoenvironmental Division of the Canadian Geotechnical Society, London-Ontario.
- GARDONI M.G.A., SENRA PRADO T., CYRINO NETO D. 2010: Evaluation of the Biological Clogging on the Geotextile Drainage Systems of Landfills. Proc. of the 6<sup>th</sup> International Congress on Environmental Geotechnics, New Delhi 2: 919–922.
- GOLIMOWSKI J., KODA E. 2005: Monitoring wód podziemnych i powierzchniowych w rejonie składowiska i kompostowni Radiowo. Raport roczny 2004. Katedra Geoinżynierii SGGW, Warszawa.
- KODA E. 2005: Rekultywacja składowisk. XV Międzynarodowa Konferencja Szkoleniowa „Budowa i eksploatacja bezpiecznych składowisk odpadów”, Słubice – Poznań: 63–82.
- KODA E., KRZYWOSZ Z. 1995: Projektowanie układów filtracyjnych i drenażowych z zastosowaniem geotekstyliów. Konferencja Naukowo-Techniczna „Szkola metod projektowania obiektów inżynierskich z użyciem geotekstyliów”, Ustroń: 91–106.
- KOERNER R.M. 1999: Designing with Geosynthetics. Upper Saddle River, Prentice Hall.
- PN-EN ISO 11058:2010 Geotekstyli i wyroby pokrewne. Wyznaczanie charakterystyk wodoprzepuszczalności w kierunku prostopadłym do powierzchni wyrobu, bez obciążenia.
- QUARANTA J.D., TOLIKONDA R. 2001: Design of non-woven geotextiles for coal refuse filtration. *Geotextiles and Geomembranes* 29: 557–566.
- ROWE R.K., YU Y. 2010: Factors Affecting the Clogging of Leachate Collection Systems in MSW Landfills. Proc. of the 6<sup>th</sup> International Congress on Environmental Geotechnics, New Delhi 1: 3–23.
- WESOŁOWSKI A., KRZYWOSZ Z., BRANDYK T. 2000: Geosyntetyki w konstrukcjach inżynierskich. Wydawnictwo SGGW, Warszawa

## Streszczenie

**Ocena zmian przepuszczalności geowłókniny zastosowanej jako filtr w systemie ujęcia odcieków ze składowiska odpadów komunalnych.** Zagadnienia filtracji oraz problem kolmatacji geosyntetyków są niezwykle ważne przy projektowaniu systemów drenażowych wód czystych, a szczególnie odcieków ze składowisk odpadów. W artykule przedstawiono wyniki badań wodoprzepuszczalności geowłókniny w kierunku prostopadłym do powierzchni wyrobu metodą stałej wysokości naporu hydraulicznego przeprowadzone zgodnie z metodyką podaną w normie PN ISO 11058:2010. Badania przeprowadzono dla próbek geowłókniny „eksploatowanej” pobranych ze składowiska odpadów Radiowo po 12 latach od wbudowania oraz dla próbek tej samej geowłókniny „czystej”. Opisano metodykę badań i przeanalizowano wpływ zakolmatowania geowłókniny na charakterystyki wodoprzepuszczalności i wielkości współczynników przepuszczalności poprzecznej przy spadku wysokości naporu hydraulicznego, wynoszącym 50 mm.

## Summary

**Assessment of water permeability change of non-woven geotextile filter used in leachate drainage on sanitary landfill.** The filtration and clogging problems are very important in clear water and especially leachate drainage systems. The paper presents the laboratory results of water permeability in the normal direction to the plane, of exploited and unexploited non-woven geotextile samples collected from the Radiowo sanitary landfill. The studies design and analysis described, have determined the velocity index and permeability coefficient at a head loss of 50 mm for the tested non-woven geotextile. Moreover, within the paper the influence of non-woven geotextile clogging on the water permeability was assessed.

**Author's address:**

Eugeniusz Koda  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego  
Katedra Geoinżynierii  
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa  
Poland  
e-mail: eugeniusz\_koda@sggw.pl