

Witold STERPEJKOWICZ-WERSOCKI\*  
Politechnika Gdańska

## BADANIA UKŁADU GRUNT-GEOWŁÓKNINA W WARUNKACH ZMIENNYCH STANÓW WÓD

**Streszczenie.** Problem zjawisk zachodzących w strefie kontaktowej pomiędzy gruntem a filtrem syntetycznym ma zasadnicze znaczenie dla trwałości umocnień brzegowych wykonanych z użyciem narzutu kamiennego. Niniejszy artykuł zawiera opis badań filtracji układu grunt-geowłóknina, mających na celu poznanie zjawisk zachodzących na powierzchni kontaktowej, które, jak się okazuje, są odmienne w stosunku do zjawisk zachodzących dla filtrów mineralnych.

## TESTS OF SOIL-GEOTEXTILE SYSTEM IN VARIABLE WATER LEVEL CONDITIONS

**Summary.** Problem of phenomena occurring in contact zone of soil and synthetic filter has a fundamental importance for stability of rip-rap bank protection. This article describes filtration tests of soil-geotextile system aimed at recognizing phenomena occurring in the contact zone of soil-geotextile, which are quite different from phenomena occurring in granular filters.

### 1. Wprowadzenie

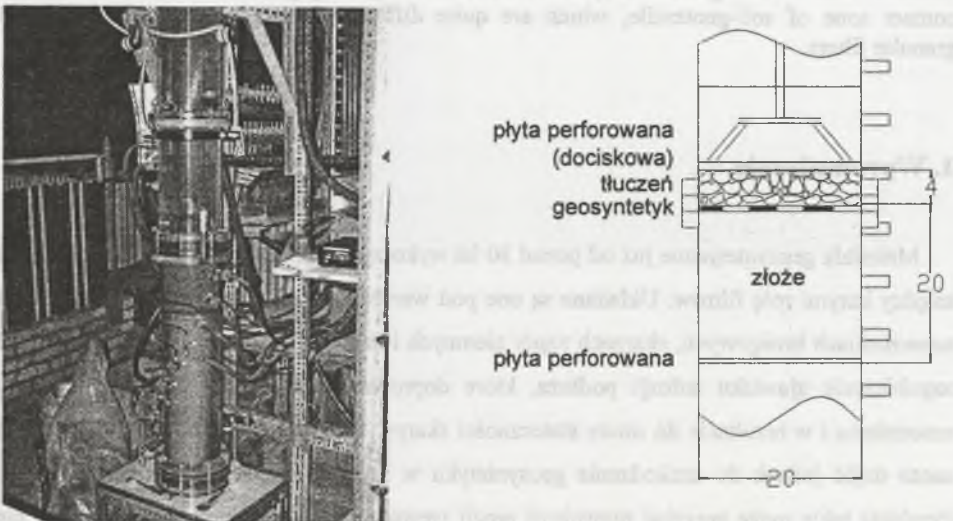
Materiały geosyntetyczne już od ponad 30 lat wykorzystywane są w budownictwie. Pełnią między innymi rolę filtrów. Układane są one pod warstwą narzutu kamiennego w morskich umocnieniach brzegowych, skarpach zapór ziemnych i kanałów. Głównym ich zadaniem jest zapobieżenie zjawisku sufozji podłoża, które doprowadzić może do destrukcji systemu umocnienia i w rezultacie do utraty stateczności skarpy. Podczas układania bloków skalnych może dojść jednak do uszkodzenia geosyntetyku w wyniku jego przebiccia, rozdarcia itp. Przebiccie takie może sprzyjać rozwojowi erozji wewnętrznej w gruncie podłoża, jednak nie musi z góry przekreślać skuteczności działania filtra. Przy zachowaniu pewnych warunków

\*Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Adam Bolt, prof. Pol. Gdańskiej

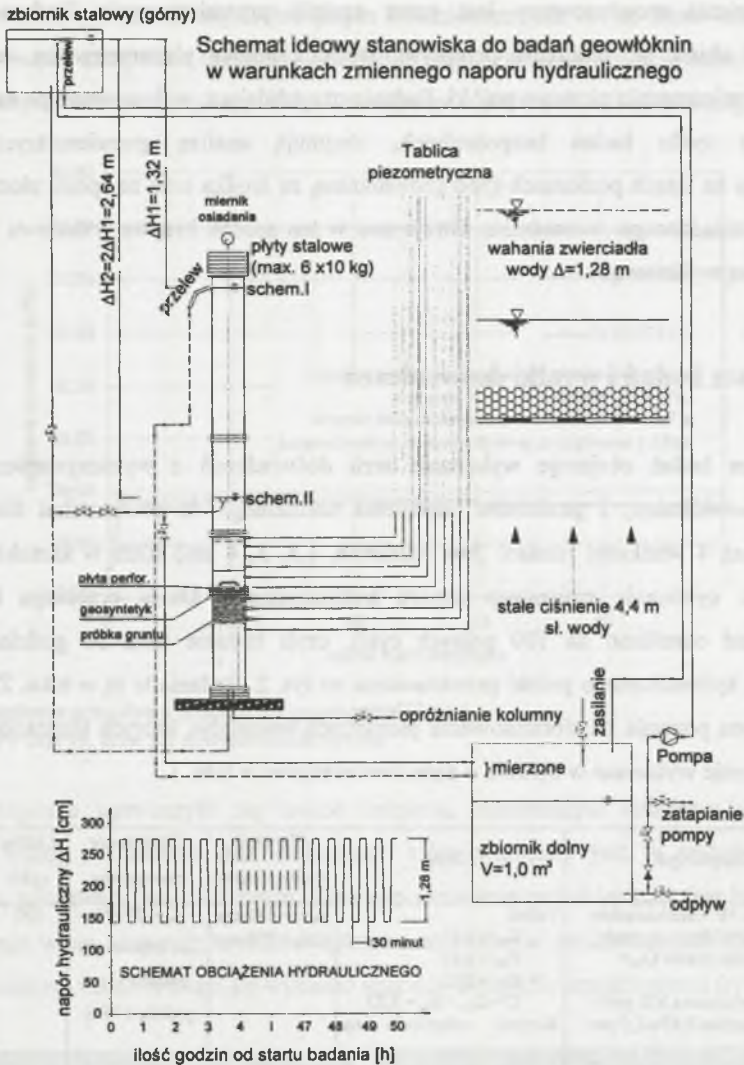
hydraulicznych w gruncie podłoża na powierzchni styku z geowłókniną może wytworzyć się układ samofiltrujący (przesklepienie) skutecznie zapobiegający sufozji gruntu. Prowadzone badania mają na celu określenie wpływu warunków hydraulicznych i obciążenia zewnętrznego na zjawiska zachodzące w strefie kontaktu gruntu z filtrem syntetycznym.

## 2. Stanowisko badawcze

Przedstawione stanowisko do badań filtracji układu grunt-geowłóknina znajduje się w Laboratorium Hydrauliki i Inżynierii Środowiska Wydziału Budownictwa Wodnego i Inżynierii Środowiska. Służy ono do badań filtracji w układzie grunt-geowłóknina w kierunku normalnym do powierzchni materiału geosyntetycznego. Stanowisko badawcze składa się z: kolumny filtracyjnej  $\phi 200$  mm, zestawu piezometrów, zbiornika dolnego, ruchomego zbiornika górnego, zespołu zaworów i elektrozaworów, czujnika przemieszczenia oraz programowalnego sterownika czasowego. Schemat ideowy przedstawiono na rys. 2., natomiast ogólny widok omawianego stanowiska na rys. 1. W aktualnej konfiguracji woda przepompowywana jest ze zbiornika dolnego do górnego. Zbiornik górny jest zbiornikiem ruchomym wyposażonym w przelew (w celu utrzymania stałego ciśnienia) i zasila on bezpośrednio kolumnę filtracyjną. Umożliwia uzyskanie stałego ciśnienia hydrostatycznego w kolumnie rzędu 8 m słupa wody.



Rys. 1. Ogólny widok kolumny filtracyjnej  
Fig. 1. General view of the test stand



Rys. 2. Schemat idealowy stanowiska do badań układu grunt-geowłóknina w warunkach zmiennego naporu hydraulicznego

Fig. 2. Schematic diagram of the test stand for investigations on soil-geotextile system in variable water level conditions

Woda do kolumny podawana jest od dołu, przepływa przez próbkę gruntu, geowłókniny, narzut kamienny, osiągając dwa poziomy (cyklicznie zmiennie). Obciążenie zewnętrzne na próbkę podawane jest przez płytę dociskową (perforowaną) i trzcina stalowy długości ok. 2,0 m, na końcu którego umieszczane są obciążniki. Przewidziano możliwość instalowania obciążników o łącznej masie do 60 kg, co odpowiada naprężeniu normalnemu 20 kPa. Ruch

końca trzpienia monitorowany jest przez czujnik przemieszczenia. Podczas badania pomiarami objęte są: natężenie przepływu wody, ciśnienia piezometryczne, temperatura wody, przemieszczenia pionowe próbki. Badania uzupełniające, wykonywane po zakończeniu założonego cyklu badań bezpośrednich, obejmują analizę granulometryczną złoza gruntowego na trzech poziomach (pod geowłókniną, ze środka oraz ze spodu złoza), a także gruntu zgromadzonego w osadniku. Otrzymane w ten sposób krzywe przesiewu porównuje się z krzywą wyjściową.

### 3. Program badań i wyniki doświadczeń

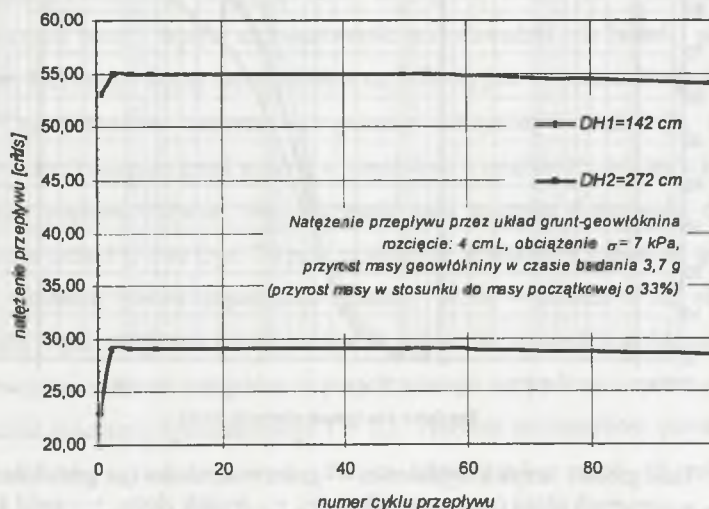
Program badań obejmuje wykonanie serii doświadczeń z wykorzystaniem jednego rodzaju geowłókniny, 3 poziomów naprężenia normalnego do powierzchni filtra (2, 10, 20 kPa) oraz 4 wielkości rozdarć (bez rozdarcia, 1,5, 3, 4 cm) filtra w kształcie I, O, L, 2 wielkości cyklicznie zmiennego naporu hydraulicznego. Okres przebiegu każdego z doświadczeń określono na 100 pełnych cykli, czyli badanie trwa 50 godzin. Schemat obciążenia hydraulicznego próbki przedstawiono na rys. 2. Badania te są w toku. Zakończona faza wstępna pozwala na sformułowanie pierwszych wniosków, których ilustracją może być doświadczenie wykonane w oparciu o dane zamieszczone w tabl. 1.

Tablica 1

<i>Geosyntetyk</i>	<i>Grunt</i>	<i>Warunki hydrauliczne</i>	<i>Obciążenie zewnętrzne</i>	<i>Liczba cykli</i>	<i>Rozcięcie</i>
Geowłóknina PP – mechanicznie wzmocniana z włókien ciągłych; umowny wymiar porów $O_{90} = 0,09$ mm; Masa powierzchniowa $325 \text{ g/m}^2$ ; Grub. przy nacisku $2 \text{ kPa} = 2,9$ mm	Piasek $D_{60} = 0,81$ $D_{50} = 0,64$ $D_{10} = 0,23$ $U = D_{60} / D_{10} = 3,52$ Krzywa uziarnienia na rys. 5.	$\Delta H_1 = 142 \text{ cm}$ $\Delta H_2 = 270 \text{ cm}$	$G = 200 \text{ N}$ (co odpowiada naciskowi na próbkę $7 \text{ kPa}$ )	100	4 cm w kształcie L

W doświadczeniu tym wykonano większe rozcięcie (4 cm L) w stosunku do poprzednich (1,5 cm L) przy niezmiennych pozostałych parametrach badania. W pierwszej fazie badania (rys. 3.) natężenie przepływu gwałtownie wzrosło, po czym utrzymało się już w zasadzie na stałym poziomie. Wzrost natężenia przepływu w pierwszej fazie spowodowany jest uwalnianiem się powietrza z próbki geosyntetyku oraz ze złoza. Jest to również efekt wystąpienia przebicia hydraulicznego połączonego ze zjawiskiem sufozji (rys. 4.). Druga faza – wyrównania przepływu – wskazuje na osiągnięcie przez układ grunt-geowłóknina stanu równowagi. Wykonana po badaniu analiza uziarnienia (rys. 5.) pozwoliła stwierdzić, że grunt

w osadniku charakteryzował się drobniejszym uziarnieniem, niż ten ze złoża leżący wokół rozdarcia – w pierwszej fazie nastąpiło wypłukanie przez wykonane nacięcie frakcji drobnych z jednoczesnym formowaniem się mostka filtracyjnego z grubszych frakcji badanego gruntu.



Rys. 3. Natężenie przepływu przez układ grunt-geowłóknina

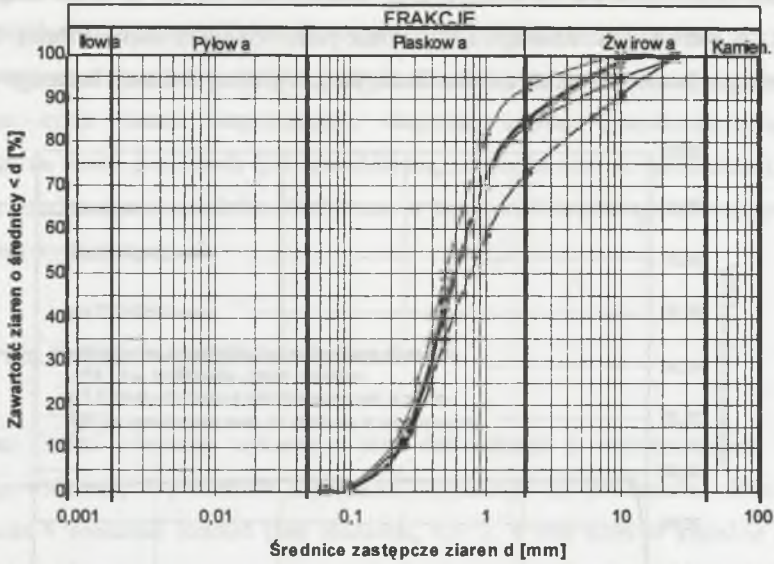
Fig. 3. Flow rate vs. time for soil-geotextile system

Przesklepienie wytworzyło się wokół rozcięcia, zapobiegając dalszemu wynoszeniu drobnych frakcji – powstał stan równowagi, który widoczny jest w stałym natężeniu przepływu, począwszy już od 5 cyklu. Zjawisko powstania przesklepienia jest hipotezą, na której bazuje wiele obecnych kryteriów doboru materiałów w zastosowaniach filtracyjnych. W analizowanym badaniu udało się wykonać unikalne fotografie przesklepienia (rys. 6.).



Rys. 4. Efekt zjawisk sufozyjnych – wypłukany grunt spod geowłókniny

Fig. 4. Soil piping phenomena



Oznaczenia: linia gruba – krzywa wyjściowa, ×- grunt w osadniku (na geowłókninie),  
 ♦ – wierzch złoża (przy geowłókninie), ■ – środek złoża, ○ – spód złoża

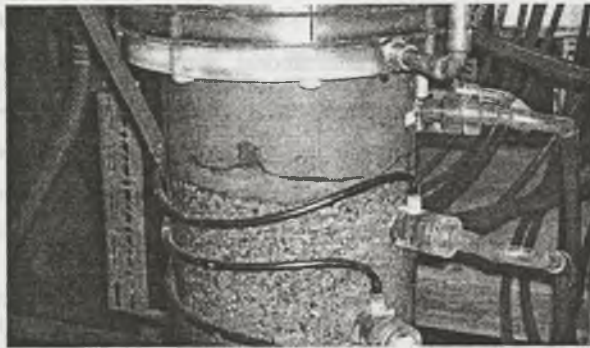
Rys. 5. Krzywe uziarnienia dla próbek pobranych z różnych głębokości złoża  
 Fig. 5. Grain-size distributions



Rys. 6. Naturalne przesklepienie wytworzone na styku gruntu z geowłókniną  
 Fig. 6. Soil-arch formed on soil-geotextile surface

#### 4. Typowe problemy związane z badaniami filtracyjnymi geowłóknin

Podczas przeprowadzania doświadczeń laboratoryjnych w kolumnie filtracyjnej na układzie grunt-geowłóknina należy zwrócić szczególną uwagę na wymienione poniżej czynności, mające istotny wpływ na poprawność przeprowadzonych badań i powtarzalność ich wyników. Pierwszą i bodaj najważniejszą czynnością jest umieszczenie próbki gruntu w kolumnie. Doświadczenie zdobyte na gruntach niespoistych wskazuje, że najlepiej umieszczać jest w kolumnie grunt mokry, w warstwach o miąższości 3-4 cm z jednoczesnym zagęszczaniem poprzez ubijanie. Niezachowanie tego warunku doprowadzi do powstania rozwarstwienia próbki gruntu (rys. 7.) przy przepływie w kierunku z dołu do góry kolumny. Ważny jest również proces napełniania kolumny wodą – chodzi o to, aby powietrze znajdujące się w porach gruntu miało możliwość ujęcia. W przypadku szybkiego napełnienia kolumny powietrze zostanie uwięzione w porach, dlatego też podczas napełniania nie zaleca się przekraczać gradientu hydraulicznego  $I = 0,1$ . Problem pęcherzyków powietrza dotyczy również materiałów geosyntetycznych. Próbka geosyntetyku przed jej założeniem do kolumny powinna przebywać co najmniej przez 24 godziny pod wodą. Dodatkowo można usunąć powietrze z geowłókniny poprzez jej ugniatanie (pod wodą). Geowłóknina pozbawiona pęcherzyków powietrza ma wyraźnie ciemniejsze zabarwienie w porównaniu z jej zapowietrzonymi fragmentami.



Rys. 7. Rozwarstwienie gruntu w kolumnie spowodowane niewłaściwym umieszczeniem złoża  
Fig. 7. Soil lamination caused by wrong deposit arrangement

#### 5. Zakończenie

Coraz powszechniej narzut kamienny stosowany w umocnieniach skarp kanałów, zapór ziemnych, obwałowań układany jest na filtrach geosyntetycznych. Główną rolą filtra jest

zapobieżenie zjawisku sufozji gruntu podłoża i tym samym destrukcji systemu umocnienia. Równorzędnym problemem jest zjawisko kolmatacji wewnętrznej geosyntetyku, które doprowadzić może do częściowego lub niemal całkowitego zatrzymania przepływu przez powierzchnię filtra syntetycznego, powodując kumulację ciśnień spływowych w umacnianej skarpcie.

Obecnie istnieje duża dowolność doboru materiałów geosyntetycznych w omawianych aplikacjach, co skutkować może niewłaściwą pracą geosyntetyku w konstrukcji. Istniejące już kryteria doboru materiałów syntetycznych do zastosowań filtracyjnych odnoszą się w zasadzie wyłącznie do jednokierunkowego przepływu ustalonego. Prowadzone prace mają na celu określenie kryteriów doboru geosyntetycznych materiałów filtracyjnych w warunkach cyklicznie zmiennych stanów wód. Badania wstępne pozwalają stwierdzić, że opracowanie odpowiednich kryteriów wymaga bardzo szczegółowego rozpoznania zjawisk fizycznych zachodzących nie tylko w geosyntetyku, ale także w płaszczyźnie kontaktu gruntu z materiałem filtracyjnym, ponieważ zjawiska te mają kluczowy wpływ na funkcjonowanie filtra.

## LITERATURA

1. Bolt A., Sterpejkowicz-Wersocki W.: Geotextile filter performance via long term flow tests. Proceedings of the VII International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering, Międzybrodzie Żywieckie, Poland, 10-12.09.2001, s. 261-268.
2. Cazzuffi D., Mazzucato A., Moraci N., Tondello M.: A new test apparatus for the study of geotextiles behaviour as filters in unsteady flow conditions: relevance and use. Geotextiles and Geomembranes 17, 1999, s. 313-329.

*Praca naukowa finansowana ze środków Komitetu Badań Naukowych w latach 2003÷2005 jako projekt badawczy nr 5 T07E 072 25.*

Recenzent: Dr hab. inż. Jacek Pieczyrak, prof. Pol. Śląskiej