

OCENA ZACHOWANIA SIĘ UKŁADU GRUNT- -GEOWŁÓKNINA W PROCESIE FILTRACJI

Dariusz Wojtasik, Zygmunt Krzywosz

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. W artykule przedstawiono schemat zmodyfikowanego aparatu do określania lokalnego gradientu hydraulicznego układu grunt-geowłóknina zalecanego przez normę ASTM D 5101-90. Przeprowadzone badania umożliwiły określenie stosunku gradientów układu grunt-geowłóknina oraz stosunku gradientów w gruncie. Badaniami objęto dwa sufozyczne piaski gliniaste oraz geowłókninę igłowaną K-500 podczas procesu filtracji przy kolejno zadawanych zewnętrznych gradientach hydraulicznych w zakresie $i = 1-10$. Na podstawie uzyskanych wyników badań dokonano oceny przydatności geowłókniny stanowiącej filtr ochraniający grunty wewnętrznie niestabilne, zgodnie z kryterium kolmatacji Haliburtona i Wooda (1982). Analiza wyników badań wykazała, iż geowłóknina może stanowić filtr dla gruntów, które w swoim składzie nie zawierają więcej niż 27% części mniejszych od 0,05 mm.

Słowa kluczowe: geowłókniny, geotekstylika, kolmatacja, stosunek gradientów układu grunt-geowłóknina (GR), stosunek gradientów w gruncie (SGR)

WSTĘP

W konstrukcjach inżynierskich geowłókniny powinny spełniać swoje określone funkcje, do których zaliczamy m.in.: drenaż, filtrację, ochronę przeciwerozyjną, wzmocnienie, separację [Wesolowski i in. 2000]. Do najważniejszych cech decydujących o zastosowaniu geowłóknin na warstwy filtracyjne należą:

- dostateczna przepuszczalność (kryterium filtracji – Giroud [1982], Chlistopher i Holts [1985], Kłosiński [1996]), która nie powoduje ograniczenia przepływu wody,
- odpowiednia średnica porów (kryterium kolmatacji – Fischer i in. [1990]), umożliwiająca przepływ filtracyjny, podczas którego nie nastąpi kolmatacja szkieletem gruntowym struktury filtru geosyntetycznego.

Adres do korespondencji – Corresponding author: Dariusz Wojtasik, Zygmunt Krzywosz, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska, Katedra Geoinżynierii, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, e-mail: dariusz_wojtasik@sggw.pl, zygmunt_krzywosz@sggw.pl

Kryterium przepuszczalności dotyczy porównania współczynnika filtracji gruntu i geowłókniny. Uważa się je za spełnione, jeśli współczynnik filtracji geowłókniny jest większy od przepuszczalności gruntu.

Kryterium kolmatacji związane jest z przenikaniem podczas filtracji drobnych cząstek gruntu chronionego w pory geowłókniny, co powoduje ograniczenie jej przepuszczalności.

Powyższe kryterium polega na uwzględnieniu charakterystycznych średnic ziaren gruntu chronionego oraz zastępczej średnicy porów geowłókniny (np. O_{90}), w które podczas przepływu migrują drobne cząsteczki gruntu, ograniczając jej zdolności filtracyjne. Inne rozwiązanie podaje Korpus Inżynierski i Calhoun [1972], który swoje kryterium kolmatacji opiera na wyznaczeniu stosunku gradientów (GR) jako ilorazu gradientu układu grunt-geowłóknina i gradientu w gruncie.

W celu łatwiejszego doboru geowłóknin do gruntu chronionego firma Haliburton Associates z USA [Haliburton i Wood 1982] przebadła geowłókniny w kontakcie z gruntami zawierającymi w swym składzie części pylaste. Na podstawie badań sporządzono nomogram, który na osi poziomej przedstawia procentową zawartość części pylastych (mniejszych od 0,05 mm), natomiast na pionowej – stosunek gradientów (GR). Ustalono graniczną wartość stosunku gradientów ($GR = 3$), po której przekroczeniu następuje kolmatacja geowłókniny.

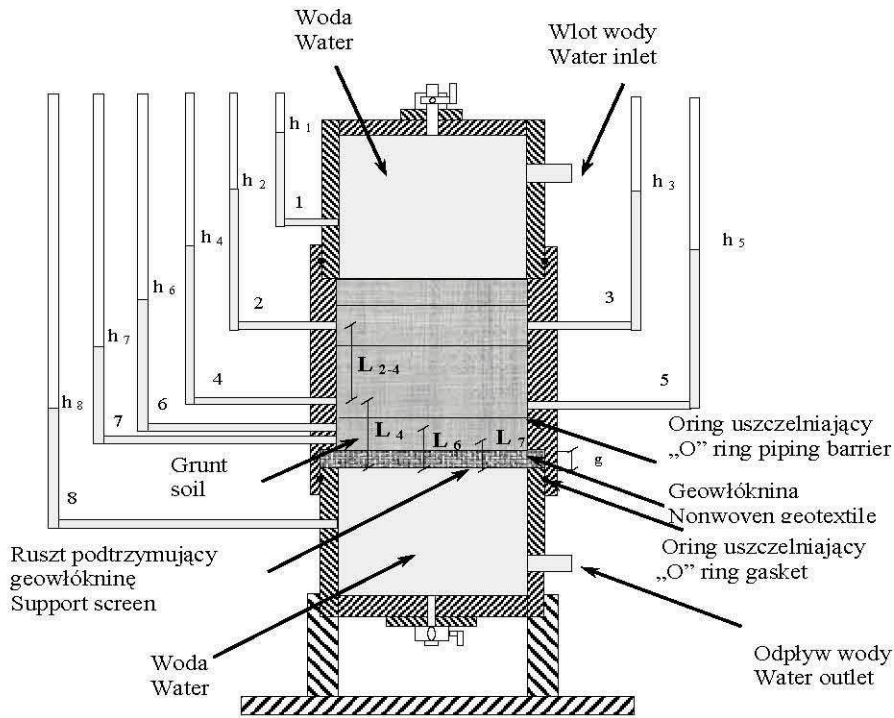
METODYKA BADAŃ

Badania laboratoryjne gradientów układu grunt-geowłóknina przeprowadzono w zmodyfikowanym aparacie przedstawionym na rysunku 1. Modyfikacja zalecanego w normie ASTM D 5101-90 aparatu polegała na zainstalowaniu dodatkowych piezometrów 6 i 7 w celu dokonania pomiarów ciśnienia w jak najbliższym sąsiedztwie geowłókniny. Zaproponowany układ piezometrów umożliwił analizę zachowania się układu grunt-geowłóknina w następujących strefach:

- dla układu grunt-geowłóknina: strefa 7–8 (geowłóknina i 4-milimetrowa warstwa gruntu od piezometru 7 do 8), strefa 6–8 (geowłóknina i 8-milimetrowa warstwa gruntu od piezometru 6 do 8), strefa 4, 5–8 (geowłóknina i 25-milimetrowa warstwa gruntu od piezometrów 4 i 5 do 8),
- dla gruntu: strefa 6–7 (4-milimetrowa warstwa gruntu, znajdująca się w odległości 4–8 mm powyżej geowłókniny między piezometrami 6 i 7), strefa 4, 5–6 (17-milimetrowa warstwa gruntu, znajdująca się w odległości 8–25 mm powyżej geowłókniny między piezometrami 4 i 5 oraz 6), strefa 2, 3–4, 5 (50-milimetrowa warstwa gruntu, znajdująca się w odległości 25–75 mm powyżej geowłókniny między piezometrami 2 i 3 oraz 4 i 5).

Badania laboratoryjne przeprowadzone w 5 seriach obejmowały wyznaczenie lokalnych gradientów w poszczególnych strefach przy zadanym zewnętrznym gradiencie hydraulicznym w zakresie $i = 1-10$. Dla poszczególnych stref obliczono stosunki gradientów (oznaczenia według rys. 1) z następujących zależności:

- stosunek gradientów w układzie grunt-geowłóknina (ASTM D 5101):



Rys. 1. Schemat aparatu do badań przepuszczalności oraz lokalnych gradientów układu grunt-geo-włóknina: h_n – manometryczny odczyt, dla manometru n , L_n – odległość między piezometrem numer n a spodem geowłókniny, L_{2-4} – odległość między piezometrami o numerach 2 i 4, g – grubość geowłókniny

Fig 1. Scheme of apparatus for coefficient permeability and local gradients test in soil-nonwoven geotextile system: h_n – the manometer reading, for the manometer number n , L_n – distance between piezometer number n and the bottom of nonwoven geotextile, L_{2-4} – distance between piezometers number 2 and 4, g – thickness of nonwoven geotextile

$$GR_{25} = \frac{\left(\frac{h_4 + h_5}{2} - h_8\right) / L_4}{\left(\frac{h_2 + h_3}{2} - \frac{h_4 + h_5}{2}\right) / L_{2-4}} = \frac{\Delta h_{4,5-8} / L_4}{\Delta h_{2,3-4,5} / L_{2-4}} = \frac{i_{4,5-8}}{i_{2,3-4,5}} \quad (1)$$

gdzie i_n – gradient hydrauliczny pomiędzy piezometrami n [–],

– stosunek gradientów w gruncie [Wojtasik 2004]:

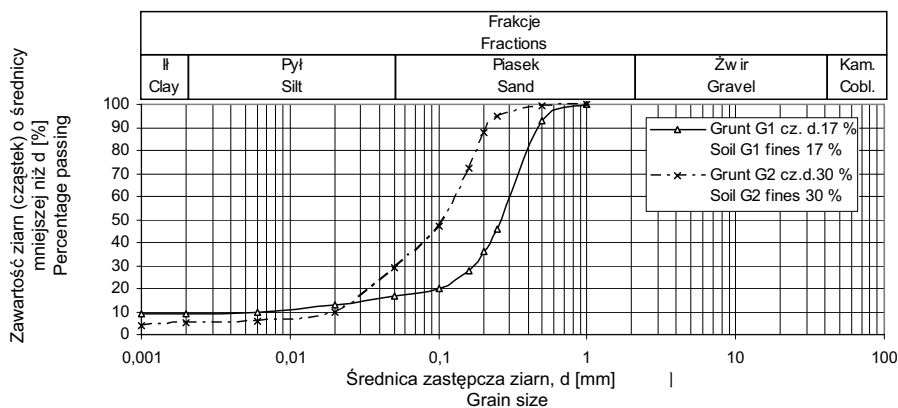
$$SGR_{17} = \frac{\left(\frac{h_4 + h_5}{2} - h_6\right) / L_{4-6}}{\left(\frac{h_2 + h_3}{2} - \frac{h_4 + h_5}{2}\right) / L_{2-4}} = \frac{\Delta h_{4,5-6} / L_{4-6}}{\Delta h_{2,3-4,5} / L_{2-4}} = \frac{i_{4,5-6}}{i_{2,3-4,5}} \quad (2)$$

$$\text{SGR}_4 = \frac{(h_6 - h_7)/L_{6-7}}{\left(\frac{h_2 + h_3}{2} - \frac{h_4 + h_5}{2}\right)/L_{2-4}} = \frac{\Delta h_{6-7}/L_{6-7}}{\Delta h_{2,3-4,5}/L_{2-4}} = \frac{i_{6-7}}{i_{2,3-4,5}} \quad (3)$$

Do badań przygotowano próbki gruntu przesianego przez sito 2 mm, które wysuszone w temperaturze 105°C. Przygotowany grunt rozdzielono na cztery równe porcje, które, po umieszczeniu geowłókniny, kolejno układano i zagęszczano w aparacie. W celu usunięcia nagromadzonego powietrza doprowadzono odpowietrzoną wodę w temperaturze 20°C od dołu badanej próbki. Następnie po 12 godzinach zmieniono kierunek przepływu wody i dokonano serii odczytów pomiarowych. Badania przeprowadzono dla zewnętrznych gradientów hydraulicznych, które wynosiły odpowiednio: 1,0; 2,5; 5; 7,5 i 10. Pomiary po każdorazowym ustabilizowaniu się przepływu obejmowały odczyty: temperatury przepływającej wody (T), jej objętości (V), czasu przepływu (t) oraz wysokości ciśnienia piezometrycznego dla poszczególnych piezometrów (Δh). Badania zakończono w momencie zaniku przepływu filtracyjnego.

CHARAKTERYSTYKA BADANYCH MATERIAŁÓW

Do badań laboratoryjnych wykorzystano geowłókninę igłowaną K-500 oraz piaski gliniaste G1 i G2 o zawartości frakcji drobnych ($d < 0,05$ mm) 17 i 30% (rys. 2). Badane grunty (piaski gliniaste) G1 i G2 charakteryzowały się odpowiednio następującymi parametrami: wskaźnik nierównomierności uziarnienia $C_u = 37$ i 6, wskaźnik krzywizny $C_c = 12$ i 1,2 oraz współczynnik filtracji $k = 4,9 \cdot 10^{-4}$ i $6,3 \cdot 10^{-5}$ m/s. Ponadto posiadały one taką samą porowatość ($n = 0,43$) i zbliżony wskaźnik zagęszczenia ($I_s = 0,76$ i 0,83). Zgodnie z kryterium Kenneya i Lau (1985), grunty G1 i G2 są wewnętrznie niestabilne. Parametry geowłókniny to: grubość $g = 5,1$ mm oraz 5,3 mm, charakterystyczna średnica porów (według producenta) $O_{90} = 0,06$ mm oraz współczynnik filtracji w kierunku prostopadłym do jej powierzchni $k_v = 5,4 \cdot 10^{-3}$ i $5,8 \cdot 10^{-3}$ m/s. Zbiorcze zestawienie właściwości fizycznych, hydraulicznych oraz mechanicznych badanej geowłókniny oraz gruntu przedstawiono w tabelach 1 i 2.



Rys. 2. Krzywe uziarnienia badanych gruntów

Fig. 2. Grain-size distribution of tested soils

Tabela 1. Właściwości badanych geowłóknin K-500
Table 1. Properties of tested nonwoven geotextiles K-500

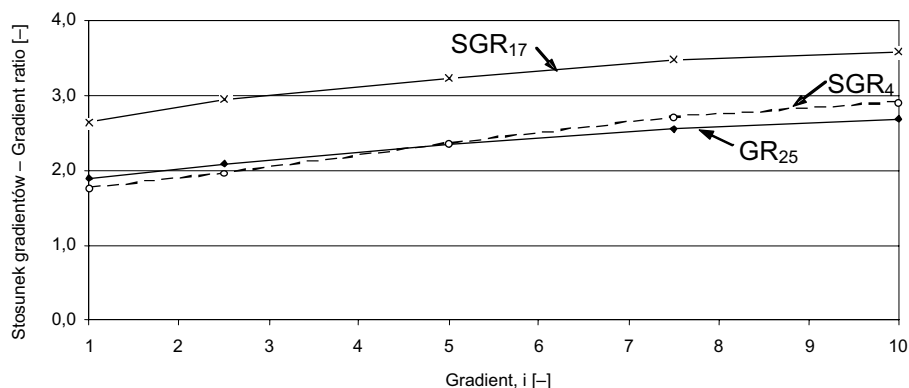
| Właściwości Properties | Wartości parametrów – Parameters values | |
|---|--|--|
| | GEO-1 | GEO-2 |
| Fizyczne – Physicals | | |
| Grubość przy zadanym obciążeniu 2 kPa Thickness for the applied load 2 kPa | $g = 5,1 \text{ mm}$ | $g = 5,31 \text{ mm}$ |
| Masa powierzchniowa Mass per unit area | $\mu_A = 526,4 \text{ g/m}^2$ | $\mu_A = 515,8 \text{ g/m}^2$ |
| Zastępcza średnica porów Apparent opening size | $O_{90} = 0,06 \text{ mm}$ | $O_{90} = 0,06 \text{ mm}$ |
| Hydrauliczne – Hydraulics | | |
| Współczynnik filtracji prostopadły do próbki Permeability coefficient (cross-plane flow) | $k_v = 5,8 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ | $k_v = 5,4 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ |
| Mechaniczne – Mechanicals | | |
| Wytrzymałość na rozciąganie Tensile strength | | |
| – wszerz pasma – strip tensile cross m. dir. | $\alpha_{f \text{ c.m}} = 23 \text{ kN/m}$ | $\alpha_{f \text{ c.m}} = 23 \text{ kN/m}$ |
| – wzdłuż pasma – strip tensile machine dir. | $\alpha_{f \text{ m}} = 15,5 \text{ kN/m}$ | $\alpha_{f \text{ m}} = 15,5 \text{ kN/m}$ |
| Przebiecie statyczne Static puncture (met. CBR) | $F_p = 3,04 \text{ kN}$ | $F_p = 3,04 \text{ kN}$ |

Tabela 2. Właściwości badanych gruntów
Table 2. Properties of tested soils

| Właściwości Properties | Wartości parametrów – Parameters values | |
|--|---|---|
| | Grunt G1 – Soil G1 | Grunt G2 – Soil G2 |
| Rodzaj – Type | | |
| Piasek gliniasty Slightly clayey sand | piasek – 83%, pył – 8%, il – 9% sand – 83%, silt – 8%, clay – 9% | piasek 70%, pył – 25%, il – 5% sand – 70%, silt – 25%, clay – 5% |
| Wskaźnik nierównomierności uziarnienia Coefficient of uniformity | $C_u = d_{60}/d_{10} = 37$ | $C_u = d_{60}/d_{10} = 6$ |
| Wskaźnik krzywizny Coefficient of curvature | $C_c = d_{30}^2/(d_{60} \cdot d_{10}) = 12$ | $C_c = d_{30}^2/(d_{60} \cdot d_{10}) = 1,2$ |
| Charakterystyczne średnice Characteristic diameters | $d_{90} = 0,47 \text{ mm}; d_{60} = 0,3 \text{ mm};$ $d_{10} = 0,008 \text{ mm}$ | $d_{90} = 0,21 \text{ mm}; d_{60} = 0,12 \text{ mm};$ $d_{10} = 0,02 \text{ mm}$ |
| Fizyczne – Physicals | | |
| Gęstość objętościowa szkieletu Density of dry soil | $\rho_d = 1,51 \text{ t/m}^3$ | $\rho_d = 1,49 \text{ t/m}^3$ |
| Porowatość Porosity | $n = 0,43$ | $n = 0,43$ |
| Wskaźnik zagęszczenia Relative compaction | $I_s = 0,76$ | $I_s = 0,83$ |
| Hydrauliczne – Hydraulics | | |
| Współczynnik filtracji Permeability coefficient | $k_1 = 4,9 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ | $k_2 = 6,3 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ |

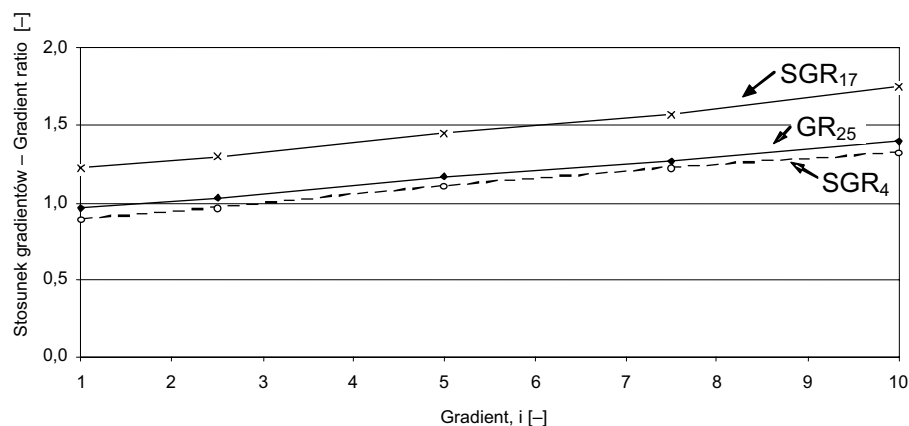
ANALIZA WYNIKÓW

Wyniki badań stosunku gradientów układu grunt-geowłóknina oraz stosunku gradientów w gruncie zamieszczono na rysunkach 3 i 4. Przedstawiono na nich zmiany stosunku gradientów układu grunt-geowłóknina (GR_{25}) oraz zmiany gradientów w gruncie (SGR_{17} , SGR_4) w zależności od zewnętrznego gradientu hydraulicznego w zakresie od $i = 1$ do $i = 10$. Badania przeprowadzono dla dwóch piasków gliniastych o zawartości frakcji ($d < 0,05$ mm) 17 i 30%.



Rys. 3. Zmiany stosunku gradientów w zależności od zewnętrznego gradientu hydraulicznego w gruncie G1 (części drobne – 17%): GR_{25} – stosunek gradientów układu grunt-geowłóknina, SGR_4 i SGR_{17} – stosunek gradientów w gruncie

Fig. 3. The changes of gradient ratio values under different outside hydraulic gradients in soil G1 (fines – 17%): GR_{25} – gradient ratio in soil-nonwoven geotextile system, SGR_4 and SGR_{17} – gradient ratio in soil



Rys. 4. Zmiany stosunku gradientów w zależności od zewnętrznego gradientu hydraulicznego w gruncie G2 (części drobne – 30%): GR_{25} – stosunek gradientów układu grunt-geowłóknina, SGR_4 i SGR_{17} – stosunek gradientów w gruncie

Fig. 4. The changes of gradient ratio values under different outside hydraulic gradients in soil G2 (fines – 30%): GR_{25} – gradient ratio in soil-nonwoven geotextile system, SGR_4 and SGR_{17} – gradient ratio in soil

Analiza uzyskanych wyników badań (tab. 3) wskazuje, iż wartości współczynnika filtracji zarówno w gruncie, jak i układzie grunt-geowłóknina przy zadawanych kolejno zewnętrznych gradientach hydraulicznych uległy zmniejszeniu. Spowodowane jest to zjawiskiem przemieszczania się drobnych cząstek szkieletu gruntowego, powodujących zmniejszenie porowatości gruntu i geowłókniny.

Początkowy współczynnik filtracji geowłókniny wynoszący $5,5 \cdot 10^{-3}$ m/s został zmniejszony około 14 razy w piasku gliniastym G1 (zawartości frakcji drobnych 17%) oraz około 6 razy w gruncie G2 (zawartości frakcji drobnych 30%). Zmniejszenie po-

Tabela 3. Wartości współczynnika filtracji dla geowłókniny, gruntu oraz układu grunt-geowłóknina przy różnych gradientach hydraulicznych

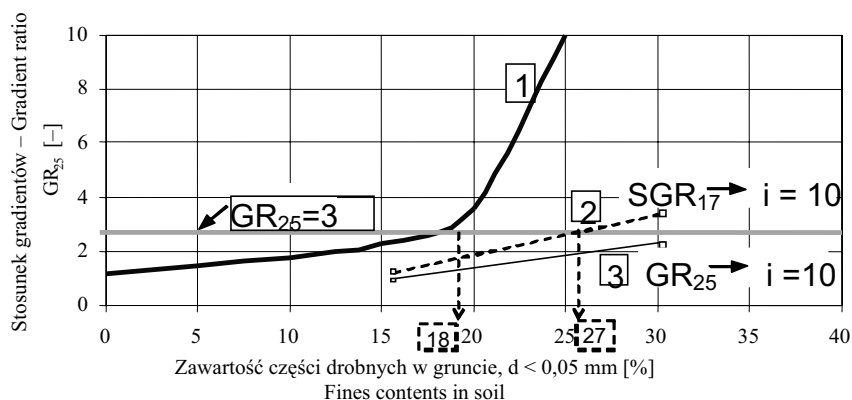
Table 3. Permeability coefficient values of nonwoven geotextile as well as soil and soil-nonwoven geotextile system for different hydraulic gradients

| Wyszczególnienie Description | Jednostka Unit | Piasek gliniasty – Slightly clayey sands | | | |
|---|-------------------|--|---------------------|-----------------------|---------------------|
| | | G1 | | G2 | |
| Zawartość frakcji drobnych Fines ($d < 0,05$ mm) | % | 17 | | 30 | |
| Badanie Test | – | Początek Beginning | Koniec Final | Początek Beginning | Koniec Final |
| $k_{\text{geowłóknina}}$ – geotextile | m/s | $5,8 \cdot 10^{-3}$ | $4,0 \cdot 10^{-4}$ | $5,4 \cdot 10^{-3}$ | $9,0 \cdot 10^{-4}$ |
| Gradient | – | 1 | | | |
| $k_{\text{grunt-soil}}$ (2,3–4,5) | m/s | $4,9 \cdot 10^{-4}$ | $2,8 \cdot 10^{-5}$ | $6,3 \cdot 10^{-5}$ | $1,8 \cdot 10^{-5}$ |
| $k_{\text{grunt-soil}}$ (4,5–6) | | $4,1 \cdot 10^{-4}$ | $5,1 \cdot 10^{-5}$ | $2,4 \cdot 10^{-5}$ | $1,3 \cdot 10^{-5}$ |
| $k_{\text{grunt-soil}}$ (6–7) | | $5,5 \cdot 10^{-4}$ | $1,0 \cdot 10^{-4}$ | $3,6 \cdot 10^{-5}$ | $2,3 \cdot 10^{-5}$ |
| k_{system} (4,5–8) | | $5,3 \cdot 10^{-4}$ | $7,2 \cdot 10^{-5}$ | $3,4 \cdot 10^{-5}$ | $1,8 \cdot 10^{-5}$ |
| Gradient | – | 2,5 | | | |
| $k_{\text{grunt-soil}}$ (2,3–4,5) | m/s | $3,1 \cdot 10^{-4}$ | $2,3 \cdot 10^{-5}$ | $2,5 \cdot 10^{-5}$ | $7,0 \cdot 10^{-6}$ |
| $k_{\text{grunt-soil}}$ (4,5–6) | | $2,4 \cdot 10^{-4}$ | $3,3 \cdot 10^{-5}$ | $8,0 \cdot 10^{-6}$ | $3,0 \cdot 10^{-6}$ |
| $k_{\text{grunt-soil}}$ (6–7) | | $3,2 \cdot 10^{-4}$ | $6,5 \cdot 10^{-5}$ | $1,3 \cdot 10^{-5}$ | $6,0 \cdot 10^{-6}$ |
| k_{system} (4,5–8) | | $3,0 \cdot 10^{-4}$ | $4,7 \cdot 10^{-5}$ | $1,1 \cdot 10^{-5}$ | $4,4 \cdot 10^{-6}$ |
| Gradient | – | 5 | | | |
| $k_{\text{grunt-soil}}$ (2,3–4,5) | m/s | $1,6 \cdot 10^{-4}$ | $1,6 \cdot 10^{-5}$ | $1,4 \cdot 10^{-5}$ | $4,0 \cdot 10^{-6}$ |
| $k_{\text{grunt-soil}}$ (4,5–6) | | $1,1 \cdot 10^{-4}$ | $1,5 \cdot 10^{-5}$ | $4,2 \cdot 10^{-6}$ | $2,0 \cdot 10^{-6}$ |
| $k_{\text{grunt-soil}}$ (6–7) | | $1,4 \cdot 10^{-4}$ | $3,0 \cdot 10^{-5}$ | $6,0 \cdot 10^{-6}$ | $3,0 \cdot 10^{-6}$ |
| k_{system} (4,5–8) | | $1,4 \cdot 10^{-4}$ | $2,1 \cdot 10^{-5}$ | $5,8 \cdot 10^{-6}$ | $2,8 \cdot 10^{-6}$ |
| Gradient | – | 7,5 | | | |
| $k_{\text{grunt-soil}}$ (2,3–4,5) | m/s | $8,7 \cdot 10^{-5}$ | $9,0 \cdot 10^{-6}$ | $8,5 \cdot 10^{-6}$ | $2,0 \cdot 10^{-6}$ |
| $k_{\text{grunt-soil}}$ (4,5–6) | | $5,5 \cdot 10^{-5}$ | $7,0 \cdot 10^{-6}$ | $2,5 \cdot 10^{-6}$ | $6,0 \cdot 10^{-7}$ |
| $k_{\text{grunt-soil}}$ (6–7) | | $7,1 \cdot 10^{-5}$ | $1,1 \cdot 10^{-5}$ | $3,0 \cdot 10^{-6}$ | $8,0 \cdot 10^{-7}$ |
| k_{system} (4,5–8) | | $7,0 \cdot 10^{-5}$ | $9,5 \cdot 10^{-6}$ | $3,3 \cdot 10^{-6}$ | $8,0 \cdot 10^{-7}$ |
| Gradient | – | 10 | | | |
| $k_{\text{grunt-soil}}$ (2,3–4,5) | m/s | $2,7 \cdot 10^{-5}$ | $7,0 \cdot 10^{-6}$ | $5,0 \cdot 10^{-6}$ | $9,0 \cdot 10^{-7}$ |
| $k_{\text{grunt-soil}}$ (4,5–6) | | $1,6 \cdot 10^{-5}$ | $5,0 \cdot 10^{-6}$ | $2,0 \cdot 10^{-6}$ | $3,0 \cdot 10^{-7}$ |
| $k_{\text{grunt-soil}}$ (6–7) | | $2,1 \cdot 10^{-5}$ | $7,0 \cdot 10^{-6}$ | $2,0 \cdot 10^{-6}$ | $4,0 \cdot 10^{-7}$ |
| k_{system} (4,5–8) | | $2,0 \cdot 10^{-5}$ | $6,6 \cdot 10^{-6}$ | $1,9 \cdot 10^{-6}$ | $4,0 \cdot 10^{-7}$ |

czątkowego współczynnika filtracji ($i = 1$) w samym gruncie wynosiło od około 5 do 18 razy dla gruntu G1 oraz od 2 do 4 dla gruntu G2. Końcowy współczynnik filtracji zmniejszył się przy ($i = 10$) od około 3 dla gruntu G1 do około 5 dla gruntu G2. Dla układu grunt-geowłóknina współczynnik filtracji uległ zmniejszeniu przy ($i = 1$) w gruncie G1 około 8 razy do wartości $7,2 \cdot 10^{-5}$ m/s, a w gruncie G2 około 2 razy, uzyskując wartość $1,8 \cdot 10^{-5}$ m/s. Otrzymane wyniki świadczą o większej sufozyjności gruntu G1 w stosunku do gruntu G2.

Najmniejsze wartości stosunku gradientów układu grunt-geowłóknina dla obu gruntów zaobserwowano przy zewnętrznym gradiencie hydraulicznym $i = 1$ (w gruncie G1 – $GR_{25} = 0,96$ natomiast w gruncie G2 – $GR_{25} = 1,88$), największe zaś przy $i = 10$, które wynosiły: w gruncie G1 – $GR_{25} = 1,4$ oraz w gruncie G2 – $GR_{25} = 2,67$ [Lechowicz i in. 2004]. Podobnie zmieniał się stosunek gradientów w gruncie. Zakres zmian wynosił odpowiednio dla gruntu G1, przy gradiencie $i = 1$ od $SGR_4 = 0,89$ do $SGR_{17} = 1,21$, natomiast przy $i = 10$ od $SGR_4 = 1,32$ do $SGR_{17} = 1,75$. W gruncie G2 odpowiednio od $SGR_4 = 1,75$ do $SGR_{17} = 2,63$, a przy $i = 10$ od $SGR_4 = 2,91$ do $SGR_{17} = 3,58$. Świadczy to o większej kolmatacji w samym gruncie aniżeli w układzie grunt-geowłóknina. Analiza uzyskanych wyników wskazuje, że gradienty układu grunt-geowłóknina są mniejsze od gradientów w samym gruncie. Wynika to z faktu, iż powstałe ciśnienie wody w gruncie jest zredukowane przez geowłókninę, która ma większą porowatość w stosunku do gruntu.

Na podstawie kryterium kolmatacji zaproponowanego przez Korpus Inżynierski i Calhouna (1972), Haliburton i Wood (1982) pod kątem przydatności do projektowania geowłóknin igłowanych (rys. 5) okazuje się, że parametr GR_{25} w badanych gruntach G1 i G2 nie przekroczył granicznej wartości ($GR = 3$) przy zadanym gradiencie hydraulicznym $i = 10$.



Rys. 5. Stosunek gradientów geowłókniny w zależności od zawartości części drobnych w badanych gruntach: 1 – badania Haliburtona i Wooda (1982), 2 – badania stosunku gradientu w gruncie SGR_{17} dla gruntów G1 i G2, 3 – badania stosunku gradientu układu grunt-geowłóknina GR_{25} dla gruntów G1 i G2

Fig. 6. Gradient ratio as a function of soil fines content for geotextiles tested: 1 – Haliburton and Wood (1982) test, 2 – gradient ratio soil test SGR_{17} of soils G1 and G2, 3 – gradient ratio soil-nonwoven geotextile system test GR_{25} of soils G1 and G2

Przekroczony natomiast został parametr SGR_{17} dla gradientu $i = 10$. Świadczy to o tym, że rozpatrywana geowłóknina na podstawie kryterium Haliburtona i Wooda (1982) może stanowić filtr chroniący grunty, których zawartość części drobnych ($d < 0,05$ mm) nie przekracza 27%.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania oceny kolmatacji układu grunt-geowłóknina na podstawie stosunku gradientów wykazały, że:

1. Wzrost zewnętrznego gradientu hydraulicznego oraz zawartość frakcji drobnych wpływa istotnie na wartości stosunku gradientu w gruncie i układu grunt-geowłóknina.

2. Kolmatacja w gruncie (SGR_{17}) jest bardziej intensywna niż w układzie grunt-geowłóknina (GR_{25}) dla obu badanych gruntów.

3. Zmniejszenie początkowego współczynnika filtracji przy ($i = 1$) w samym gruncie wynosiło od około 5 do 18 razy dla gruntu G1 oraz od 2 do 4 dla gruntu G2. Dla końcowego współczynnika filtracji zmniejszenie wynosiło przy ($i = 10$) od około 3 dla gruntu G1 do około 5 dla gruntu G2.

4. Na podstawie kryterium kolmatacji, określonego przez Haliburtona i Wooda (1982), geowłóknina igłowana K-500 może chronić grunty (przy zewnętrznym gradientie hydraulicznym $i = 1-10$), w których zawartość części drobnych ($d < 0,05$ mm) nie przekracza 27% (wg kryterium Haliburtona i Wooda do 18%).

PIŚMIENNICTWO

- ASTM Designation: D 5101-90,1990. Standard Test Methods for Measuring the Soil-Geotextile System Clogging Potential by the Gradient Ratio.
- Calhoun C.C., 1972. Development of design criteria and acceptance specifications for plastic filter cloth. USAGE. Waterways Experimental Station, Viksburg.
- Christopher B.R., Holtz R.D., 1985. Geotextile System Clogging Potential by the Gradient Ratio. Geotextile engineering manual. Federal Highway Administration, Washington.
- Fisher G.R., Christopher B.R., Holtz R.D., 1990. Filter criteria based on pore size distribution. Geotextiles, Geomembranes and Related Products. Balkema, Rotterdam.
- Giroud J.P., 1982. Filter Criteria for Geotextiles. 2nd Int. Conf. on Geotextiles, Las Vegas, 1, 103–108.
- Haliburton T.A., Wood P.D., 1982. Evaluation of the US Army Corps of Engineers Gradient Ratio test for geotextile Performance. 2nd Int. Conf. on Geotextiles, Las Vegas 1, 97–101.
- Kenney T.C., Lau D., 1985. Internal stability of granular filters. Canadian Geotechnical Journal 22, 2, 215–225.
- Kłosiński B. 1996. Poradnik projektanta. Lotrak Geotekstyli. Przekład z języka angielskiego. Don & Low LTD, Scotland.
- Lechowicz Z., Krzywoszcz Z., Wojtasik D., 2004. Evaluation of soil-geotextile behaviour using gradient ratio test. Annals of Warsaw Agricultural University-SGGW, Land Reclamation, 36, 77–87.
- Wesołowski A., Krzywoszcz Z., Brandyk T., 2000. Geosyntetyki w konstrukcjach inżynierskich. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Wojtasik D., 2004. Analiza zachowania się układu grunt-geowłóknina w procesie filtracji. Praca doktorska. SGGW, Warszawa.

EVALUATION OF SOIL-NONWOVEN GEOTEXTILE SYSTEM BEHAVIOUR USING GRADIENT RATIO TEST

Abstract. The paper presents the scheme of modified apparatus to test the local hydraulic gradient in soil-geotextile system according to ASTM D 5101. Based on the test results, gradient ratio in soil-nonwoven geotextile and gradient ratio in soil for internal unstable slightly clayey sands and nonwoven geotextile K-500 during filtration process under total hydraulic gradients $i = 1-10$ was carried out. The test results were analyzed for evaluation of using the nonwoven geotextile as a filtration layer according to clogging criteria, presented by Haliburton and Wood (1982). The analysis of tests' results showed, that nonwoven geotextile could be filter for protected internal unstable soils with no more than 27% fines contents.

Key words: nonwoven geotextiles, geotextiles, clogging, gradient ratio soil-geotextile system (GR), soil gradient ratio (SGR)

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 31.10.2006