

## ZMIANY WŁAŚCIWOŚCI FILTRACYJNYCH GEOWŁÓKNINY PO 22 LATACH EKSPLOATACJI W DRENAŻU ZAPORY ZIEMNEJ

Anna Miskowska, Eugeniusz Koda, Zygmunt Krzywosz,  
Piotr Król, Natalia Boruc

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

**Streszczenie.** Zapora ziemna w Białobrzegach jest jedną z ośmiu zapór bocznych Zalewu Zegrzyńskiego. Początkowo była ona odwadniana drenażem rurowym ze studzienkami kontrolnymi i odprowadzeniami do rowu przyzaporowego. Trudne warunki hydrogeologiczne posadowienia budowli (pod warstwą piasków drobnych z domieszką gruntów organicznych występują żwiry) spowodowały jednak rozwinięcie procesu sufozji i przebić hydraulicznych w warstwie piasków. Po remoncie zapory, wykonanym w połowie lat 90. XX wieku, zabezpieczenie dna rowu połączono z drenażem kamiennym wykonanym w otulinie igłowanej geowłókniny z włókien polipropylenowych (PP) i poliestrowych (PET), zlokalizowanym w podstawie skarpy odpowietrznej. Geowłóknina zastosowana jako filtr ochraniający drenaż jest szczególnie narażona na zjawisko kolmatacji mechanicznej oraz chemicznej. Proces kolmatacji, zmniejszając wodoprzepuszczalność materiałów, znacznie ogranicza skuteczność działania filtrów syntetycznych i w konsekwencji również drenażu. W artykule przedstawiono wyniki badań wodoprzepuszczalności geowłókniny wbudowanej w drenaż zapory ziemnej Białobrzegi po 22 latach eksploatacji. W celu określenia zmian właściwości filtracyjnych badanych materiałów otrzymane wyniki porównano z uzyskanymi wcześniej parametrami geowłókniny czystej (fabrycznie nowej) oraz dla próbek po okresie siedmioletniej eksploatacji.

**Słowa kluczowe:** geowłóknina, wodoprzepuszczalność poprzeczna, kolmatacja, zapora ziemna

### WSTĘP

Geowłókniny to produkty tekstylne wytwarzane metodą klejenia (chemicznie lub termicznie) albo mechanicznego łączenia (igłowania lub przesywania) luźnego ukła-

---

Adres do korespondencji – Corresponding author: Anna Miskowska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Katedra Geoinżynierii, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, e-mail: [anna\\_miskowska@sggw.pl](mailto:anna_miskowska@sggw.pl)

© Copyright by Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2016

du włókien polimerycznych [PN-EN ISO 10318-1:2015-12]. Stosowane od wielu lat w budownictwie jako warstwy filtracyjne [Palmeira i Gardoni 2000, Palmeira i in. 2008, Veylon i in. 2016] zapobiegają mieszanii się materiałów o różnym uziarnieniu, umożliwiając jednocześnie swobodny przepływ wody w kierunku prostopadłym do powierzchni wyrobu [Alenowicz 2009]. Filtry ochraniające drenaże, między innymi w zaporach ziemnych, są jednak najbardziej narażone na procesy kolmatacji mechanicznej i chemicznej [Król i Krzywosz 2001, Faure i in. 2006].

Proces kolmatacji mechanicznej polega na odkładaniu się stałych cząstek gruntu chronionego wewnątrz geowłókniny i na jego powierzchni. Proces ten przebiega w dwóch etapach. W pierwszym etapie dochodzi do wypełnienia przestrzeni porowej geosyntetyku cząstkami o zbliżonych do średnicy porów geowłókniny wymiarach, w drugim zaś do klinowania się cząstek drobniejszych. Kolmatacja chemiczna natomiast polega na wytrącaniu się głównie tlenków żelaza i manganu w wyniku zachodzących reakcji utleniania i redukcji w roztworach wodnych [Fleming i Rowe 2004, Burszta-Adamczyk 2007]. Kolmatacja zmniejsza wodoprzepuszczalność geowłóknin, przez co ogranicza okres niezawodnej pracy systemów filtracyjnych [Król i Krzywosz 2001, Wojtasik i in. 2005, Bolt i Sterpejkowicz-Wersocki 2006, Stępień i in. 2012], co zostało przeanalizowane w niniejszym artykule.

Celem badań było określenie wpływu procesu kolmatacji (głównie mechanicznej i chemicznej) na wodoprzepuszczalność poprzeczną geowłókniny pobranej po 22 latach jej eksploatacji w drenażu zapory ziemnej Białobrzegi (rys. 1).



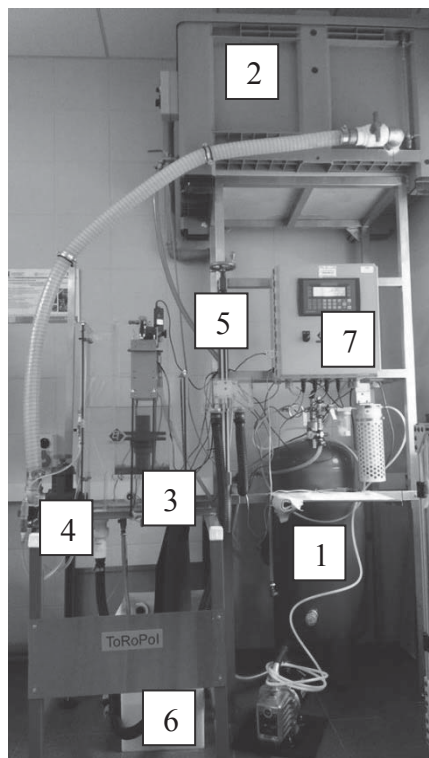
Rys. 1. Geowłóknina po 22 latach eksploatacji

Fig. 1. Nonwoven geotextile after 22 years of exploitation

## METODYKA BADAŃ

Badanie wodoprzepuszczalności w kierunku prostopadłym do powierzchni wyrobu bez obciążenia przeprowadzono, zgodnie z normą PN-EN ISO 11058:2011, metodą sta-

łej wysokości naporu hydraulicznego w Pracowni Badań Geosyntetyków Laboratorium Centrum Wodnego SGGW (rys. 2). Stanowisko badawcze obejmuje: 1 – zbiornik do odpowietrzania wody, 2 – zbiornik z odpowietrzoną wodą zasilającą, 3 – uchwyt do mocowania próbki, 4 – zawór dławiący wlot wody, 5 – pokrętko do regulacji wysokości naporu hydraulicznego, 6 – pojemnik do zbierania wody, 7 – urządzenie rejestrujące.



Rys. 2. Stanowisko do wyznaczenia wodoprzepuszczalności w kierunku prostopadłym do powierzchni wyrobu

Fig. 2. Laboratory equipment for determination of water permeability characteristics normal to the plane

W celu wyznaczenia współczynnika wodoprzepuszczalności poprzecznej geowłókniny mierzono objętość wody przepływającej w kierunku prostopadłym przez próbkę w określonym czasie i przy określonej wysokości naporu hydraulicznego, tj. 3 i 5 mm. Zastosowanie małych wysokości naporu hydraulicznego wynikało z obawy przed zbyt szybkim wypłukaniem cząstek zakolmatowanych wewnątrz materiału, co mogłoby wpłynąć na uzyskanie błędnego wyniku tego współczynnika.

Współczynnik wodoprzepuszczalności w kierunku prostopadłym do płaszczyzny wyrobu ( $k_n$ ) określono według następującego wzoru [Koda i Krzywosz 1995]:

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

gdzie:  $V$  – zmierzona objętość wody [ $\text{m}^3$ ],  
 $g$  – grubość geowłókniny [ $\text{m}$ ],  
 $A$  – powierzchnia czynna próbki [ $\text{m}^2$ ],  
 $h$  – wysokość naporu hydraulicznego [ $\text{m}$ ],  
 $t$  – czas zmierzony do momentu osiągnięcia określonej objętości wody ( $V$ ) [s].

Natomiast, aby określić prędkość przepływu wody i wskaźnik prędkości przepływu, pomiary prowadzono przy wysokości naporu hydraulicznego równego: 14, 28, 42, 56 i 70 mm, zgodnie z PN-EN ISO 11058:2011. Kolejność zadawania wysokości naporu hydraulicznego od najmniejszego do największego była również uzasadniona możliwością niepożądanego „oczyszczenia” (przepłukiwania) próbek. Objętość wody ustalano na podstawie średniej z trzech odczytów. Badania przeprowadzono dla pięciu próbek geowłókniny o powierzchni  $0,001963 \text{ m}^2$  każda.

Prędkość przepływu wody ( $v_{20}$ ) obliczono z następującego wzoru empirycznego [PN-EN ISO 11058:2011]:

$$v_{20} = \frac{V \cdot R_t}{A \cdot t} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2)$$

gdzie:

$$R_t = \frac{1,762}{1 + 0,0337 \cdot T + 0,00022 \cdot T^2} \quad [-] \quad (3)$$

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

## WYNIKI BADAŃ

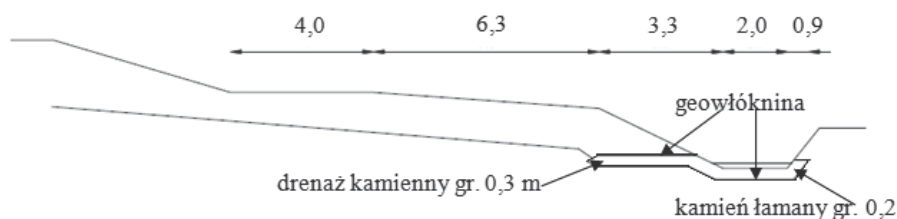
Materiał badawczy pobrano z drenażu zapory ziemnej Białobrzegi po 22 latach eksploatacji. Zapora ziemna Białobrzegi długości 1,57 km została zbudowana w latach 1959–1962 jako jedna z ośmiu zapór bocznych Zalewu Zegrzyńskiego. Początkowo zapora była odwadniana drenażem rurowym o średnicy 200 mm ze studzienkami kontrolnymi co 50 m i odprowadzeniami do rowu przyzaporowego co 100 m, jednak z powodu powstania przebieg hydraulicznych i sufozji w występującej w podłożu warstwie piasków konieczny był remont zapory. W połowie lat 90. XX wieku zabezpieczenie dna rowu połączono z dywanowym drenażem kamiennym szerokości 3 m i grubości warstwy 20 cm w otulinie geowłókniny filtracyjnej (tab. 1), zlokalizowanym (rys. 3) w podstawie skarpy odpowietrznej [Król i Krzywosz 2001].

Tabela 2 przedstawia obliczone wartości średnie współczynnika wodoprzepuszczalności w kierunku prostopadłym do płaszczyzny wyrobu (współczynnik wodoprzepuszczalności poprzecznej –  $k_n$ ) próbek czystych, po 7 latach eksploatacji [Król i Krzywosz 2001] oraz po 22 latach eksploatacji (dla tej samej geowłókniny i tego samego obiektu).

Tabela 1. Parametry geowłókniny zastosowanej w drenażu zapory ziemnej Białobrzegi [Król i Krzywosz 2001]

Table 1. The properties of nonwoven geotextile used in Białobrzegi earthfill dam

Parametr Parameter	Jednostka Unit	Materiał – Material	
		Geowłóknina – Nonwoven geotextile	
Skład surowcowy Polymers	–	PP, PET	
Masa powierzchniowa Mass per unit area	$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$	460	
Grubość Thickness	mm	4,58	
Podłużna siła zrywająca Tensile force in the Machine Direction (MD)	N	500	
Poprzeczna siła zrywająca Tensile force in the Cross Direction (CD)r	N	650	
Współczynnik wodoprzepuszczalności, $k_n$ Permeability coefficient	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	0,00202	



Rys. 3. Konstrukcja drenażu zapory ziemnej Białobrzegi

Fig. 3. Białobrzegi earthfill dam, construction of drainage system

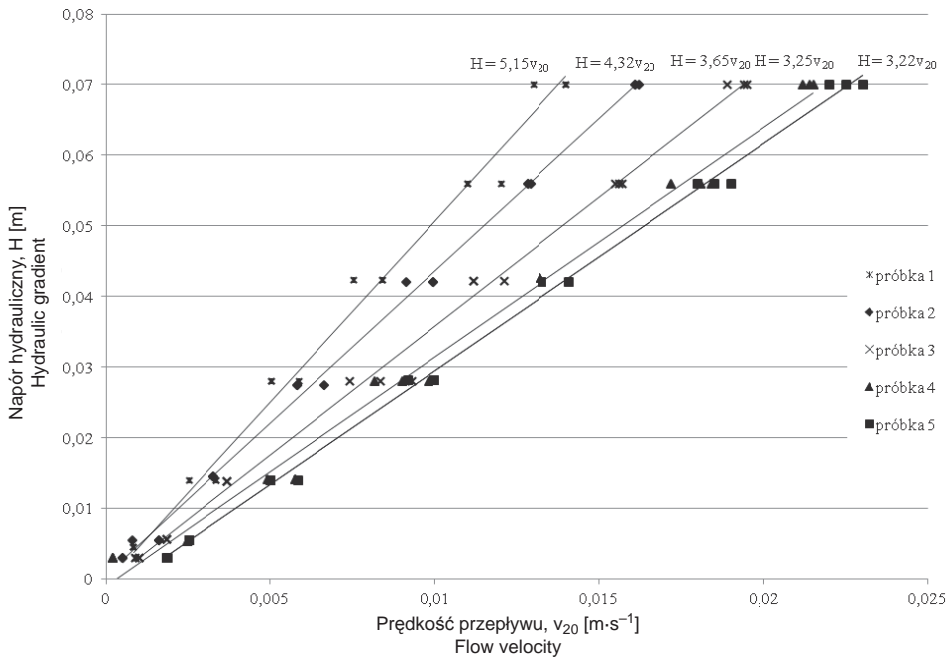
Tabela 2. Wartości współczynnika wodoprzepuszczalności poprzecznej geowłókniny czystej oraz po 7 i 22 latach eksploatacji

Table 2. Values of permeability coefficient of normal direction to the plane of unworn nonwoven geotextile and after 7 and 22 years of exploitation

Współczynnik wodoprzepuszczalności poprzecznej Permeability coefficient of normal direction to the plane	Jednostka Unit	Geowłóknina – Nonwoven geotextile		
		czysta unworn	po 7 latach eksploatacji after 7 years of exploitation	po 22 latach eksploatacji after 22 years of ex- ploitation
$k_n$	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	0,00202	0,00174	0,00126

Po 7 latach eksploatacji geowłókniny w drenażu zapory ziemnej Białobrzegi jej współczynnik wodoprzepuszczalności poprzecznej zmniejszył się 1,16-krotnie, a po 22 latach – 1,6-krotnie. Zmniejszenie przepuszczalności eksploatowanej geowłókniny w stosunku do fabrycznie nowej wynika z procesu kolmatacji mechanicznej, chemicznej i biologicznej.

Zależność prędkości przepływu wody od wysokości naporu hydraulicznego dla badanych próbek geowłókniny przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Zależność prędkości przepływu wody od wysokości naporu hydraulicznego dla próbek geowłókniny po 22 latach eksploatacji

Fig. 4. Flow velocity characteristics for tested nonwoven geotextile samples after 22 years of exploitation

Na podstawie określonych równań linii trendu obliczono dodatkowo wskaźnik prędkości przepływu ( $V_{H50}$ ) dla wysokości naporu hydraulicznego równego 50 mm, co przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Wartości wskaźnika prędkości przepływu geowłókniny po 22 latach eksploatacji  
Table 3. Values of flow velocity index of nonwoven geotextile after 22 years of exploitation

Wskaźnik prędkości przepływu Flow velocity index	Jednostka Unit	Próbka – Sample					Średnia Average
		1	2	3	4	5	
$V_{H50}$	$m \cdot s^{-1}$	0,0097	0,0112	0,0137	0,0154	0,0155	0,0131

Jak wynika z tabeli 3, wartości wskaźnika prędkości przepływu geowłókniny po 22 latach eksploatacji wahają się w zakresie od 0,0097 do 0,0155  $m \cdot s^{-1}$ . Różnice w uzyskanych wartościach spowodowane są między innymi niejednorodnym układem włókien w materiale, a także innym stopniem zakolmatowania próbek, co zaobserwowano w trakcie ich poboru.

## PODSUMOWANIE

Odpowiedni dobór geosyntetyków na warstwy filtracyjne ma istotne znaczenie dla zapewnienia trwałości systemów drenażowych i skuteczności ich działania. Pod wpływem procesu kolmatacji mechanicznej, chemicznej oraz biologicznej zmianie mogą ulec właściwości hydrauliczne geowłóknin, w tym znaczne zmniejszenie współczynnika wodoprzepuszczalności poprzecznej.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że po 22 latach eksploatacji geowłókniny w drenażu zapory ziemnej Białobrzegi jej współczynnik wodoprzepuszczalności poprzecznej zmniejszył się niemal dwukrotnie i wynosi  $0,00126 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że wynik ten stanowi średnią dla 5 badanych próbek, a w przypadku geowłóknin (materiałów często niejednorodnych – technologie produkcji sprzed 20 lat) miejsce poboru próbki do badań i jej narażenie na czynniki mechaniczne, biologiczne oraz chemiczne w danym miejscu stanowią istotny element różnicujący uzyskane parametry hydrauliczne. Potwierdzają to uzyskane zależności wysokości naporu hydraulicznego od prędkości przepływu analizowanych materiałów. Wskaźnik prędkości przepływu geowłókniny waha się od  $0,0097$  do  $0,0155 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  dla badanych próbek. Wynika z tego, iż pomimo poboru próbek do badań z  $1 \text{ m}^2$  arkusza eksploatowanej geowłókniny proces kolmatacji nie przebiega równolegle i jednakowo w całej powierzchni i objętości materiału. W celu przedstawienia jednoznacznych zależności pomiędzy właściwościami geowłóknin a zmianą wskaźnika prędkości przepływu wskutek procesu kolmatacji konieczne jest prowadzenie dalszych badań, co pozwoli także na uszczegółowienie obowiązujących kryteriów doboru geosyntetyków na warstwy filtracyjne i drenażowe.

## PIŚMIENNICTWO

- Alenowicz, J. (2009). Zastosowania i funkcje geosyntetyków w budowie dróg. Cz. 2. Geosyntetyk w funkcji zbrojącej. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne*, 3 (24), 82–87.
- Bolt, A., Sterpejkowicz-Wersocki, W. (2006). Trwałość geosyntetyków z uwzględnieniem zagadnień filtracji. Konferencja Naukowo-Techniczna „Geosyntetyki i tworzywa sztuczne w geotechnice i budownictwie inżynieryjnym”, Częstochowa, 35–42.
- Burszta-Adamiak, E. (2007). Ocena przydatności geowłóknin do ochrony gruntu przed kolmatacją. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 3 (37), 90–98.
- Faure, Y.H., Baudoin, A., Pierson, P., Ple, O. (2006). A contribution for predicting geotextile clogging during filtration of suspended solids. *Geotextiles and Geomembranes*, 24, 11–20.
- Fleming, I.R., Rowe, R.K. (2004). Laboratory studies of clogging of landfill leachate collection and drainage systems. *Canadian Geotechnical Journal*, 41, 134–153.
- Koda, E., Krzywosz, Z. (1995). Projektowanie układów filtracyjnych i drenażowych z zastosowaniem geotekstyliów. Konferencja Naukowo-Techniczna „Szkoła metod projektowania obiektów inżynierskich z użyciem geotekstyliów”, Ustroń, 91–106.
- Król, P., Krzywosz, Z. (2001). Le vieillissement hydraulique des geotextiles pendant sept ans d'exploitation dans le drainage des barrages en terre. *Annals of Warsaw Agricultural University – SGGW, Land Reclamation*, 32, 51–56.
- Palmeira, E.M., Gardoni, M.G. (2000). The Influence of Partial Clogging and Pressure on the Behaviour of Geotextiles in Drainage Systems. *Geosynthetics International*, 7, 4–6, Special Issue on Liquid Collection Systems, 403–431.



- Palmeira, E.M., Remigio, A.F.N., Ramos, M.L.G., Bernardes, R.S. (2008). A study on biological clogging of nonwoven geotextiles under leachate flow. *Geotextiles and Geomembranes*, 26, 205–219.
- PN-EN ISO 10318-1:2015-12. Geosyntetyki – Część 1: Terminy i definicje (wersja angielska).
- PN-EN ISO 11058:2011. Geotekstyli i wyroby pokrewne. Wyznaczanie charakterystyk wodoprzepuszczalności w kierunku prostopadłym do powierzchni wyrobu, bez obciążenia.
- Stępień, S., Osiński, P., Koda, E. (2012). Laboratoryjne badania wodoprzepuszczalności prostopadłej pod obciążeniem geowłókniny eksploatowanej na składowisku odpadów. *Acta Scientiarum Polonorum Architectura*, 11 (4), 41–50.
- Veylon, G., Stoltz, G., Meriaux, P., Faure, Y.-H., Touze-Foltz, N. (2016). Performance of geotextile filters after 18 years service in drainage trenches. *Geotextiles and Geomembranes*, 44, 515–533.
- Wojtasik, D., Frańk, M., Komorowski, H. (2005). Wpływ kolmatacji na współczynnik filtracji układu grunt – geowłóknina. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 1 (31), 159–168.

## CHANGE OF HYDRAULIC PROPERTIES OF NONWOVEN GEOTEXTILE AFTER 22 YEARS OF EXPLOITATION IN EARTHFILL DAM

**Abstract.** The earthfill dam Białobrzegi is one of eight side dams of Zalew Zegrzyński. Initially, the dam was drained by a drained pipe and discharge into a ditch. Difficult hydro-geological conditions of foundation structures resulted in suffusion and hydraulic break in a sand layer. After the renovation, made in the mid-90s, polypropylene and polyethylene nonwoven geotextiles were used in the drainage system. The nonwoven geotextiles used in drainage applications are vulnerable to physical and chemical clogging process. Clogging reduces effectiveness of the synthetic filter layers. The paper presents the research methodology and the results of analyses obtained from the laboratory tests of water permeability characteristic normal to the plane of nonwoven geotextiles after 22 years of exploitation in the earthfill dam Białobrzegi. Also, the parameters of unworn and after 7 years of exploitation obtained earlier were compared with the research results.

**Key words:** nonwoven geotextile, water permeability characteristics normal to the plane, clogging, earthfill dam

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 26.07.2016

Cytowanie: Miszkowska, A., Koda, E., Krzywosz, Z., Król, P., Boruc, N. (2016). Zmiany właściwości filtracyjnych geowłókniny po 22 latach eksploatacji w drenażu zapory ziemnej. *Acta Sci. Pol. Architectura*, 15 (3), 119–126.