

BADANIE WODOPRZEPUSZCZALNOŚCI KOMPOZYTÓW GLEBY PYŁOWO-ILASTEJ, PIASKU I SUBSTRATU TORFOWEGO

Agnieszka Policht-Latawiec

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

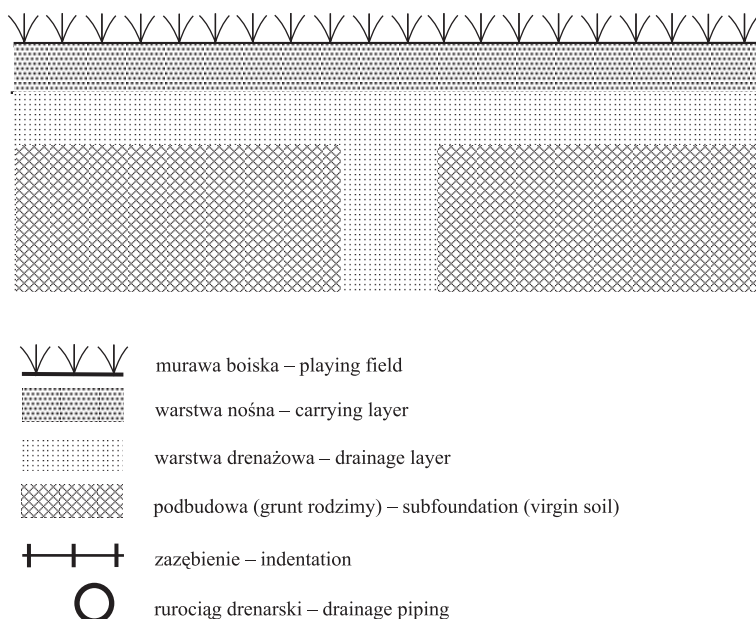
Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań wodoprzepuszczalności sześciu kompozytów o czterech poziomach gęstości objętościowej i porowatości, utworzonych z piasku rzecznoego, gleby pyłowo-ilastej i substratu torfowego. Badania prowadzono w aspekcie przydatności kompozytów do budowy warstwy nośnej płyty boisk do piłki nożnej. Standardowymi metodami oznaczono wodoprzepuszczalność (współczynniki filtracji) oraz wybrane własności fizyczne kompozytów. Średnie wartości współczynników filtracji przy największym udziale piasku w kompozytach wahały się, w zależności od gęstości objętościowej i zawartości substancji organicznej, w granicach $1,4\text{--}17,2 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, kompozytów zaś o średnim i najmniejszym udziale piasku odpowiednio: $1,5\text{--}8,8$ i $2,9\text{--}13,9 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Pod względem wodoprzepuszczalności badane kompozyty spełniały wymagania normy DIN 18 035 stawiane utworom naturalnym służącym do budowy warstwy nośnej płyty boisk piłkarskich.

Słowa kluczowe: boisko, warstwa nośna, kompozyty, gęstość objętościowa, porowatość, wodoprzepuszczalność

WSTĘP

Jednym z elementów infrastruktury sportowo-rekreacyjnej na terenach wiejskich są boiska do piłki nożnej. Dla zapewnienia odpowiednich walorów użytkowych płyta boiska powinna spełnić określone warunki [DIN 10 035 : 1991, Rajda i Kanownik 2006, Rajda i in. 2007]. Na glebach zwięzłych, sprzyjających niekorzystnemu stagnowaniu wody na powierzchni, górna warstwa płyty, o miąższości kilkunastu centymetrów, zwana warstwą nośną, powinna charakteryzować się między innymi odpowiednią przepuszczalnością zapewniającą odprowadzenie nadmiaru wody do warstwy drenażowej połączonej z drenażem rurowym (rys. 1).

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr inż. Agnieszka Policht-Latawiec, Katedra Melioracji i Kształtowania Środowiska, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. Mickiewicza 24–28, 30-059 Kraków, e-mail: policht@ar.krakow.pl



Rys. 1. Przekrój przez płytę boiska na podłożu mało przepuszczalnym (według DIN 18 035)

Fig. 1. Cross-section of football-field layer on hardly permeable substratum (according to DIN 18 035)

Celem pracy było zbadanie wodoprzepuszczalności kilku kompozytów o różnych proporcjach gleby pyłowo-ilastej, piasku rzeczego i substancji organicznej przy zróżnicowanej gęstości objętościowej i porowatości. Badania prowadzono w aspekcie zapewnienia przez te kompozyty odpowiedniej przepuszczalności jako istotnego warunku przy budowie warstw nośnych płyt boisk do piłki nożnej. Przydatność kompozytów określono na podstawie porównania wartości ich współczynnika filtracji z zaleceniami niemieckiej normy DIN 18 035 : 1991.

MATERIAŁ I METODY

Zbadano sześć kompozytów, w których, zgodnie z przyjętym założeniem, stosunki wagowe suchej masy piasku do gleby pyłowo-ilastej i substancji organicznej powinny się kształtować w przybliżeniu jak: 95 : 4 : 1 (komp. Ia), 95 : 3 : 2 (komp. Ib), 90 : 9 : 1 (komp. IIa), 90 : 8 : 2 (komp. IIb), 85 : 14 : 1 (komp. IIIa) i 85 : 13 : 2 (komp. IIIb).

W składzie ziarnowym piasku stosowanego w kompozytach udział frakcji 0,25–2,00 mm wyniósł 97%, natomiast gleba zawierała 40% frakcji 0,05–0,02 mm i 41% frakcji mniejszej od 0,02 mm (tab. 1). Założoną, 1- i 2-procentową zawartość substancji organicznej uzyskano przez dodanie do kompozytów odpowiedniej ilości substratu torfowego o popielności ok. 15%. Pyłowo-ilastą glebę do kompozytów pozyskano z warstwy próchnicznej projektowanego boiska piłkarskiego Ludowego Klubu Sportowego „Iskra” w Głogoczowie (pow. myślenicki, woj. małopolskie).

Tabela 1. Skład granulometryczny i wskaźnik różnoziarnistości U mineralnych komponentów kompozytów oraz zawartość substancji organicznej w komponentach
 Table 1. Grain size distribution, grain size non-uniformity coefficient U , and organic matter content of mineral components of composites

Piasek – Sand			Pył ilasty – Clayey silt				
frakcja fraction		U	substancja organiczna organic matter %	frakcja fraction		U	substancja organiczna organic matter %
mm	%			mm	%		
< 0,09	0,1	1,9	0,18	< 0,002	12	2,0	2,4
0,09–0,25	3,0			0,002–0,005	3		
0,25–0,50	41,0			0,005–0,02	26		
0,50–1,00	47,0			0,02–0,05	40		
1,00–2,00	9,0			0,05–2,00	19		

W pierścieniach o objętości 100 cm^3 i przekroju $19,63 \text{ cm}^2$ z każdego kompozytu utworzono 12 próbek: po 3 dla każdego z 4 poziomów gęstości objętościowej i porowatości (łącznie 72 próbki). Gęstość minimalną (nasywową) ρ_0 uzyskano przez luźne ułożenie materiału w pierścieniach, gęstość zaś maksymalną ρ_{maks} przez mechaniczne zagęszczenie 15 uderzeniami 2-kilogramowego ubijaka spadającego swobodnie z wysokości 25 cm. Gęstości pośrednie ρ_1 i ρ_2 uzyskano poprzez przygotowanie odpowiednich naważek kompozytów i ułożenie ich w pierścieniach tak, aby ich gęstości odpowiadały w przybliżeniu $\frac{1}{3}$ różnicy ρ_{maks} i ρ_0 . Na tłoczek o średnicy równej średnicy wewnętrznej pierścienia stosowano przy tym nacisk sił statycznych $P_1 = 10 \text{ kg}$ i $P_2 = 20 \text{ kg}$. Wywierane ciśnienie wynosiło odpowiednio $p_1 = 0,509 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ i $p_2 = 1,019 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$.

Skład granulometryczny piasku oznaczono metodą sitową, a gleby i kompozytów (gleba + piasek) metodą areometryczną. Zawartość substancji organicznej w kompozytach i ich komponentach określono przez prażenie w 550°C . Wilgotność, gęstość objętościową ρ_d i gęstość właściwą ρ_s kompozytu oznaczono metodą suszarkowo-wagową w pierścieniach i metodą piknometryczną. Na tej podstawie obliczono porowatość n i wskaźnik porowatości e [Glazer i Malinowski 1991, Myślińska 2001]. Z krzywych uziarnienia ustalono średnice miarodajne d_{10} , d_{50} , d_{60} i d_{90} oraz wskaźniki uziarnienia $U = d_{60} : d_{10}$.

Współczynnik filtracji oznaczono na 25-stanowiskowym przepuszczalnościomierzu firmy Eijkelkamp (rys. 2). Dla każdej próbki wykonano po trzy pomiary przy temperaturze wody od $24,5$ do $30,0^\circ\text{C}$. Wyniki skorygowano do temperatury $t = 10^\circ\text{C}$, wykorzystując współczynniki lepkości wody Helmholtza [Ostromęcki 1964].



Rys. 2. Przepuszczalnościomierz firmy Eijkelkamp: a – elementy składowe urządzenia, b – próbki w uchwytach mocujących w zbiorniku głównym

Fig. 2. Permeability meter manufactured by Eijkelkamp: a – structural components, b – samples in holders in main container

WYNIKI

Własności fizyczne kompozytów

Według norm PN-R-04032:1998 i PN-R-04033:1998 kompozyty Ia, Ib i IIa charakteryzowały się uziarnieniem odpowiadającym piaskom luźnym, a kompozyty IIb, IIIa i IIIb – piaskom słabo-gliniastym. Analiza składu ziarnowego wykazała, że rzeczywisty udział piasku o granulacji 0,10–2,00 mm różnił się nieco od zakładanego (zob. dalej i tab. 2). W kompozytach Ia i Ib wynosił on 94%, w IIIb – 89%. Udział frakcji pyłowej o średnicy ziaren 0,05–0,002 mm wahał się od 3% w kompozytach Ia i Ib do 7% w kompozycie IIIb, natomiast frakcji iłowej ($\phi < 0,002$ mm) odpowiednio od 2 do 3%. Nieznacznie od założeń odbiegała również zawartość substancji organicznej (tab. 2).

Tabela 2. Procentowa zawartość frakcji, gatunek utworu oraz zawartość substancji organicznej w kompozytach

Table 2. Percent content of fractions, kind of deposit, and organic matter content of composites

Wyszczególnienie Item	Kompozyt – Composite						Średnia dla kompozytów Average for composites	
	I		II		III		a	b
	a	b	a	b	a	b		
Zawartość frakcji, % Fraction content, %								
< 0,002 mm	2	2	2	3	3	2	2,33	2,33
0,002–0,006 mm	1	1	2	1	2	2	1,66	1,33
0,006–0,02 mm	1	1	1	2	2	3	1,33	2,00
0,02–0,05 mm	1	1	1	1	1	2	1,00	1,33
0,05–0,10 mm	1	1	2	1	2	2	1,66	1,33
0,10–2,00 mm	94	94	92	92	90	89	92	91,66
Gatunek utworu Kind of deposit	piasek sand		piasek słabogliniasty weakly loamy sand				–	
Substancja organiczna, % Organic matter, %	0,98	2,09	0,88	1,79	1,09	2,03	0,98	1,97
średnio dla a i b average for a and b	1,54		1,34		1,56		1,48	

Średnice d_{10} i d_{90} kompozytów malały wraz ze zwiększaniem się udziału pyłu ilastego (tab. 3). Dla średnic d_{50} i d_{60} nie stwierdzono trendu malejącego, ale zdecydowanie większe wartości odnotowano w kompozytach o najmniejszej zawartości pyłu ilastego (Ia i Ib).

Na podstawie wskaźnika różnoziarnistości kompozyty Ia, Ib, IIa i IIb kwalifikowały się do utworów równoziarnistych, a kompozyty IIIa i IIIb – do różnoziarnistych [Wiłun 1987].

Tabela 3. Średnica miarodajna $d_{\%}$, wskaźnik różnoziarnistości U i stopień różnoziarnistości kompozytówTable 3. Effective grain size $d_{\%}$, grain size non-uniformity coefficient U , and grain size non-uniformity degree of composites

Kompozyt Composite	d_{10}	d_{50}	d_{60}	d_{90}	$U = d_{60} : d_{10}$	Stopień różnoziarnistości Grain size non-uniformity degree	
	mm						
I	a	0,18	0,60	0,65	0,85	3,61	równozziarnisty – uniform grained
	b	0,18	0,60	0,65	0,85	3,61	równozziarnisty – uniform grained
	średnio average	0,18	0,60	0,65	0,85	3,61	–
II	a	0,16	0,42	0,47	0,75	2,94	równozziarnisty – uniform grained
	b	0,15	0,45	0,50	0,80	3,33	równozziarnisty – uniform grained
	średnio average	0,16	0,44	0,49	0,78	3,14	–
III	a	0,10	0,52	0,57	0,75	5,70	różnoziarnisty – non-uniform grained
	b	0,09	0,45	0,50	0,70	5,55	różnoziarnisty – non-uniform grained
	średnio average	0,10	0,49	0,54	0,73	5,63	–
Średnio Average	a	0,15	0,51	0,56	0,78	4,08	–
	b	0,14	0,50	0,56	0,78	4,16	–

Średnia gęstość właściwa ρ_s badanych kompozytów była słabo zróżnicowana (2,59–2,63 g · cm⁻³) i mieściła się w granicach odpowiadających glebom mineralnym [Glazer i Malinowski 1991].

Celowo ukształtowane gęstości objętościowe oraz związana z nimi porowatość i wskaźnik porowatości były znacząco zróżnicowane. Gęstość nasypowa ρ_o wynosiła średnio 1,27 g · cm⁻³, a gęstość maksymalna ρ_{maks} – 1,70 g · cm⁻³. W tym przedziale mieściły się gęstości ρ_1 i ρ_2 (tab. 4). Adekwatnie do nich kształtowała się porowatość, przyjmując najmniejszą wartość przy największej gęstości objętościowej i największą przy gęstości nasypowej; podobnie zachowywał się wskaźnik porowatości, który przy maksymalnym zagęszczeniu stosowanym w eksperymencie był prawie dwukrotnie mniejszy niż przy gęstości nasypowej (tab. 4).

W zależności od proporcji komponentów w kompozytach wystąpiły nieznaczne tendencje zmian omawianych własności fizycznych. Maksymalna zawartość pyłu ilastego zaznaczyła się, w porównaniu z kompozytami I i II, znikomym zmniejszeniem średniej gęstości objętościowej kompozytu III (tab. 4). Tym samym w kompozycie III w porównaniu z I i II odnotowano nieco większą porowatość i większy wskaźnik porowatości.

Na własności fizyczne kompozytów wpływ miała też zawartość substancji organicznej. Większy jej udział zaznaczył się niewielkim obniżeniem gęstości objętościowej oraz minimalnym zwiększeniem porowatości i wskaźnika porowatości (tab. 4).

Tabela 4. Wartości średnie niektórych (współzależnych) własności fizycznych kompozytów
 Table 4. Average values of some (interrelated) physical properties of composites

Kompozyt Composite	Gęstość objętościowa Bulk density ρ , $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	Porowatość Porosity n , %	Wskaźnik porowatości Porosity index e
I (a i b) I (a and b)	ρ_o	1,30	1,011
	ρ_1	1,47	0,778
	ρ_2	1,55	0,687
	ρ_{\max}	1,69	0,543
	średnio – average	1,50	42,4
II (a i b) II (a and b)	ρ_o	1,25	1,070
	ρ_1	1,51	0,720
	ρ_2	1,55	0,689
	ρ_{\max}	1,69	0,533
	średnio – average	1,50	42,2
III (a i b) III (a and b)	ρ_o	1,26	1,075
	ρ_1	1,48	0,765
	ρ_2	1,50	0,742
	ρ_{\max}	1,72	0,521
	średnio – average	1,49	43,0
a (I–III)	ρ_o	1,29	1,026
	ρ_1	1,50	0,744
	ρ_2	1,56	0,676
	ρ_{\max}	1,72	0,519
	średnio – average	1,52	41,9
b (I–III)	ρ_o	1,26	1,078
	ρ_1	1,48	0,765
	ρ_2	1,51	0,728
	ρ_{\max}	1,69	0,546
	średnio – average	1,49	43,2
a i b (I–III) a and b (I–III)	ρ_o	1,27	1,052
	ρ_1	1,49	0,755
	ρ_2	1,53	0,702
	ρ_{\max}	1,70	0,532
	średnio – average	1,49	40,8

Przepuszczalność kompozytów

Średnia wartość współczynnika filtracji K_{10} badanych kompozytów zmniejszyła się z ok. $10,8 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ przy gęstości nasypowej równej $1,32 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ i maksymalnej porowatości równej 51,2% do $4,0 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ przy gęstości maksymalnej $1,70 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ i minimalnej porowatości 34,7%, które uzyskano pod wpływem mechanicznego zagęszczania (tab. 5).

Tabela 5. Wartości średnie własności fizycznych i współczynnika filtracji K_{10} kompozytów
 Table 5. Average values of physical properties and permeability coefficient K_{10} of composites

Własności fizyczne Physical properties			Współczynnik filtracji K_{10} Permeability coefficient K_{10} $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$						Średnio K_{10} dla I–III Average K_{10} for I–III		
			I		II		III				
gęstość objęto- ściowa bulk density $\rho, \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	porowatość porosity $n, \%$	wskaźnik porowatości porosity index e	a	b	a	b	a	b	a	b	a i b a and b
$\rho_o = 1,27$	51,2	1,052	17,2	7,7	8,8	5,6	11,8	13,9	12,6	9,1	10,8
$\rho_1 = 1,49$	42,9	0,755	15,0	7,2	5,4	1,6	6,4	4,4	8,9	4,4	6,7
$\rho_2 = 1,53$	41,2	0,702	10,2	1,4	8,6	1,5	5,1	6,9	8,0	3,3	5,6
$\rho_{\text{max}} = 1,70$	34,7	0,532	9,4	1,4	3,4	2,6	2,9	4,0	5,2	2,7	4,0
			średnio – average								
$\rho_{\text{sr}} = 1,49$	$n_{\text{sr}} = 40,8$	$e_{\text{sr}} = 0,760$	13,0	4,4	6,6	2,8	6,5	7,3	8,7	4,9	
			8,7		4,7		6,9		6,8		

Substancję organiczną dodawano do kompozytów w małych ilościach. Wpłynęło to na zmniejszenie wodoprzepuszczalności mimo nieznacznego obniżenia gęstości objętościowej i zwiększenia porowatości kompozytów. Wpływ wyraził się średnio w doświadczeniu zmniejszeniem K_{10} z $8,7 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ przy średnim udziale substancji organicznej równym 0,98% suchej masy kompozytu do $4,9 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ przy udziale równym 1,97% (zob. tab. 5 i tab. 2). Przy gęstości nasypowej, pod wpływem zwiększonej zawartości substancji organicznej współczynnik K_{10} obniżył się średnio o ok. 28%, natomiast przy gęstościach większych wpływ ten zaznaczył się ok. 50–59-procentowym zmniejszeniem wartości K_{10} (tab. 5), mimo że średnia gęstość objętościowa zmniejszyła się nieznacznie przy adekwatnym zwiększeniu się porowatości kompozytów (tab. 4).

Dla przyjętych gradacji składu ziarnowego wpływ zmniejszającego się udziału frakcji piaskowej w kompozytach był niewielki. W kompozycie I, o największym udziale piasku, wartość współczynnika K_{10} średnio dla obu wariantów substancji organicznej była największa i wynosiła $8,7 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, ale wartość najmniejszą, równą średnio $4,7 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, odnotowano w kompozycie II o 92-procentowej zawartości piasku, a nie, jak można by przypuszczać, w kompozycie III o najmniejszym, 89-procentowym udziale piasku. W kompozycie tym współczynnik K_{10} był nieco większy niż w kompozycie II, ale mniejszy niż w kompozycie I (tab. 5). Zwraca przy tym uwagę to, że średnia porowatość kompozytu III była minimalnie większa, a gęstość objętościowa mniejsza w porównaniu z kompozytami I i II (tab. 4).

Jest również widoczne (tab. 5), że w kompozycie III wpływ zwiększonego udziału substancji organicznej różnił się od analogicznego wpływu w kompozytach I i II. W tych ostatnich odnotowano wyraźne zmniejszenie K_{10} dla wszystkich wariantów gęstości i porowatości, a w kompozycie III wystąpiło ono tylko dla gęstości ρ_1 i porowatości n_1 ;

w pozostałych wariantach p i n wartość K_{10} w tym kompozycie nieznacznie się zwiększyła (tab. 5). Może to być skutkiem błędu pomiaru albo niewielkiego zróżnicowania poziomu zmiennych czynników eksperymentu. Wyjaśnienia tej kwestii należy oczekiwać w dalszych badaniach uwzględniających zmniejszenie w kompozytach udziału frakcji piaskowej.

PODSUMOWANIE

Sztucznie ukształtowane gęstości objętościowe i porowatości kompozytów zmieniały się nieznacznie pod wpływem różnych proporcji piasku do gleby pyłowo-ilastej oraz pod wpływem zmiany zawartości substancji organicznej; kompozyty o większym udziale tych komponentów miały tylko minimalnie mniejszą gęstość objętościową i minimalnie większą porowatość.

Badane kompozyty cechowały się przepuszczalnością co najmniej o jeden rząd większą od wartości $0,3 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ zalecanej w niemieckiej normie DIN 18 035; pod tym względem kompozyty spełniały w nadmiarze wymagania materiału stosowanego do budowy warstwy nośnej płyt boisk piłkarskich na gruntach zwięzłych.

Średnie wartości współczynników filtracji kompozytów zmieniały się wyraźnie i jednokierunkowo pod wpływem rosnącej porowatości i malejącej gęstości objętościowej, przy czym zmiany zachodziły w obrębie tego samego rzędu wartości.

Zmiany współczynnika filtracji w zależności od porowatości i gęstości objętościowej były dla poszczególnych kompozytów różne co do wielkości; ponadto przy stosowanej gradacji udziału komponentów w kompozytach zachodziły one nie zawsze w tym samym kierunku.

Zmniejszenie udziału piasku i zwiększenie zawartości substancji organicznej nieznacznie obniżyło wartość współczynnika filtracji, ale nie we wszystkich kompozytach zmiany były jednokierunkowe.

Uzyskane wyniki wskazują na celowość dalszych badań, w których należy uwzględnić mniejszy udział piasku, tak aby uzyskać przepuszczalność uwzględniającą natężenie opadów w danym regionie; obniżyłoby to koszty, gdyż piasek jest w tym wypadku kosztotwórczym materiałem budowlanym obcego pochodzenia.

PIŚMIENNICTWO

- DIN 18 035 : 1991 Sportplätze, Teil 4 Rasenflächen
Glazer Z., Malinowski J., 1991. Geologia i geotechnika dla inżynierów budownictwa. PWN Warszawa.
Myślińska E., 2001. Labaratoryjne badania gruntów. PWN Warszawa.
Ostromięcki J., 1964. Wstęp do melioracji rolnych. PWRiL Warszawa.
PN-R-04032 : 1998 Gleby i utwory mineralne. Pobieranie próbek i oznaczanie składu granulometrycznego
PN-R-04033 : 1998 Gleby i utwory mineralne. Podział na frakcje i grupy granulometryczne
Rajda W., Kanownik W., 2006. Retencja użyteczna warstwy nośnej i drenażowej płyty boiska do piłki nożnej. Acta Sci. Pol., Architectura 5(2), 65–74.

- Rajda W., Policht A., Zięba A., 2007. The effect of physical properties on water permeability of sand and silty soil composites. *Acta hort. regiotec.* 10, 1, 205–211.
- Wiłun Z., 1987. *Zarys geotechniki*. WKiŁ Warszawa.

TESTING WATER PERMEABILITY OF SILT-CLAYEY SOIL, SAND AND PEAT SUBSTRATE COMPOSITES

Abstract. Six composites with four levels of bulk density and porosity, formed of river sand, silt-clayey soil and peat substrate, were examined for water permeability. The tests were aimed to determine their usefulness for constructing the carrying layer of football fields. The water permeability (permeability coefficients) and selected physical properties of the composites were investigated using standard methods. The average values of permeability coefficients at the largest proportion of sand in the composites ranged from 1.4 to 17.2 mm · min⁻¹, and at the medium and smallest share of sand, it was of 1.5–8.8 to 2.9–13.9 mm · min⁻¹, respectively, depending on bulk density and organic matter content. Considering water permeability, the composites met the requirements of the DIN 18 035 standard for natural deposits used for constructing a football field's carrying layer.

Key words: football field, carrying layer, composites, bulk density, porosity, water permeability

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 21.11.2007