INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr III/1/2014, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 1017–1029
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

DOI: http://dx.medra.org/10.14597/infraeco.2014.3.1.075

JAK ZBUDOWAĆ PŁYTĘ TRAWIASTEGO BOISKA PIŁKARSKIEGO CZ. II. WODOPRZEPUSZCZALNOŚĆ KOMPOZYTÓW GRUNTOWYCH W ASPEKCIE PRZYDATNOŚCI DO BUDOWY WARSTWY NOŚNEJ

Tomasz Kowalik, Włodzimierz Rajda
Uniwersytet Rolniczy im H. Kołłątaja w Krakowie

HOW TO CONSTRUCT A TURF COVERED FOOTBALL PITCH. PART 2. WATER PERMEABILITY OF REINFORCED SOIL COMPOSITES IN VIEW OF THEIR SUITABILITY FOR CONSTRUCTING THE CARRYING LAYER

Streszczenie

Praca zawiera wyniki oznaczeń składu granulometrycznego, gęstości właściwej i objętościowej, porowatości oraz współczynników filtracji 3 kompozytów o różnych proporcjach piasku grubego do gliny pylastej, o zróżnicowanych zawartościach substancji organicznej. Kompozyty tworzono i badano w aspekcie możliwości dostosowania do budowy warstwy nośnej płyty boiska piłkarskiego i porównano je, pod względem uziarnienia i wodoprzepuszczalności, z wymaganiami normy DIN 18035. Stwierdzono, że krzywe uziarnienia kompozytów o skrajnych – największej i najmniejszej zawartości piasku w pewnych obszarach przedziału normatywnego odbiegały nieco od wymagań normy. Najbardziej dostosowanym do normy pod względem uziarnienia był kompozyt o średniej zawartości piasku. Wartości współczynników filtracji kompozytów silniej zagęszczonych (to jest o mniejszej porowatości), przy relatywnie niższych wartościach, zależały od uziarnienia – w przeciwieństwie do osiągających większe wartości współczynników, które od uziarnienia nie zależały, uzyskanych przy analogicznym uziarnieniu i mniejszym zagęszczeniu. Badania wykazały, że wszystkie badane kompozyty spełniały pod względem wodoprzepuszczal-

ności wymaganie normy, przy czym graniczną wartość dopuszczalną spełniał silniej zagęszczony kompozyt o największej zawartości gliny pylastej.

Słowa kluczowe: uziarnienie, gęstość właściwa i objętościowa, porowatość, współczynnik filtracji

Summary

The paper contains results of assessments of granulometric composition, specific and bulk density, porosity and permeability coefficients of 3 composites with different coarse sand to silt loam proportions, each with 2 slightly diversified variants of organic substance content. The composites were made and tested regarding their potential applications for constructing the carrying layer of a football pitch and were compared, concerning their granulation and water permeability, with DIN 18035 standard. It was determined that the size distribution curve of the composites with the extreme, i.e. the biggest and the smallest content of sand in some areas of standard interval differed slightly from the standard requirements. The composite best adjusted to the standard with regard to granulation was the composite with an medium content of sand. Values of permeability coefficients for more compact composites (i.e. of smaller porosity), at relatively lower values depended on granulation – unlike these which reached higher values of the coefficients, independent of the granulation, obtained at an analogous granulation but lesser cvompaction. The investigations demonstrated that all tested composites satisfied the requirements of water permeability standards, however the limit permissible value was satisfied by even the most compacted composite with the highest content of silt loam.

Key words: *granulation, specific and bulk density, porosity, permeability coefficient*

WPROWADZENIE

Jednym z warunków dobrej płyty boiska piłkarskiego jest sprawne odprowadzanie nadmiaru wody opadowej do warstwy drenażowej i drenów. Dlatego płyta taka powinna być zbudowana warstwowo [Adams, W.A. 1996, Kowalik T., Rajda W., 2013, Rajda i inni 2011, Żegocińska–Tyżuk B. 1988], a zalegająca na powierzchni warstwa nośna o miąższości kilkunastu centymetrów, powinna cechować się dobrą wodoprzepuszczalnością. Na gruntach zwięzłych do jej budowy powinno się stosować kompozyty o uziarnieniu gwarantującym spełnienie tego warunku [James I.T. i inni 2007, Pereira J.O. 2007, Milivojević J. 2011, Policht-Latawiec A. 2008].

W pracy przedstawiono wyniki badań niektórych własności fizycznych i wodoprzepuszczalności kompozytów utworzonych z gliny pylastej pobranej z poziomu próchnicznego na terenie projektowanego boiska w miejscowości Mucharz, oraz z gruboziarnistego piasku i dodatku substratu torfowego (fot. 1).

Źródło: Opracowanie własne

Fotografia. 1. Składniki kompozytów.
Photo 1. Components of the composites

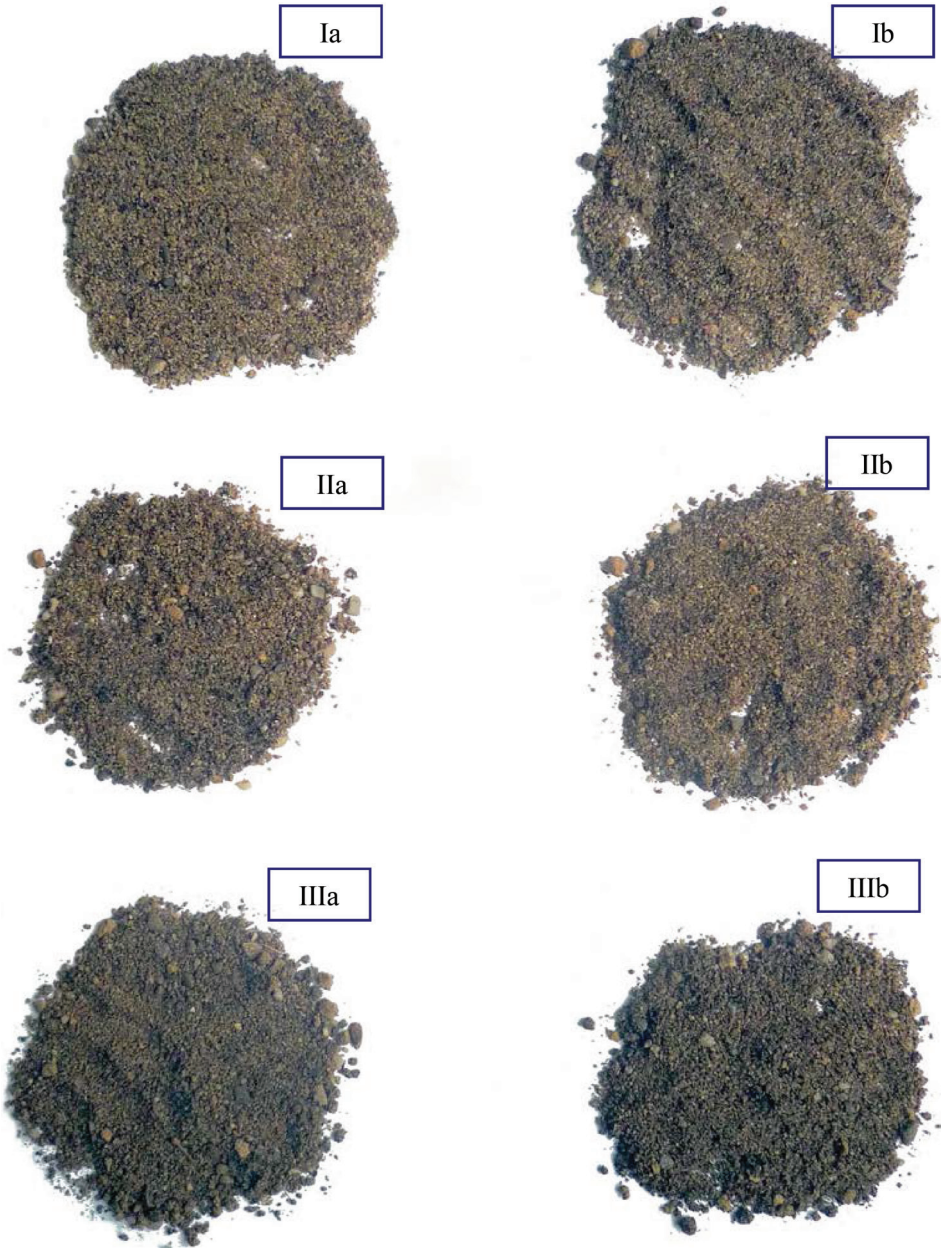
TWORZENIE I BADANIE KOMPOZYTÓW

Zaplanowano utworzenie 3 kompozytów o przewadze piasku w dwóch poziomach zawartości substancji organicznej (tab. 1, fot. 2).

Tabela 1. Planowany skład kompozytów
Table 1. Planned composition of the composites

Kompozyt	Procentowa zawartość komponentów		
	Piasek	Glina pylasta (grunt rodzimy)	Substrat torfowy
Ia	90	8	2
Ib	90	7	3
IIa	80	18	2
IIb	80	17	3
IIIa	70	28	2
IIIb	70	27	3

Źródło: Opracowanie własne



Źródło: Opracowanie własne

Fotografia 2. Kompozyty
Photo 2. Composites

Z piasku odsiano frakcje o średnicach powyżej 5,0 mm, bo przy stosunkowo małej objętości próbek, własności fizyczne kompozytów mogły ulec zniekształceniu. Piasek o małej (3%) zawartości frakcji o średnicach mniejszych od 0,25 mm miał uziarnienie równomierne (U=2,1). Drugi komponent kwalifikował się do glin pylastych o uziarnieniu nierównomiernym (U=12,5). Udział frakcji o średnicach mniejszych od 0,05 mm stanowił w nim 88 %, w tym 58% to frakcje w przedziale od 0,05 mm do 0,005 mm, a 15% – frakcje mniejsze od 0,002 mm (tab. 2).

Skład ziarnowy zarówno kompozytów jak i komponentów mineralnych oznaczono metodą sitową oraz metodą areometryczną Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego, zaś gęstość właściwą kompozytów – metodą piknometryczną [Kowalik T., Rajda W. 2013, Oleszczuk R., Truba M. 2013].

Do badań własności fizycznych i przepuszczalności utworzono, w pierścieniach o objętości 100 cm^3 i średnicy 50 mm, 18 próbek kompozytów (po 3 powtórzenia). Próbki zagęszczono wstępnie pod ciśnieniem p_1=12 $N \cdot cm^{-2}$ stosując, dla przekroju f = 19,63 cm^{-2}, obciążenie P_1 = 24 kg.

Tabela 2. Skład granulometryczny, współczynnik nierównomierności uziarnienia (U), wilgotność i substancja organiczna komponentów

Table 2. Granulometric composition, non-uniformity coefficient of grain size distribution (U), moisture and organic substance of components

Piasek					Grunt rodzimy					Substrat torfowy	
Frakcje w mm	%	U= d_{60}:d_{10}	org.* % s.m.	Wilgot. % s.m.	Frakcje mm	%	U= d_{60}:d_{10}	org.* % s.m.	Wilg. % s.m.	org.* % s.m.	Wilgot. % s.m.
<0,09	1	2,1	0,58	0,45	<0,002	15	12,5	2,50	20,6	74,79	57,35
0,09-0,25	2				0,002-0,005	12					
0,25-0,50	22				0,005-0,02	27					
0,50-1,00	52				0,02-0,05	31					
1,00-2,00	15				0,05-0,10	8					
2,00-5,00	8				0,10-1,00	7					

***** – substancje organiczne

Źródło: Opracowanie własne

Po zagęszczeniu objętość próbek zmierzono w celu oznaczenia gęstości objętościowej i porowatości. Przed pomiarem współczynników filtracji (w przepuszczalnościomierzu laboratoryjnym), próbki nasączano do stanu maksymalnej pojemności kapilarnej. Po oznaczeniu współczynników filtracji próbki wy-

suszono w temperaturze pokojowej i powtórnie zagęszczono pod ciśnieniem $p_2 = 78\ N \cdot cm^{-2}$, po czym ponownie zmierzono ich objętość, obliczono porowatość i oznaczono współczynniki filtracji. Współczynniki filtracji sprowadzono – uwzględniając lepkość wody według Helmholtza [Kowalik T., Rajda W. 2013, Deutsche Norm 1991] – do wartości odpowiadającej temperaturze wody podczas pomiaru t=10^{o}C.

Tabela 3. Uziarnienie kompozytów
Table 3. Granularity composites

Frakcje	Kompozyty					
	Ia	Ib	IIa	IIb	IIIa	IIIb
< 0,002	3	1	4	4	5	4
0,002 – 0,005	1	2	2	1	4	5
0,006 – 0,02	0	1	4	4	10	7
0,03 – 0,05	2	1	2	2	6	5
0,06 – 0,10	2	2	2	3	2	3
0,11 – 0,25	5	7	7	6	3	3
0,26 – 0,50	24	25	23	21	20	21
0,51 – 1,00	49	44	46	44	39	39
1,01 – 2,00	10	11	8	11	9	9
2,01 – 5,00	4	6	2	4	2	4
Gatunek*/	pl		ps		pgm	

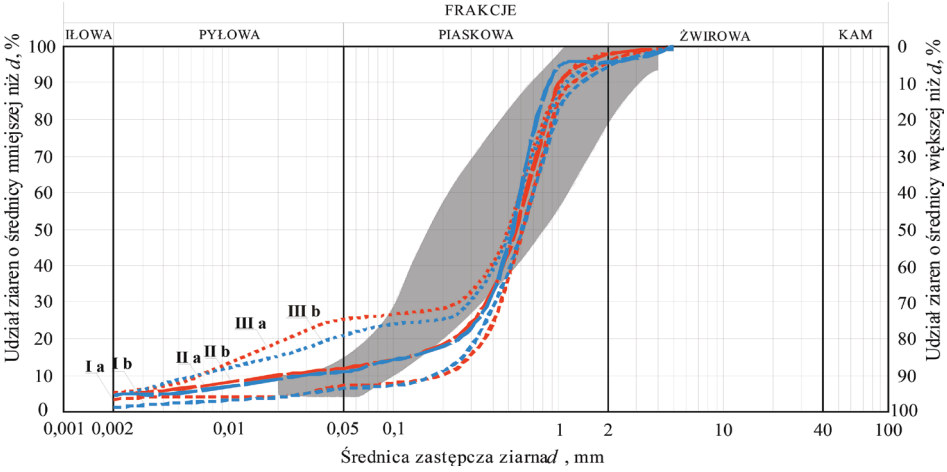
*/ pl – piasek luźny, ps – piasek słabo gliniasty,
pgm – piasek gliniasty mocny
Źródło: Opracowanie własne

WYNIKI BADAŃ

Kompozyty nieznacznie różniły się w stosunku do uziarnienia planowanego. Kompozyty Ia i Ib zawierały, w stosunku do założeń, o 2 i 3 punkty procentowe mniej frakcji od 0,10 mm, kompozyty IIa i IIb – o 6 punktów procentowych mniej, a kompozyty IIIa i IIIb – odpowiednio mniej tych samych frakcji o 3 i 6 punktów procentowych (por. tab. 2 i 3). Tym samym zawartość piasku w kompozytach była nieco większa od zakładanej – przede wszystkim w zakresie frakcji 0,50-1,00 mm i częściowo 0,25-0,50 mm. Kompozyty Ia i Ib zaliczały się do piasków luźnych (pl), natomiast kompozyty IIa i IIb oraz IIIa i IIIb odpowiednio do piasków słabo gliniastych (psg) i piasków gliniastych mocnych (pgm). Zawartość substancji organicznej w kompozytach IIa i IIb oraz IIIa i IIIb była większa od zakładanej o 0,6 do 0,8 punktów procentowych.

Największą zgodność z przedziałem uziarnienia normatywnego wykazały kompozyty IIa i IIb (rys. 1). Kompozyty Ia i Ib zawierały, w stosunku do dolnej

granicy przedziału uziarnienia normatywnego, od kilku do ponad 10% mniej frakcji 0,1-0,5 mm, zaś kompozyty IIIa i IIIb o 5-10% więcej frakcji o średnicach mniejszych od 0,05 mm w stosunku do granicy górnej (rys. 1).



Źródło: Opracowanie własne

Rysunek 1. Krzywe uziarnienia kompozytów i przedział uziarnienia normatywnego
Figure 1. Grain size distribution curves of composites and normative grain size distribution interval

Tabela 4. Średnice zastępcze d_n w mm, wskaźniki i stopień różnoziarnistości kompozytów
Table 4. Equivalent diameters d_n in mm, coefficients and degree of composite non-uniformity of grain size distribution

Kompozyt	Miarodajne średnice zastępcze			Stopień różnoziarnistości $U=d_{60}:d_{10}$	
	d_{10}	d_{60}	d_{90}		
Ia	0,20	0,70	1,25	3,5	Kompozyty
Ib	0,18	0,70	1,25	3,9	równoziarniste
IIa	0,020	0,68	1,00	34	Kompozyty
IIb	0,025	0,68	1,25	27	bardzo różnoziarniste
IIIa	0,006	0,61	1,20	102	Kompozyty
IIIb	0,006	0,55	1,20	92	bardzo różnoziarniste

Źródło: Opracowanie własne

Efektem zróżnicowania uziarnienia były duże różnice miarodajnych średnic zastępczych d_{10} kompozytów I, II i III, znacznie mniejsze różnice średnic d_{60} i minimalne lub żadne w przypadku d_{90}. Wystąpiły też duże różnice współczynnika nierównomierności uziarnienia, na podstawie którego kompozyty Ia i Ib zaliczały się do utworów równoziarnistych, pozostałe cztery do bardzo różnoziarnistych (tab. 4).

Tabela 5. Niektóre własności fizyczne kompozytów
Table 5. Some physical properties of composites

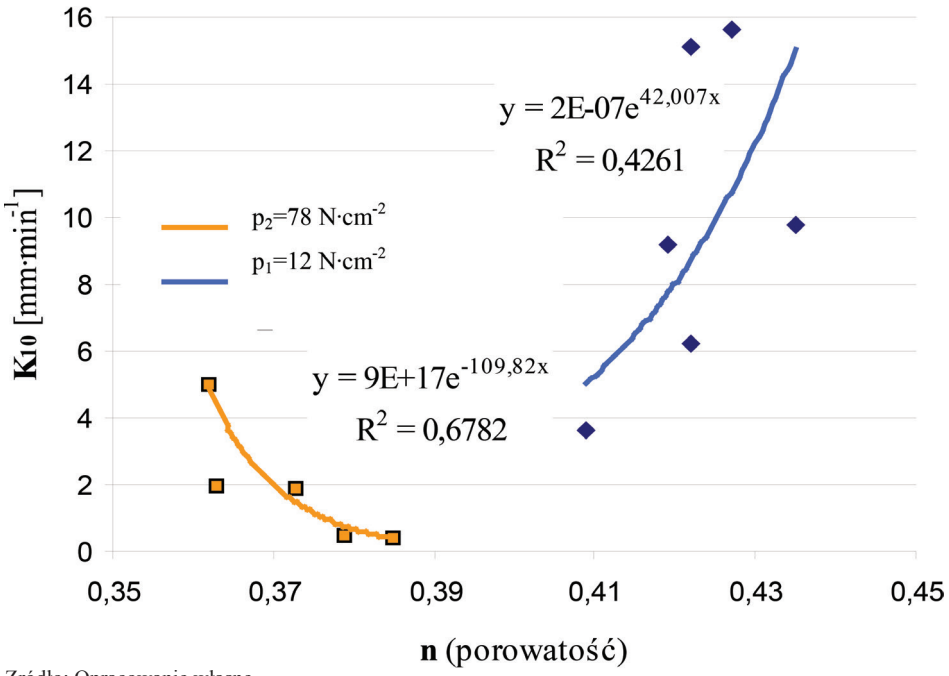
Kompozyt	Gęstość właściwa ρ	Gęstość objętościowa ρ_s, dla:		Porowatość ogólna n, dla:		Wskaźnik porowatości e, dla:	
		p_1	p_2	p_1	p_2	p_1	p_2
Ia	2,60	1,51	1,66	41,9	36,2	0,72	0,57
Ib	2,60	1,49	1,64	42,7	36,9	0,74	0,59
Średnio Ia, Ib	2,60	1,50	1,65	42,3	36,5	0,73	0,58
IIa	2,58	1,48	1,63	42,2	36,3	0,73	0,57
IIb	2,60	1,47	1,63	43,5	37,3	0,77	0,60
Średnio IIa, IIb	2,59	1,48	1,63	42,8	36,8	0,74	0,58
IIIa	2,61	1,51	1,62	42,2	37,9	0,73	0,61
IIIb	2,57	1,52	1,58	40,9	38,5	0,69	0,63
Średnio IIIa, IIIb	2,59	1,52	1,60	41,6	38,2	0,70	0,62

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 6. Współczynniki filtracji K_{10} [mm·min^{-1}] kompozytów zagęszczonych pod ciśnieniem p_1 i p_2 (średnie z 3 powtórzeń)
Table 6. Permeability coefficients K_{10} [mm·min^{-1}] of composites compacted under pressure p_1 and p_2 (means for three replications)

Zagęszczenia pod ciśnieniem	Współczynnik filtracji K_{10} kompozytu							
	I		II		III		Średnio I-III	
	a	b	a	b	a	b	a	b
p_1=12 N·cm^{-2}	9,2	15,6	15,1	9,8	6,2	3,6	10,2	9,7
średnio	12,4		12,45		4,9		9,95	
p_2=78 N·cm^{-2}	5,0	6,8	1,9	1,8	0,4	0,4	2,4	3,0
średnio	5,9		1,85		0,4		2,7	

Źródło: Opracowanie własne



Zródło: Opracowanie własne

Rysunek 2. Związki współczynnika filtracji i porowatości ogólnej różnie zagęszczonych kompozytów
Figure 2. Relationships of permeability and total porosity coefficient of differently compacted composites

Wraz ze wzrostem udziału frakcji pylastych i ilastych, przy zagęszczeniu kompozytów pod ciśnieniem p_1, zróżnicowane uziarnienie nie wpłynęło wyraźnie na gęstość objętościową i porowatość.

Oba parametry uległy jednak zmianie, co jest oczywiste, pod wpływem zwiększonego ciśnienia (zagęszczania p_2), przy tym w kompozytach silniej zagęszczanych odnotowano, wraz ze wzrostem udziału frakcji drobniejszych nieznaczny, ale systematyczny spadek gęstości objętościowej i niewielki wzrost porowatości ogólnej (tab. 5).

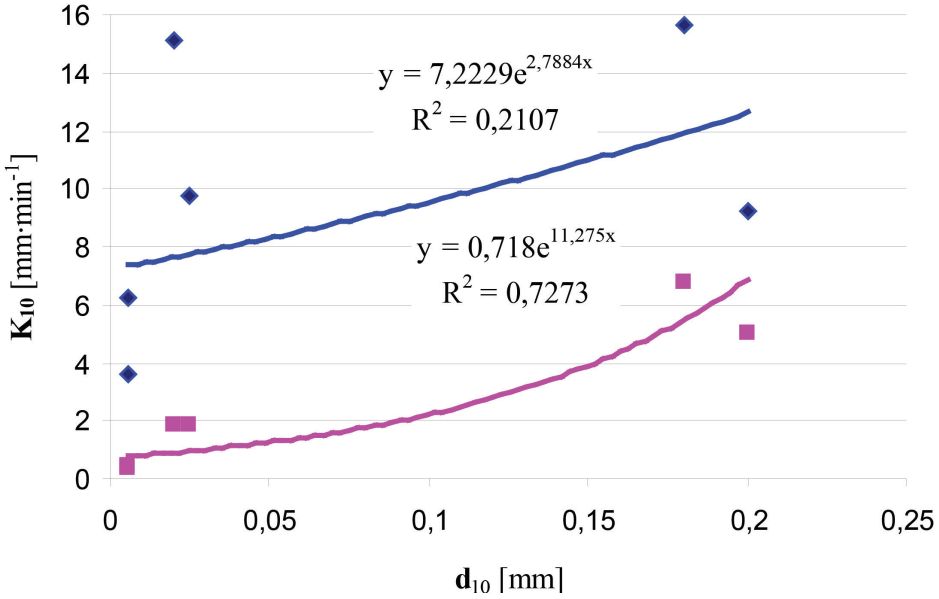
Obniżanie udziału piasku oraz wzrost frakcji pylastych i ilastych pochodzących z domieszki gliny pylastej spowodowało zmniejszenie współczynnika przepuszczalności (K_{10}) – szczególnie przy zagęszczeniu pod ciśnieniem p_2=78 N·cm^{-2} powodującym istotne obniżenie porowatości (tab. 5) i zmniejszenie rozmiaru porów. Przy największym udziale gliny pylastej i największej nierównomierności uziarnienia (kompozyty IIIa i IIIb), współczynnik filtracji K_{10} po

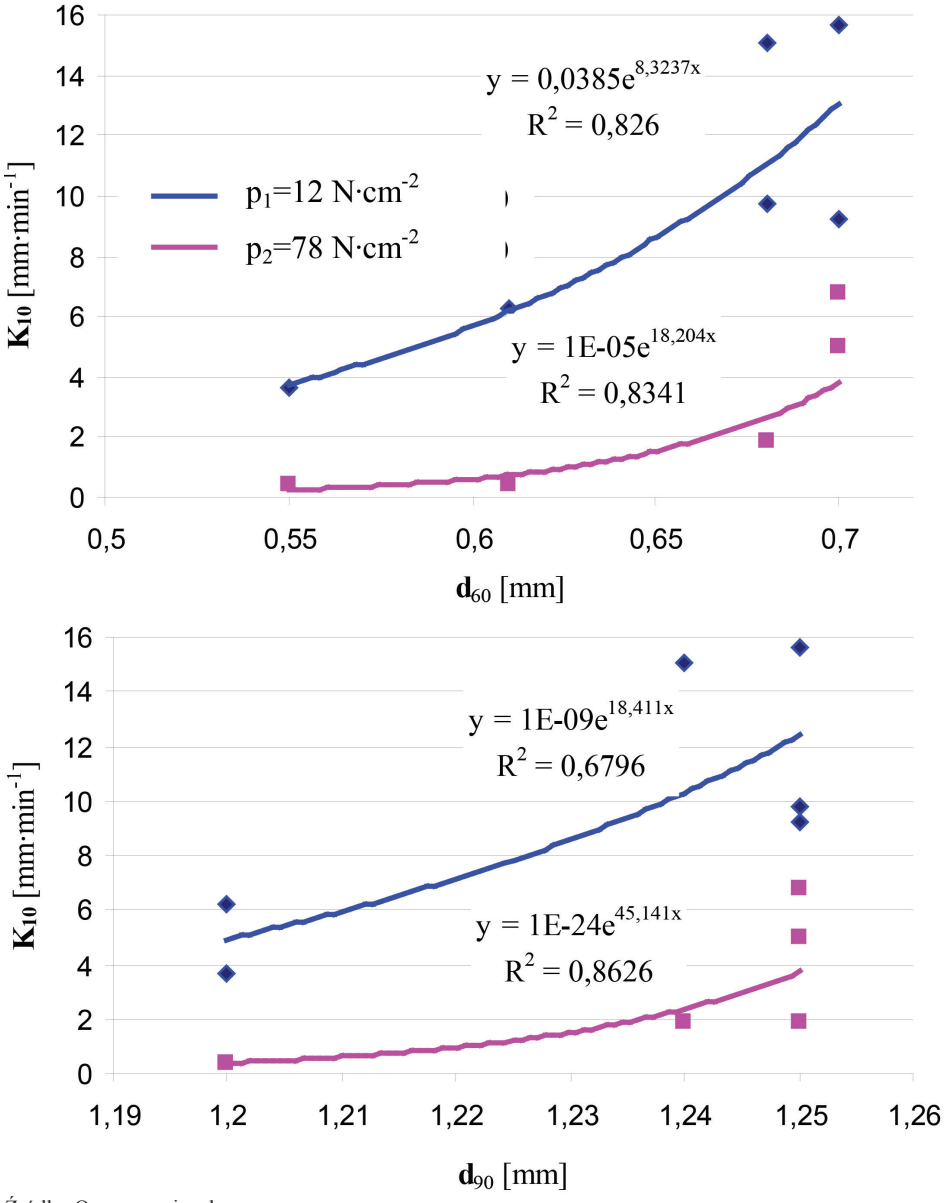
zagęszczeniu pod ciśnieniem p_1=12 N·cm^{-2} zmniejszył się, średnio dla wariantu a i b, o około 2,5-krotne w porównaniu z kompozytami I i II (tab. 6). Natomiast po zagęszczeniu pod ciśnieniem p_2=78 N·cm^{-2} przy tych samych relacjach uziarnienia zmniejszył się on prawie 15-krotne w porównaniu do średniej dla kompozytów Ia i Ib i około 4,5-krotnie w porównaniu do kompozytów IIa i IIb (tab. 6). Dla kompozytów IIIa i IIIb osiągnął on wartość 0,4 mm·min^{-1} – zbliżoną do najmniejszej dopuszczalnej według normy (0,3 mm·min^{-1}) [Deutsche Norm 1991].

Zwiększenie zawartości substancji organicznej, średnio z około 2,5% (wariant *a* kompozytów) do ponad 3,5% (wariant *b*), przy zagęszczeniu pod ciśnieniem p_1=12 N·cm^{-2} zaznaczyło się, średnio dla kompozytów I-III, nieznacznym obniżeniem współczynnika filtracji, występującym wyraźnie u kompozytów II i III, zaś przy ciśnieniu zagęszczania p_2 = 78 N·cm^{-2} nastąpił nieznaczny wzrost współczynnika, widoczny jednak tylko w przypadku kompozytu I (tab. 6).

Współczynniki filtracji kompozytów o większym zagęszczeniu p_2 (mniejsza porowatość), chociaż osiągały wartości niższe niż przy zagęszczeniu mniejszym p_1, były, w stopniu statystycznie zadawalającym zależne od uziarnienia (współczynnik determinacji R^2 = 0,6782) – w przeciwieństwie do osiągających relatywnie większe wartości współczynników przy analogicznym uziarnieniu i mniejszym zagęszczeniu kompozytów, dla których zależność ta (R^2 = 0,4261) była statystycznie niezadowalająca (rys. 2).

Współczynnik filtracji zależał też od miarodajnych średnic zastępczych (rys. 3), przy tym statystycznie najsilniejsza zależność, określana jako „dobra" wystąpiła, w obu wariantach zagęszczenia, przy średnicach d_{60}. Silniejszy wpływ średnic miarodajnych ujawnił się dla kompozytów bardziej zagęszczonych (rys. 3)





Źródło: Opracowanie własne

Rysunek 3. Związki współczynników filtracji z miarodajnymi średnicami zastępczymi kompozytów (d_{10}, d_{60} i d_{90})
Figure 3. Relationships of permeability coefficients with effective equivalent diameters of the composites (d_{10}, d_{60} i d_{90}).

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych doświadczeń stwierdzono, że:

1. W przypadku zastosowania kompozytów o różnym uziarnieniu i zagęszczeniu, możliwe jest w warstwy nośnej kształtowanie jej wodoprzepuszczalności, stosownie do wymaganego czasu osączenia wody z płyty boiska.
2. Na wodoprzepuszczalność kompozytów wpływało, przede wszystkim, zagęszczenie; wpływ uziarnienia zaznaczył się siniej przy większym ciśnieniu zagęszczania.
3. Zwiększenie zawartości substancji organicznej z 2,5% do ponad 3,5% nie wywierało wyraźnego wpływu na wodoprzepuszczalność.
4. Badane kompozyty spełniały wymagania normy DIN 18035 dotyczące wodoprzepuszczalności warstwy nośnej boiska; spełniały je nawet kompozyty IIIa i IIIb o największym udziale gliny pylastej, zagęszczone pod ciśnieniem 78 $N \cdot cm^{-2}$.

LITERATURA

Adams, W.A. (1996). Recommendations on the construction, upgrading and maintenance of natural turf pitches for winter games. Natural Turf Pitch Prototypes Advisory Panel Report No. 11, Sports Council.

DEUTSCHE NORM, DIN 18035, cz. 4. Sportplätze. Rasenflächen, Teil 4, 1991.

Głąb T., Gondek K. (2013). The Influence of Soil Compaction on Chemical Properties of Mollic Fluvisol Soil under Lucerne (Medicago sativa L.). Polish Journal of Environmental Studies, 22 (1), 107-113.

James I.T., Hann M.J., Godwin R.J. James I.T., Hann M.J., Penn A., Godwin R.J., Dresser M.L. (2007). Minimisation of leg-slot expansion in mole-drained sports surfaces. Biosystems Engineering, 97, 109-116.

Kowalik T., Rajda W., (2013). Jak zbudować płytę boiska piłkarskiego o trawiastym poroście – Część I: Badanie przydatności gruntu rodzimego do budowy płyty boska. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 1/IV, 271–284.

Milivojević J., Nikezic D., Krstic D., Jelic M., Đalović I. (2011). Influence of Physical-Chemical Characteristics of Soil on Zinc Distribution and Availability for Plants in Vertisols of Serbia. Polish Journal of Environmental Studies, 20(4), 993-1000.

Oleszczuk R., Truba M. (2013). The analysis of some physical properties of drained peat-moorsh soil Layers. Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Land Reclamation No 45 (1), 41–48

Pereira J.O., Défossez P., Richard G. (2007). Soil susceptibility to compaction by wheeling as a function of some properties of a silty soil as affected by the tillage system. European Journal of Soil Science 58 (1), 34–44.

Policht-Latawiec A. (2008). Badanie wodoprzepuszczalności kompozytów gleby pyłowo-ilastej, piasku i substratu torfowego. Acta Scientiarum Polonorum, Formatio Circumiectus, 7 (4), 21–30.

Rajda W., Stachura T., Żarnowiec W. (2011). Własności fizyczne i przesiąkliwość kompozytu warstwy nośnej i piasku warstwy drenażowej płyty boiska Wisły Kraków S.A. po przebudowie w 2004 r. Acta Sci. Pol., Architektura 10 (1), 31-41.

Żegocińska–Tyżuk B. Terenowe urządzenia sportowo rekreacyjne. Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków, 1988.

dr inż. Tomasz Kowalik
tel. 12 662 41 48
rmkowali@cyf-kr.edu.pl
prof. dr hab. inż. Włodzimierz Rajda
tel. 12 662 40 01
rmrajda@cyf-kr.edu.pl
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
Katedra Melioracji I Kształtowania Środowiska
Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków