

OPORY TARCIA NA STYKU GEOSYNTETYCZNYCH EKRAŃÓW PRZECIWFILTRACYJNYCH W WAŁACH PRZECIWPOWODZIOWYCH

Magdalena BORYS

Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Zakład Inżynierii Wodno-Melioracyjnej

Słowa kluczowe: geosyntetyki, grunty, kąt tarcia, właściwości cierne

Streszczenie

W ostatnich latach znacznie wzrosło zainteresowanie zastosowaniem geosyntetyków do uszczelniania wałów przeciwpowodziowych. W ramach odbudowy lub modernizacji obwałowań wykonuje się z nich pochyłe ekrany przeciwfiltacyjne. Zaprojektowanie, a następnie budowa ekranu przeciwfiltacyjnego wymaga wykonania obliczeń stateczności, do czego niezbędna jest znajomość oporów tarcia na styku poszczególnych warstw uszczelnienia.

Celem badań opisanych w niniejszym artykule było określenie, jaki wpływ ma rodzaj gruntu (grunty grubo-, średnio- i drobnoziarniste, w tym spoiste) i jego zmieniająca się wilgotność (od stanu powietrznie suchego przez wilgotny do mokrego) na wartość kąta tarcia na jego styku z geosyntetykami najczęściej wykorzystywanymi do budowy ekranów przeciwfiltacyjnych, jak też określenie wartości kąta tarcia na styku różnych geosyntetyków, mogących tworzyć ekrany wielowarstwowe.

Wykazano m. in., że bardzo duży wpływ na wartości kąta tarcia na styku gruntu i ekranu ma wilgotność gruntu spoistego, dlatego też geomembrany nie powinny być układane na podłożu z gruntu spoistego o dużej zawartości frakcji pylastej i ilastej ani też przykrywane taką warstwą ochronną, szczególnie gdy grunty te mogą ulec nawodnieniu. Kąty tarcia na styku geosyntetyków ze sobą są mniejsze niż tychże geosyntetyków z gruntami, dlatego w obliczeniach stateczności wałów z ekranami wielowarstwowymi, składającymi się z różnych geosyntetyków, należy złożyć poślizg nie tylko na styku ekran–grunt, ale też na styku warstw o najmniejszych oporach tarcia.

Adres do korespondencji: doc. dr hab. M. Borys, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Zakład Inżynierii Wodno-Melioracyjnej, al. Hrabstwa 3, 05-090 Raszyn; tel. +48 (22) 720-05-31, w. 232, e-mail: m.borys@imuz.edu.pl

WSTĘP

Geosyntetyki stosuje się w obiektach budownictwa wodnego od kilkudziesięciu lat. Od wczesnych lat siedemdziesiątych rozpoczęto w Polsce stosowanie geomembran (folii poli-merowych) do uszczelnienia zbiorników wodnych [AMBROŻEWSKI, 2004; 2005].

Na podstawie informacji zebranych od inwestorów, tj. Zarządów Melioracji i Urzędzeń Wodnych w poszczególnych województwach, w 2007 r. przeprowadzono rozpoznanie liczby, lokalizacji i parametrów technicznych odcinków obwałowań przeciwpowodziowych doszczelnionych pochyłymi ekranami przeciwfiltracyjnymi. Stwierdzono, że ekrany przeciwfiltracyjne z geomembran (folii) budowano od 1994 r. przy czym ich wykonawstwo rozwinęło się znacznie po 1997 r. W latach 1994–1996 wykonano ekrany z zastosowaniem geomembran tylko na terenie województwa zachodniopomorskiego na odcinkach wałów łącznej długości zaledwie ok. 3,4 km [Ocena..., 2007]. W latach 1997–2006 takie ekrany wykonano na odcinkach wałów przeciwpowodziowych łącznej długości już ok. 94 km w ośmiu województwach (dolnośląskie, lubuskie, małopolskie, mazowieckie, podkarpackie, świętokrzyskie, wielkopolskie, zachodniopomorskie). Długość tych odcinków w poszczególnych województwach była różna – w sześciu województwach łączna długość odcinków z ekranami z geomembran wynosiła kilka kilometrów (1,6–8,1 km), a w dwóch od kilkunastu do kilkudziesięciu kilometrów, tj. w świętokrzyskim – 47 km i dolnośląskim – 16 km.

W rozwiązaniach konstrukcyjnych takich ekranów [BORYS, 2006] w praktyce stosuje się czasem kilka warstw, w których oprócz geomembrany występują inne geosyntetyki, jak np. w rozwiązaniach uszczelnień wałów przeciwpowodziowych wybudowanych po powodziach z 1997 i 1998 r. na terenie województwa świętokrzyskiego, gdzie wykonywano ekrany składające się z geomembrany PCV, siatki LDPE i dwóch rodzajów geowłóknin.

Zaprojektowanie, a następnie budowa ekranu przeciwfiltracyjnego wymaga wykonania obliczeń stateczności, do czego niezbędna jest znajomość oporów tarcia na styku poszczególnych warstw uszczelnienia. Na te opory składa się kąt tarcia i spójność, która jest najczęściej pomijana w obliczeniach projektowych [WESOŁOWSKI, KRZYWOSZ, BRANDYK, 2000]. W praktyce projektanci posługują się przybliżonymi wartościami tarcia, podawanymi przez producentów materiałów dla konkretnego wyrobu i jednego rodzaju testowego gruntu. W literaturze można znaleźć nieliczne prace, poświęcone szerszym badaniom oporów tarcia w układzie syntetyk–grunt [m.in. GARBULEWSKI, 1990; 2004].

Niewłaściwe nachylenie skarpy przebudowanego nasypu z wbudowanym ekranem przyjęte ze względu na błędnie założony kąt tarcia na styku ekranu przeciwfiltracyjnego i gruntu może prowadzić do awarii, jak np. w uszczelnionych po powodziach w 1997, 1998 i 2001 r. wałów Wisły Środkowej [AMBROŻEWSKI, 2005].

Kąt tarcia między geosyntetykiem i gruntem można określić z zastosowaniem jednej z dwóch metod zalecanych przez normy europejskie, polegających na wykorzystaniu w tym celu równi pochyłej [PN-EN ISO 12957-2:2007] lub aparatu bezpośredniego ścinania [PN-EN ISO 12957-2:2007]. Normy te, opracowane na potrzeby wyznaczania właściwości ciernych geosyntetyków, przewidują zastosowanie jako gruntu testowego znormalizowanego piasku, którym powinien być rodzimy piasek krzemionkowy, składający się z zaokrąglonych ziaren o ściśle zdefiniowanym uziarnieniu (w zakresie 0,08–2,00 mm) i wilgotności mniejszej od 0,2%. W praktyce w korpusach wałów przeciwpowodziowych występują

bardzo zróżnicowane grunty, zarówno pod względem uziarnienia, jak też wilgotności, która zmienia się od stanu suchego do pełnego nasycenia, zależnie od warunków atmosferycznych i okresowego piętrzenia wody.

Celem badań opisanych w niniejszym artykule było określenie wpływu rodzaju gruntu (grunty grubo-, średnio- i drobnoziarniste) i jego zmieniającej się wilgotności (od stanu powietrznie suchego przez wilgotny do mokrego) na wartość kąta tarcia na jego styku z geosyntetykiem, jak też określenie wartości kąta tarcia na styku różnych geosyntetyków, mogących tworzyć ekrany wielowarstwowe.

Do badań wybrano geosyntetyki najczęściej wykorzystywane w ostatnich latach do budowy ekranów przeciwfiltracyjnych w wałach przeciwpowodziowych, w tym geomembrany hydroizolacyjne z PCV polskiej produkcji oraz folie PCV, dwa rodzaje geowłókniny i siatkę plastikową LDPE, które często stosowano po 1997 r. w woj. świętokrzyskim do budowy ekranów składających się z trzech warstw folia-siatka-geowłóknina.

METODY BADAŃ

Badania oporów tarcia wykonano w laboratorium z zastosowaniem dwóch aparatów:

- równi pochyłej, opisanej m.in. w normie PN-EN ISO 12957-2:2007 (fot. 1);
- aparatu bezpośredniego ścinania, przystosowanego do badań tarcia na styku gruntu i geosyntetyku, zgodnie z normą PN-EN ISO 12957-2:2007 (fot. 2), z zastosowaniem naprężeń normalnych 20, 40, 60, 80 i 100 kPa i prędkości odkształceń $0,1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

Badaniami objęto następujące geosyntetyki:

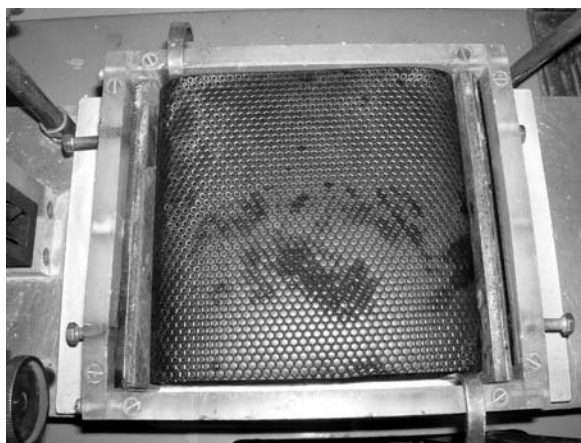
- 1) geomembrany hydroizolacyjne z PCV grubości 1,5 mm o trzech rodzajach powierzchni:
 - a) gładkiej;
 - b) moletowanej, to jest z wytłoczonym wzorem przeciwpoślizgowym w kształcie plastra miodu;
 - c) szykanowanej (geomembrana moletowana z przymocowanymi metodą zgrzewania paskami folii, zwanymi szykanami, szerokości 80 mm, w tym 40 mm to część otwarta i 40 mm część zgrzana), przy czym z wykorzystaniem równi pochyłej w dwóch wariantach:
 - szykana zamocowana fabrycznie, uchylająca się jedynie pod wpływem przesuwania gruntu po geomembranie,
 - szykana przed przyłożeniem gruntu uchylona ręcznie i dodatkowo wzmocniona drutem wsuniętym do kieszeni utworzonej między szykaną a powierzchnią geomembrany;
- 2) folia budowlana z PCV grubości 1 mm o powierzchni gładkiej;
- 3) folia budowlana z PCV grubości 1 mm o powierzchni uszorstkowanej, tj. z wytłoczonym wzorem w kształcie ukośnych drobnych paseczków;
- 4) geowłóknina igłowana, separująca, o gramaturze $1000 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$;
- 5) geowłóknina klejona, o gramaturze $350 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$;
- 6) siatka plastikowa (LDPE), bezwęzłkowa, o wymiarach oczka $0,7 \times 0,7 \text{ cm}$.

Grunty wykorzystane do badań zostały sklasyfikowane według normy PN-EN ISO 14688-1:2006 i PN-EN ISO 14688-2:2006 na podstawie analizy uziarnienia, oznaczonego zgodnie z metodyką podaną w normie PN-88/B-04481.



Fot. 1. Widok z przodu równi pochyłej po badaniu kąta tarcia na styku geomembrany i gruntu; pod skrzynką z gruntem widoczna geomembrana przymocowana do sztywnej podstawy, z boku widoczna wyskalowana w stopniach podziałka do pomiaru kąta nachylenia równi

Photo 1. Front view of an inclined plane to measure friction angle at the soil-geomembrane junction; under the box with soil there is a geomembrane fixed to a stiff base, aside – the graduated scale to measure angle of the plane's inclination



Fot. 2. Widok z góry dolnej części skrzynki aparatu bezpośredniego ścinania z przymocowaną próbką geomembrany o powierzchni moletowanej (tzw. plaster miodu) przed zamontowaniem górnej części skrzynki wypełnionej gruntem w celu badania kąta tarcia na styku geomembrany i gruntu

Photo 2. Top view of lower part of the box of direct shear apparatus with attached sample of geomembrane of embossed surface (the so-called honeycomb) before mounting the upper part of soil-filled box to measure friction angle at the soil – geomembrane junction

Do badań geomembran użyto:

- piasku średniego (MSa),
- piasku zapyłonego (siSa),
- gliny ilastej (sasiCl).

Do badań folii budowlanej i geowłóknin wykorzystano następujące rodzaje gruntu:

- piasek drobny (FSa),
- piasek średni (MSa),
- piasek gruby (CSa),
- piasek zapyłony (siSa).

Badania każdego z wymienionych gruntów wykonano w warunkach różnej wilgotności, tj.:

- grunt powietrznie suchy,
- grunt wilgotny,
- grunt mokry.

Wartości wilgotności zamieszczono w tabelach, zawierających wyniki badań kąta tarcia (tab. 1, 2).

Przed przystąpieniem do badań kąta tarcia grunty zagęszczano w aparacie Proctora (metodą I zgodnie z metodyką podaną w normie PN-88/B-04481) w celu określenia, jaką gęstość objętościową ma grunt zagęszczony o danej wilgotności (suchy, wilgotny, mokry). Grunty użyte do badań tarcia w obydwu aparatach były zagęszczane do wyznaczonych wartości gęstości objętościowej.

ANALIZA WYNIKÓW I WNIOSKI

Wynikiem badań z użyciem równi pochyłej jest kąt tarcia, w stopniach, dla układu grunt–geosyntetyk określany przez pomiar kąta, przy którym skrzynka wypełniona gruntem zsuwa się w trakcie pochylania ze stałą prędkością podstawy podtrzymującej geosyntetyk [PN-EN ISO 12957-2:2007]. Średnie wartości kąta tarcia na styku różnych geomembran i gruntów, obliczone na podstawie badań prowadzonych w 5 powtórzeniach, zamieszczono w tabeli 1.

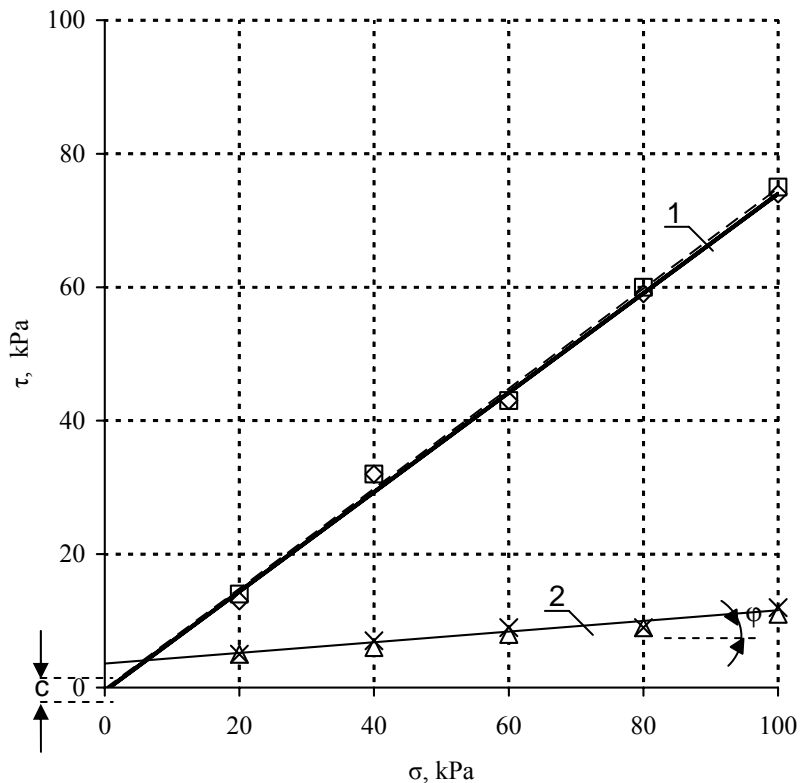
Wynikiem badań w aparacie bezpośredniego ścinania dla układu grunt–geosyntetyk jest kąt tarcia φ określany w stopniach jako kąt nachylenia „najlepiej pasującej” linii prostej na wykresie maksymalnych naprężeń ścinających [PN-EN ISO 12957-2:2007], jak to pokazano na rysunku 1. W przypadku gruntów spoistych może wystąpić również spójność pozorna c między gruntem i geosyntetykiem, wyrażona w kilopaskalach, definiowana jako wartość naprężenia ścinającego, wyznaczona z prostej aproksymującej wyniki badań ścinania, odpowiadająca zerowemu naprężeniu normalnemu. W przeprowadzonych na potrzeby niniejszej pracy badaniach wartości spójności zanotowano w przypadku gliny ilastej mokrej i wilgotnej, jak to pokazano na przykładzie badań wykonanych na styku geomembrany moletowanej i gliny ilastej (rys. 1). W przypadku piasków spójność była zerowa. Biorąc to pod uwagę, jak też to że w wyniku badań z użyciem równi pochyłej nie można określić spójności, w dalszej analizie wyników wykorzystano tylko wartości kątów tarcia. Średnie wartości kąta tarcia na styku różnych geomembran i gruntów – obliczone na podstawie badań w aparacie bezpośredniego ścinania prowadzonych w trzech powtórzeniach – zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Średnie wartości kąta tarcia na styku geomembran z PCV i gruntu, określone dwiema metodami**Table 1.** Mean values of the friction angle at the PVC geomembranes – soil junction estimated with two methods

Rodzaj geomembrany Type of geomembrane	Aparat Apparatus	Kąt tarcia, ° Friction angle, °									
		piasek średni (MSa) medium sand (MSa)			piasek zapyłony (siSa) silty sand (siSa)			glina ilasta (sasiCl) sandy silty clay (sasiCl)			
		powietrznie suchy air dry	wilgotny moist	mokry wet	powietrznie suchy air dry	wilgotny moist	mokry wet	sucha dry	wilgotna ¹⁾ moist ¹⁾	mokra wet	
		w = 0,1%	w = 12%	w = 18%	w = 0,4%	w = 14%	w = 22%	w = 4%		w = 20–21%	w = 24%
Gładka Smooth	równia pochyła inclined plane	24	29	26	27	36	13	23	46	–	12
	aparatus bezpośredniego ścinania direct shear apparatus	29	28	30	30	29	35	30	8	7	8
Moletowana Embossed	równia pochyła inclined plane	24	32	36	26	47	30	24	64	–	29
	aparatus bezpośredniego ścinania direct shear apparatus	32	30	30	34	38	34	37	7	8	4
Szykanowana Striped	równia pochyła inclined plane	26	35	32	23	49	32	33	66	–	34
	aparatus bezpośredniego ścinania direct shear apparatus	29	28	30	33	32	34	35	9	8	5
Szykanowana usztywniona drutem Wire reinforced striped	równia pochyła inclined plane	30	38	31	35	45	56	36	63	–	48

¹⁾ Wilgotność $w = 17\%$ – pomiar za pomocą równi pochyłej, $w = 15–17\%$ – pomiar w aparacie bezpośredniego ścinania.

¹⁾ Moisture $w = 17\%$ – measurement with inclined plane, $w = 15–17\%$ – measurement in the direct shear apparatus.



Rys. 1. Zależność naprężeń ścinających τ od naprężeń normalnych σ określona na podstawie badań w trzech powtórzeniach w aparacie bezpośredniego ścinania na styku geomembrany moletowanej i gliny ilastej; c – spójność pozorna, kPa; φ – kąt tarcia, °; 1 – linie trendu w przypadku gliny ilastej suchej; 2 – linie trendu w przypadku gliny ilastej mokrej o wilgotności równej 24%

1. Fig. 1. The relationship between shear stress τ and standard stress σ estimated from triplicated measurements in direct shear apparatus at the junction of embossed geomembrane and silty loam; c – apparent cohesion, kPa; φ – friction angle, °; 1 – lines of trend for dry silty loam; 2 – lines of trend for silty loam of a moisture of 24%

Na podstawie analizy uzyskanych wyników stwierdzono, że wartości kąta tarcia na styku piasku średniego o różnej jego wilgotności i piasku zapyłonego suchego są do siebie zbliżone, niezależnie od rodzaju aparatu, za pomocą którego je wyznaczono. W przypadku piasku zapyłonego wilgotnego i mokrego oraz gliny ilastej wartości kąta tarcia różnią się bardzo istotnie w zależności od rodzaju zastosowanego aparatu.

W wyniku przeprowadzonych badań (tab. 1) generalnie stwierdzono, że:

- najmniejsze wartości kąta tarcia występowały na styku z geomembraną o powierzchni gładkiej, niezależnie od zastosowanego aparatu;
- wpływ szykan na otrzymane wartości kąta tarcia na styku z geomembraną o powierzchni moletowanej był stosunkowo niewielki, szczególnie gdy szykany nie były ręcznie rozchylane; w przypadku geomembrany szykanowanej w trakcie badań na równi pochyłej

zauważono dodatkowo jej wyraźne rozciąganie się pod ciężarem gruntu, szczególnie widoczne, gdy szykany były rozchylane ręcznie przed badaniem;

- wpływ wilgotności piasku średniego na kąt tarcia był znikomy;
- wartości kąta tarcia na styku piasku zapyłonego mokrego i geomembrany gładkiej, określone w badaniach z użyciem równi pochyłej, były znacznie mniejsze niż wyznaczone za pomocą aparatu bezpośredniego ścinania;
- wartości kąta tarcia na styku gliny ilastej mokrej i geomembrany gładkiej, określone za pomocą równi pochyłej, były wyraźnie mniejsze od pozostałych, a bardzo wyraźnie mniejsze – określone w aparacie bezpośredniego ścinania w przypadku kontaktu wszystkich geomembran z gliną zarówno mokrą, jak i wilgotną.

Wyniki badań właściwości ciernych folii i geowłóknin z użyciem aparatu bezpośredniego ścinania zestawiono w tabeli 2. Analiza uzyskanych wartości kąta tarcia wykazała, że:

- najmniejsze wartości kąta tarcia spośród badanych geosyntetyków występowały na styku gruntu z folią PCV o powierzchni gładkiej;
- wartości kąta tarcia są większe na styku gruntów z geowłókninami niż z foliami PCV, przy czym w przypadku geowłókniny igłowanej zanotowano większe wartości tego kąta niż w przypadku geowłókniny klejonej;
- wpływ wilgotności piasków grubych, średnich i drobnych na wartości kąta tarcia na ich styku z geosyntetykami był nieistotny, natomiast w przypadku piasku zapyłonego wartości kąta tarcia wyraźnie zmniejszały się w miarę zwiększania wilgotności gruntu, szczególnie widocznie w przypadku folii PCV – nawet kilkakrotne zmniejszenie się kąta tarcia.

Uśrednione wartości kąta tarcia na styku różnych geosyntetyków, określone za pomocą aparatu bezpośredniego ścinania, zestawiono w tabeli 3. Kąty tarcia na styku geosyntetyków ze sobą są mniejsze niż w kontakcie tych geosyntetyków z gruntami. Najmniejsze wartości kąta tarcia występują na styku folii o powierzchni gładkiej z geowłókniną wilgotną.

Na podstawie przeprowadzonych badań można wysnuć praktyczne wnioski, dotyczące zastosowania geosyntetyków do budowy ekranów uszczelniających korpusy nasypów ziemnych stale lub okresowo piętrzących wodę, w tym wałów przeciwpowodziowych:

- oprócz sprawdzenia stateczności ogólnej nasypu, należy bezwzględnie potwierdzić obliczeniami stateczność warstwy przykrywającej ekran uszczelniający w różnych warunkach eksploatacyjnych, zakładając poślizg po powierzchni ekranu;
- do budowy pochyłych ekranów uszczelniających powinno się stosować geomembrany o powierzchni ze wzorem przeciwpoślizgowym z obu stron;
- geomembrany nie powinny być przykrywane warstwą ochronną z gruntu spoistego o dużej zawartości frakcji pylastej i ilastej, gdyż wilgotność gruntu spoistego ma bardzo duży wpływ na wartości kąta tarcia na styku gruntu i ekranu, w związku z czym po spiętrzeniu wody, szczególnie po nawodnieniu warstwy ochronnej, które ze względu na jej małą miąższość następuje bardzo szybko, a następnie po opadnięciu poziomu wody, może wystąpić obsunięcie warstwy przykrywającej, która zachowywała stateczność w okresach suchych;
- w przypadku ekranów wielowarstwowych, składających się z różnych geosyntetyków, w obliczeniach należy założyć poślizg nie tylko na styku ekran–grunt, ale też na styku warstw o najmniejszych oporach tarcia.

Tabela 2. Średnie wartości kątów tarcia na styku różnych geosyntetyków i gruntów określone w aparacie bezpośredniego ścinania

Table 2. Mean values of the friction angle at the junction of various geosynthetics and soil estimated in direct shear apparatus

Rodzaj geosyntetyku Type of geosynthetic	Kąt tarcia, ° Friction angle, °											
	piasek drobny (FSa) fine sand			piasek średni (MSa) medium sand			piasek gruby (CSa) coarse sand			piasek zapyłony (siSa) silty sand		
	po- wietrznie suchy air dry	wilgotny moist w = 7%	mokry wet w = 21%	powietrz- nie suchy air dry	wilgotny moist w = 7%	mokry wet w = 21%	powietrz- nie suchy air dry	wilgotny moist w = 7%	mokry wet w = 21%	suchy dry w = 10%	wilgotny moist w = 15%	mokry wet w = 20%
Folia budowlana PVC gr. 1 mm gładka Smooth building PVC foil 1 mm thick	22	19	18	24	18	21	23	19	22	17	13	3
Folia budowlana PVC gr. 1 mm uszorstkowiona Roughened building PVC foil 1 mm thick	29	30	28	28	–	–	28	25	25	28	26	3
Geowłóknina igłowana (sucha) Needle geotextile (dry)	37	29	–	41	34	–	37	30	–	28	28	11
Geowłóknina igłowana (zwilżona) Needle geotextile (moistened)	36	–	–	36	–	–	33	–	–	–	–	18
Geowłóknina igłowana (mokra) Needle geotextile (wet)	34	–	29	37	–	35	34	–	31	–	–	19
Geowłóknina klejona Glued geotextile	32	31	32	32	–	–	30	26	29	37	37	15

Tabela 3. Średnie wartości kąta tarcia na styku różnych geosyntetyków, określone w aparacie bezpośredniego ścinania

Table 3. Mean values of the friction angle at the junction of various geosynthetics estimated in direct shear apparatus

Rodzaj styku Type of junction	Kąt tarcia Friction angle
Folia budowlana PCV gładka z siatką plastikową LDPE Smooth building PVC foil with plastic LDPE netting	10°30'
Folia budowlana PCV uszorstwiona z siatką plastikową LDPE Roughened PVC building foil with plastic LDPE netting	11°56'
Geowłóknina klejona z siatką plastikową LDPE Glued geofibre with plastic LDPE netting	17°30'
Geowłóknina igłowana z siatką plastikową LDPE Needle geofibre with plastic LDPE netting	20°40'
Geowłóknina klejona sucha z folią PVC uszorstkowaną Glued dry geofibre with roughened PVC foil	21°10'
Geowłóknina igłowana sucha z folią PVC gładką Dry needle geofibre with smooth PVC foil	13°50'
Geowłóknina igłowana zwilżona z folią PVC gładką Needle moistured geofibre with smooth PVC foil	9°30'
Geowłóknina igłowana mokra z folią PVC gładką Needle wet geofibre with smooth PVC foil	12°40'

LITERATURA

- AMBROŻEWSKI Z., 2004. Uszczelnienia z folii polimerowych w polskim budownictwie hydrotechnicznym. *Gosp. Wod.* nr 12 s. 510–517.
- AMBROŻEWSKI Z., 2005. Polskie doświadczenia w zastosowaniu geomembran do uszczelnienia budowli hydrotechnicznych. *Wiad. Melior.* nr 1 s. 3–9.
- BORYS M., 2006. Metody modernizacji obwałowań przeciwpowodziowych z zastosowaniem nowych technik i technologii. Falenty: Wydaw. IMUZ ss. 126.
- Ocena stanu technicznego wałów przeciwpowodziowych i podstawowych budowli wodno-melioracyjnych oraz utworzenie systemu monitorowania urządzeń przeciwpowodziowych, 2007. Pr. zbior. pod kier. M. Borys wykonana na zlecenie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi. Falenty: IMUZ maszyn.
- GARBULEWSKI K., 2004. Badanie wskaźnikowe interakcji grunt/geosyntetyk–geosyntetyk. W: Współpraca budowli z podłożem gruntowym. *Mater. Probl. Konf. Geotech.* T. 2 Białystok–Białowieża, czerwiec 2004 r. Białystok: PBiał. s. 221–230.
- GARBULEWSKI K., 1990. Direct shear and pullout frictional resistance at the geotextile-mud interface. *Proc. 4th IC on Geotextiles, Geomembranes and Related Products.* Vol. 2. The Hague, Netherlands s. 737–742.
- PN-88/B-04481 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu.

- PN-EN ISO 14688-1:2006. Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Cz. 1: Oznaczanie i opis.
- PN-EN ISO 14688-2:2006 Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Cz. 2: Zasady klasyfikowania.
- PN-EN ISO 12957-1:2007 Geosyntetyki. Wyznaczanie właściwości ciernych. Cz. 1: Ścinanie bezpośrednie.
- PN-EN ISO 12957-2:2007 Geosyntetyki. Wyznaczanie właściwości ciernych. Cz. 2: Równia pochyła.
- WESOŁOWSKI A., KRZYWOSZ Z., BRANDYK T., 2000. Geosyntetyki w konstrukcjach inżynierskich. Warszawa: Wydaw. SGGW ss. 231.

Magdalena BORYS

**FRictionAL RESISTANCE
AT THE JUNCTION OF GEOSYNTHETIC ANTI-FILTRATION SCREENS
IN FLOOD EMBANKMENTS**

Key words: friction angle, friction characteristics, geosynthetics, soils

S u m m a r y

Interest in using geosynthetics to seal flood embankments has markedly increased in recent years. Sloping anti-filtration screens are made of geosynthetics in the construction or modernization of flood embankments. Design and construction of an anti-filtration screen needs stability calculations which in turn require the knowledge of friction forces at the junction of particular sealing layers.

Studies described in this paper were undertaken to estimate the effect of soil type (coarse, medium and fine-grained, including coherent soil) and its changing moisture (from air-dry to moist to wet) on the friction angle at its junction with geosynthetics most often used in the construction of anti-filtration screens and to estimate the friction angle at the junction of various geosynthetics that form multi-layer screens.

It was shown that for cohesive soil the moisture exerts significant effect on the friction angle at the soil-screen junction. Therefore, geomembranes should not be placed on substratum made of cohesive soils of a high content of silt and clay fraction nor covered with such protective layer particularly when soils might become watered. Friction angles at the junction of geosynthetic layers are smaller than those at the junction of the geosynthetics with soils. Therefore, when calculating stability of embankments with multi-layer screens made of various geosynthetics, one should assume a slide not only at the soil-screen junction but also at the junction of layers with the least friction forces.

Recenzenci:

dr hab. Kazimierz Garbulewski – prof. SGGW
dr inż. Henryk Orzeszyna

Praca wpłynęła do Redakcji 13.09.2007 r.

