

WŁASNOŚCI FIZYCZNE I PRZESIAKLIWOŚĆ KOMPOZYTU WARSTWY NOŚNEJ I PIASKU WARSTWY DRENAŻOWEJ PŁYTY BOISKA WISŁY KRAKÓW SA PO PRZEBUDOWIE W 2004 ROKU

Włodzimierz Rajda, Tomasz Stachura, Wioletta Żarnowiec
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

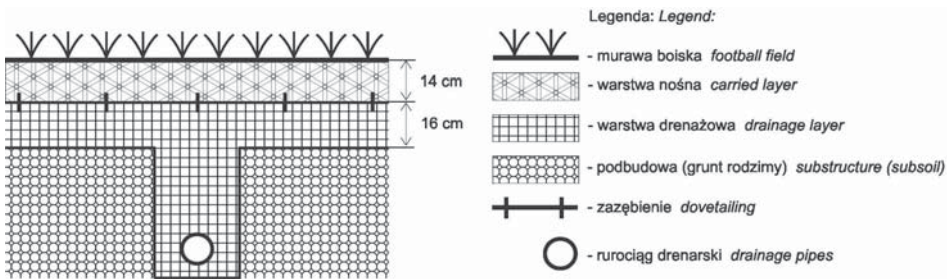
Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań niektórych własności fizycznych i wodoprzepuszczalności kompozytu warstwy nośnej oraz piasku warstwy drenażowej płyty boiska piłkarskiego na stadionie klubu Wisła Kraków SA w Krakowie trzy lata po przebudowie wykonanej w 2004 roku, według normy DIN 18 035. Uziarnienie, gęstość właściwą, gęstość objętościową, porowatość, przesiąkliwość i współczynniki filtracji oznaczono metodami standardowymi. Wyniki badań porównano z zaleceniami normy. Wykazano istotne znaczenie kompozytu dla wodoprzepuszczalności płyty boiska. Wyniki mogą być wykorzystane przy budowie lub przebudowie boisk i obiektów sportowych z naturalnym porostem trawiastym.

Słowa kluczowe: płyta boiska, warstwa nośna, warstwa drenażowa, wodoprzepuszczalność

WSTĘP

Istotnym problemem przy wykonywaniu płyty boiska sportowego w otwartym terenie jest właściwe przygotowanie nawierzchni pod względem wodoprzepuszczalności, wyrównania i odwodnienia [Żegocińska-Tyżuk 1988].

Zgodnie z założeniami normy DIN 18 035, zadaniem porośniętej trawą warstwy nośnej płyty boiska (rys. 1) jest przyjęcie dynamicznego obciążenia podczas gry oraz zapewnienie odpowiedniej przesiąkliwości, ograniczającej stagnowanie wody na powierzchni podczas nawadniania boiska lub po znacznych opadach deszczu przez właściwe dobranie uziarnienia. Ponadto warstwa ta ma utrzymywać wilgoć potrzebną do wegetacji murawy, zapewnić pojemność sorpcyjną oraz zasobność w składniki nawozowe niezbędne dla roślin. Warstwa drenażowa (rys. 1) ma ułatwiać odwodnienie warstwy nośnej i zabezpieczać podkład przed zamulaniem, zadaniem zaś podbudowy jest przenoszenie obciążeń na grunt rodzimy.



Rys. 1. Schemat przekroju płyty boiska po przebudowie w 2004 roku

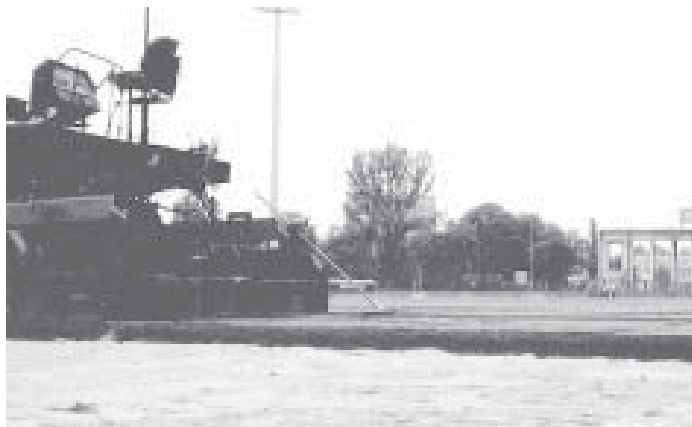
Fig. 1. Schematic cross section the football field after the renovation in 2004

W pracy przedstawiono wyniki badań własności fizycznych i wodoprzepuszczalności kompozytu warstwy nośnej i piasku z warstwy drenażowej 3 lata po przebudowie płyty boiska i porównano wodoprzepuszczalność kompozytu z wymaganiami normy. Wykazano istotne znaczenie uziarnienia dla wodoprzepuszczalności i utrzymania funkcjonalnej sprawności płyty boiska.

METODY BADAŃ

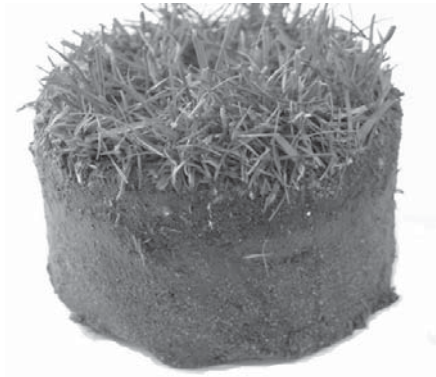
Podczas przebudowy boiska przeprowadzonej w 2004 roku zastosowano układ trójwarstwowy, w którym, zgodnie z normą DIN 18 035, warstwę nośną wykonano z kompozytu piasku rzecznoego i gleby rodzimej, a warstwę drenażową z piasku.

Kompozyt utworzono przez wymieszanie, w odpowiednich proporcjach, miejscowej gleby z poziomu próchnicznego z piaskiem rzecznoym pozyskanym, podobnie jak piasek do warstwy drenażowej, ze żwirowni przy stopniu wodnym „Kościszko” na Wiśle koło Krakowa. Układanie warstw płyty wykonano maszynowo (rys. 2). W efekcie uzyskano, zgodnie z normą, płytę o średnio 14-centymetrowej warstwie nośnej (rys. 3) i 16-centymetrowej warstwie drenażowej (rys. 1).



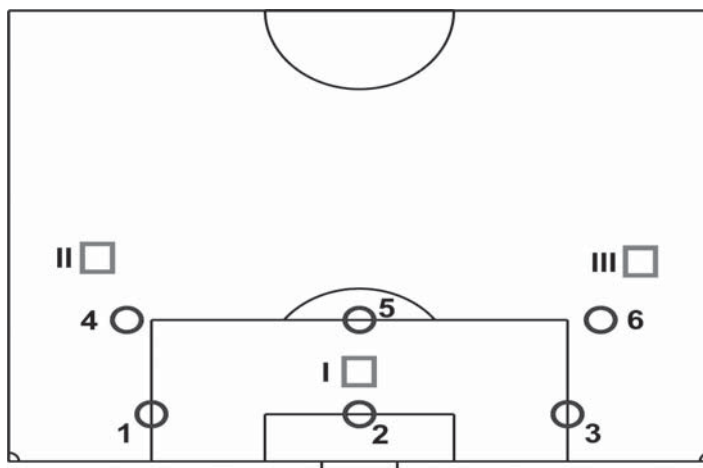
Rys. 2. Układanie warstwy nośnej na warstwie drenażowej

Fig. 2. Laying the carrier layer on layer drainage



Rys. 3. Fragment warstwy nośnej płyty
Fig. 3. Fragment of the carrier layer of a football field

Oznaczenie uziarnienia, gęstości objętościowej i właściwej kompozytu i piasku warstwy drenażowej wykonano metodami standardowymi opisanymi przez Glazera i Malinowskiego [1991]. Próbkę pobrano do pierścieni o objętości 100 cm^3 z 6 systematycznie rozmieszczonych punktów boiska (rys. 4). Przepuszczalność warstwy nośnej pomierzono w 3 punktach płyty (rys. 4) za pomocą pierścieni współśrodkowych. Punkty poboru próbek i pomiaru przepuszczalności wyznaczono w części boiska o największym obciążeniu dynamicznym podczas gry. W zależności od przebiegu przepuszczalności pomiar trwał od 60 do 100 minut – do chwili przybliżonego ustabilizowania się infiltracji. W laboratorium za pomocą przepuszczalnościomierza firmy Ejikelkamp [Rajda i in. 2009] oznaczono współczynniki filtracji kompozytu warstwy nośnej i piasku warstwy drenażowej.



Rys. 4. Rozmieszczenie punktów pomiaru przepuszczalności (I, II, III) i pobrania próbek (1–6) warstwy nośnej i drenażowej
Fig. 4. Location permeability measurement points (I, II, III) and samples (1–6) carrying layer and drainage layer

WYNIKI BADAŃ

Utworzony kompozyt wykazywał uziarnienie piasku luźnego (tab. 1) o zawartości: 92% frakcji piaszczystej (ϕ 2,00–0,05 mm), 7% frakcji pyłowej (ϕ 0,05–0,002 mm) oraz nieco powyżej 1% frakcji iłowej ($\phi < 0,002$ mm). Zawartość substancji organicznej, oznaczonej według normy PN-R-04033, wynosiła średnio poniżej 1%. W składzie granulometrycznym materiału największy udział w obu badanych warstwach płyty miały frakcje piasku grubego i średniego, stanowiące wagowo 70% w warstwie nośnej i 77% w warstwie drenażowej (tab. 1).

Tabela 1. Skład granulometryczny kompozytu warstwy nośnej i piasku warstwy drenażowej

Table 1. Grain size of the of the composite carrier layer and sand drainage layer

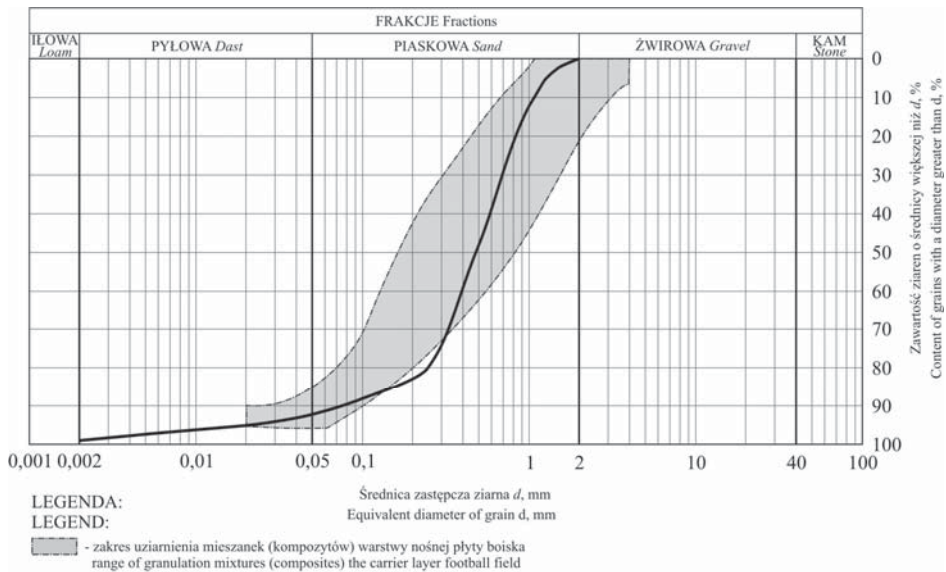
Numer próbki (stanowisko) Number of sample (location)	Procentowa zawartość frakcji [%] – Percentage fraction									Substancja organiczna [%] Organic matter
	piasek [mm] – sand					pył [mm] – dust			ił [mm] – loam	
	2,00– –1,00 zd	1,00– –0,50 pg	0,50– –0,25 ps	0,25– –0,09 pd	0,09– 00,05 płg	0,05– –0,02	0,02– –0,006	0,006– –0,002	< 0,002	
Warstwa nośna 0–14 cm – Carrying layer										
1	12	36	34	8	3	3	1	2	1	1,10
2	12	36	34	8	3	2	3	1	1	0,58
3	12	35	33	7	3	3	3	2	2	0,68
4	12	36	34	8	3	3	1	2	1	0,80
5	12	36	34	7	3	4	1	2	1	0,76
6	12	35	34	7	3	3	1	3	2	0,52
Średnia Average	12	36	34	7	3	3	2	2	1	0,74
Warstwa drenażowa 15–30 cm – Drainage layer										
Średnia Average	13	36	41	9	1 ^a	–	–	–	–	–

Oznaczenia – Explanations: zd – żwir drobny – fine gravel, pg – piasek gruby – coarse sand, ps – piasek średni – medium sand, pd – piasek drobny – fine sand, płg – pył gruby – coarse dust.

^aŁącznie poniżej 0,09 mm – including less than.

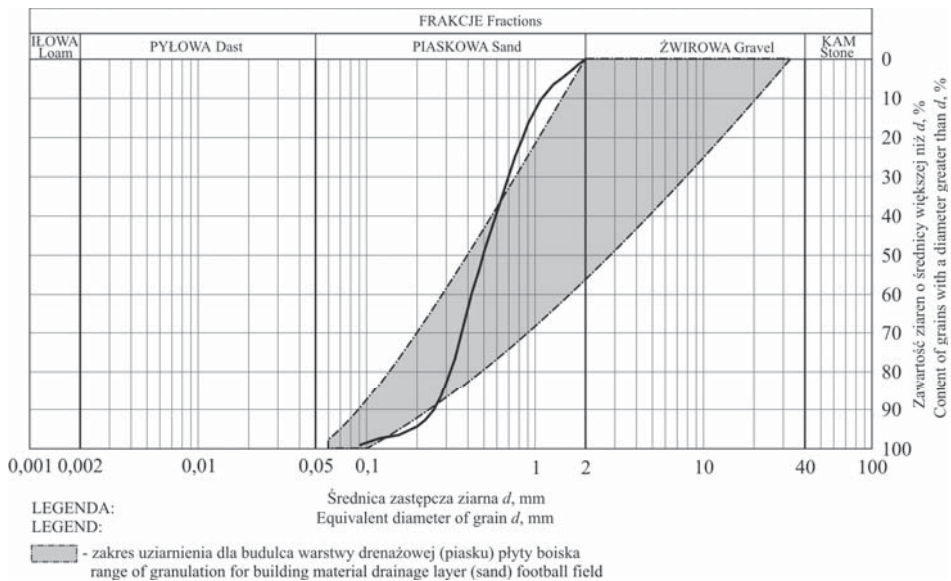
Wskaźnik nierównomierności uziarnienia $d_{60} : d_{10}$, równy 6,4, wskazuje, że kompozyt zalicza się do utworów różnoziarnistych [Wiłun 2000], ale o stosunkowo małym zróżnicowaniu ziaren. Granulacja kompozytu (rys. 5) odpowiadała dopuszczalnej dla mieszanek warstwy nośnej [DIN 18 035], przy nieznacznym odstępstwie w przedziale frakcji od 0,1 do 0,3 mm. Uziarnienie piasku warstwy drenażowej (rys. 6) kwalifikuje się do utworów równoziarnistych ($d_{60} : d_{10} = 2,4$).

Średnia gęstość właściwa materiału z obu warstw praktycznie się nie różni (tab. 2). Natomiast gęstość objętościowa na skutek udziału gleby rodzimej i substancji organicznej w kompozycie warstwy nośnej (tab. 1) jest nieznacznie mniejsza i nieco bardziej



Rys. 5. Krzywa uziarnienia kompozytu zastosowanego do budowy warstwy nośnej i dopuszczalny zakres uziarnienia według normy DIN 18 035

Fig. 5. Grain size distribution curve of the composite used for the construction of the carrier layer and acceptable range of granulation according to the requirements of DIN 18 035



Rys. 6. Krzywa średniego uziarnienia piasku zastosowanego do budowy warstwy drenażowej i dopuszczalny zakres uziarnienia według normy DIN 18 035

Fig.6. Curve of the average grain size distribution of the sand use to build drainage layer and acceptable range of granulation according to the requirements of DIN 18 035

zróznicowana od gęstości objętościowej piasku warstwy drenażowej (tab. 2). Natomiast większa jest różnica porowatości kompozytu w porównaniu z porowatością piasku warstwy drenażowej (7,9% wartości średniej) i zróznicowanie między badanymi punktami (23,7% w stosunku do średniej – tab. 2).

Stosunkowo małe zróznicowanie przesiąkliwości kompozytu (tab. 3), będące efektem jednorodnego uziarnienia, jest korzystne dla sprawności funkcjonalnej boiska. Nie sprzyja ono lokalnemu nagromadzeniu się wody na powierzchni płyty.

Także stosunkowo mały i nieznacznie zróznicowany między poszczególnymi punktami był spadek przesiąkliwości z upływem czasu pomiaru (rys. 7). Najsilniej malała ona w punkcie I, w którym w początkowej fazie była średnio o 60% większa niż w fa-

Tabela 2. Gęstość właściwa i objętościowa szkieletu oraz porowatość kompozytu warstwy nośnej i piasku warstwy drenażowej

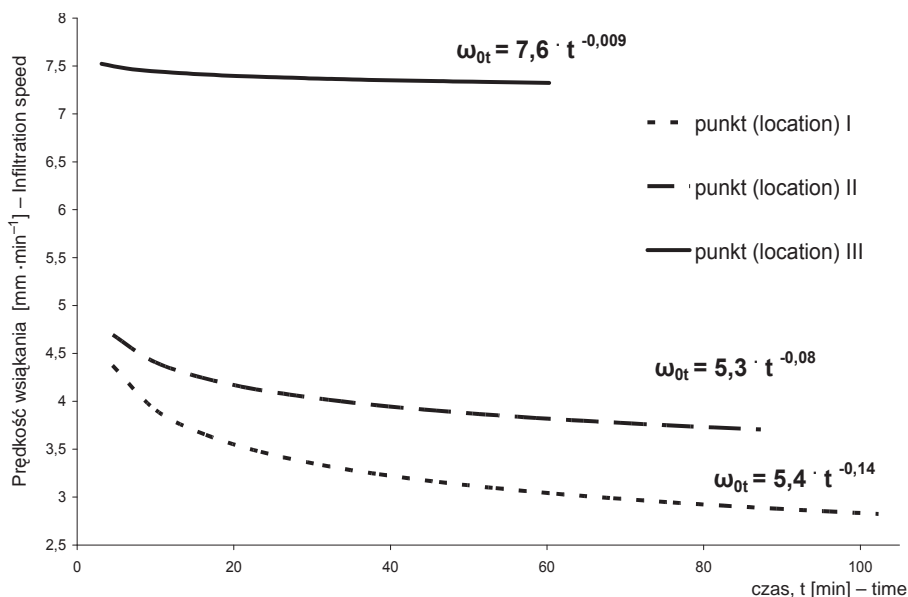
Table 2. Specific density, volume density and porosity composite carrier layer and sand drainage layer

Numer próbki (stanowisko) Number of sample (location)	Kompozyt nośnej warstwy 0–14 cm Composite carrier layer			Piasek warstwy drenażowej 15–30 cm Sand drainage layer		
	Gęstość – Density		Porowatość n [%] Porosity	Gęstość – Density		Porowatość n [%] Porosity
	właściwa γ [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$] specific density	objętościowa ρ [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$] volume density		właściwa γ [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$] specific density	objętościowa ρ [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$] volume density	
1	2,61	1,24	52,5	2,64	1,44	45,5
2	2,61	1,42	45,6	2,65	1,50	43,4
3	2,72	1,43	47,4	2,64	1,44	45,5
4	2,59	1,37	47,1	2,64	1,40	47,0
5	2,63	1,54	41,4	2,65	1,42	46,4
6	2,62	1,39	47,0	2,64	1,45	45,1
Średnia (min.–maks.) Average (min–max)	2,63 (2,59–2,72)	1,40 (1,24–1,54)	46,8 (41,4–52,5)	2,64 (2,64–2,65)	1,44 (1,40–1,50)	45,5 (43,4–47,0)

Tabela 3. Średnia prędkość wsiąkania do warstwy nośnej

Table 3. Average speed of infiltration into the carrier layer

Punkt pomiaru – Location	Prędkość wsiąkania [$\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$] – Speed of infiltration	
	w pierwszej jednostce czasu in the first unit of time	w czasie 0– t in time 0– t
I	4,6	2,8
II	4,9	3,7
III	6,9	7,3
Średnie – Average	5,5	4,6



Rys. 7. Prędkość wsiąkania do kompozytu warstwy nośnej w funkcji czasu

Fig. 7. Infiltration speed to the composite carrier layer as a function of time

zie końcowej. Mniejszą dynamikę odnotowano w punkcie II, a praktycznie brak zróżnicowania – w punkcie III. Świadczy to o nieznacznie wzrastających oporach infiltracji, dzięki – będącej efektem uziarnienia – małej wrażliwości kompozytu na pęcznienie, co także jest korzystne dla sprawnego funkcjonowania boiska. Oznaczone średnie dla 3 punktów pomiaru wartości infiltracji były 4,6 razy większe od wartości normatywnej dla kompozytu o uwilgotnieniu odpowiadającym 60% maksymalnego kapilarnego nasycenia ($1,0 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$), a więcej niż o jeden rząd wielkości od normatywnej wartości ($0,3 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$) przy 100-procentowej pojemności kapilarnej [DIN 18 035].

Laboratoryjnie pomierzone w 4 powtórzeniach współczynniki filtracji w próbkach warstwy nośnej pobranych w różnych miejscach boiska (tab. 4) były bardziej zróżnicowane od prędkości wsiąkania pomierzonej na terenie boiska (por. tab. 3 i 4). Przyjmując ostatnie powtórzenie (d) za najbardziej bezpieczne, okazało się, że współczynniki są nieco mniej zróżnicowane, przy czym kompozyt warstwy nośnej pobrany w punktach 2, 3 i 4 można zaliczyć do utworów o dobrych właściwościach filtracyjnych, pobrany zaś w punktach 5 i 6 – do utworów o właściwościach filtracyjnych średnich [Pazdro 1983]. Większe zróżnicowanie współczynnika filtracji mogło być efektem pobrania próbek, które mogły zawierać drobniejszy materiał pochodzący z trawnika ułożonego podczas przebudowy płyty bezpośrednio na warstwie kompozytu. Mogło ono być także efektem „ściany”, gdyż próbki pobrano do pierścieni o stosunkowo małych wymiarach ($\varnothing 5,0 \text{ cm}$, $h = 5,0 \text{ cm}$). Zróżnicowanie to dla próbek pobranych w punktach 2 i 6 wynosiło ponad jeden rząd wielkości (tab. 4), jednak jego wartość najmniejsza (punkt 6) była i tak ponaddziesięciokrotnie większa od wartości dopuszczalnej przy pełnym kapilarnym nasyceniu kompozytu ($0,3 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$) [DIN 18 035].

Tabela 4. Współczynniki filtracji kompozytu warstwy nośnej, K_{10}
 Table 4. Permeability coefficient of the composite carrier layer, K_{10}

Punkt pomiaru (próbka) Location (sample)	Powtórzenie – Repetition	K_{10} [mm·min ⁻¹]	K_{10} śr. (average) [mm·min ⁻¹]
2	a	48,0	33,8
	b	48,0	
	c	19,8	
	d	19,2	
3	a	36,0	24,3
	b	24,0	
	c	24,0	
	d	13,2	
4	a	24,0	30,0
	b	36,0	
	c	36,0	
	d	24,0	
5	a	7,8	7,2
	b	8,4	
	c	6,6	
	d	6,0	
6	a	3,6	3,2
	b	3,0	
	c	3,0	
	d	3,0	
Średnio – Average		17,1/ 13,1 ^a	

^aŚrednie z ostatnich pomiarów (powtórzenia d) – Average of the last measurement (repeated d).

Tabela 5. Współczynniki filtracji warstwy drenażowej, K_{10} [mm·min⁻¹]
 Table 5. Permeability coefficient of the drainage layer, K_{10} [mm·min⁻¹]

Powtórzenie – Repetition	Numer próbki – Number of sample						Średnie – Average
	1	2	3	4	5	6	
a	312,6	463,8	199,2	220,0	431,4	544,2	362,2
b	305,4	458,4	205,2	215,4	431,4	537,0	358,8
c	312,6	460,8	188,4	209,4	425,4	526,2	353,8
d	304,2	463,8	184,8	210,6	429,6	537,0	355,0
Średnie – Average	308,7	461,7	194,4	214,4	429,5	536,1	357,5

Natomiast piasek warstwy drenażowej pod względem przepuszczalności można zakwalifikować do utworów o bardzo dobrych własnościach filtracyjnych [Pazdro 1983]. Średnie wartości współczynnika filtracji wahały się w tym przypadku od około 194 do 536 mm·min⁻¹, a wartość średnia wynosiła około 357,5 mm·min⁻¹ (tab. 5). Przy dużej jednorodności uziarnienia ($U = 2,4$ – rys. 6) było to, według DIN 18 035, ponaddziesięciokrotnie więcej od zalecanej prędkości wchłaniania wody (30 mm·min⁻¹) przez piasek stosowany do budowy warstwy drenażowej, przy jego pełnym kapilarnym nasyceniu.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W przebudowanej w 2004 roku płycie boiska wymieniono materiał budulcowy stosowany przy renowacji przeprowadzonej w 2002 roku. W efekcie uzyskano płytę, której stan po 3 latach eksploatacji nie budził zastrzeżeń pod względem wodoprzepuszczalności (rys. 8).



Rys. 8. Płyta boiska piłkarskiego na stadionie TS Wisła Kraków po przebudowie w 2004 roku
Fig. 8. Football field Wisła Kraków after renovation in 2004

Uziarnienie materiału obu warstw było zbliżone do zalecanego w niemieckiej normie DIN 18 035. Biorąc pod uwagę najmniejszą pomierzoną laboratoryjnie wartość współczynnika filtracji w próbkach warstwy nośnej, równą $3,2 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, uzyskano wodoprzepuszczalność zapewniającą skuteczne przesiąkanie deszczu o natężeniu $192 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$. Natomiast obliczone wzorem Lambora [Byczkowski 1996] natężenie deszczu ulewnego o prawdopodobieństwie pojawienia się $p = 10\%$ (raz na 10 lat), trwającego 15 min, wynosi dla Krakowa $55 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ (tab. 6). Oznacza to, że deszcz 15-minutowy, którego suma wynosi 13,8 mm (tab. 6), warstwa nośna może przepuścić już podczas jego trwania.

Wymagana prędkość infiltracji, wynikająca z sumy i czasu trwania takiego deszczu w przypadku gdy wsiąka on już podczas jego trwania, jest ponadtrzykrotnie mniejsza od najmniejszej pomierzonej laboratoryjnie wartości współczynnika filtracji. Relacje te przedstawiają się jeszcze korzystniej dla deszczu ulewnych, trwających dłużej (tab. 6).

W konkluzji zaleca się, aby przy przebudowie lub budowie warstwy nośnej dowolnego boiska sporządzano kompozyty o uziarnieniu zbliżonym do normatywnego, sprawdzano ich wodoprzepuszczalność i konfrontowano ją z dopuszczalną prędkością infiltracji, wynikającą z natężenia miarodajnego deszczu ulewnego w danym regionie i założonego, zależnego od rangi boiska pożądanego czasu wsiąkania deszczu.

Tabela 6. Parametry deszczu ulewnego o prawdopodobieństwie $p = 10\%$ i różnym czasie trwania oraz natężenie wsiąkania do warstwy nośnej w zależności od czasu trwania infiltracji
 Table 6. The parameters of the likelihood of torrential rain, $p = 10\%$ and varying duration, and the intensity of infiltration into carrier layer, depending on the duration of infiltration

Deszcz ulewny Torrential rain			Średnie natężenie infiltracji [$\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$] dla założonego czasu wsiąkania (t) deszczu ulewnego [h] Average intensity of infiltration [$\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$] for the assumed infiltration time (t) torrential rain [h]							
Czas trwania t [h] Duration	Natężenie i [$\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$] Intensity	Suma opadu [mm] dla czasu trwania t Sum of precipitation [mm] for the duration t	0,25	0,50	0,75	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0
0,25	55,0	13,8	0,92	0,46	0,31	0,23	0,15	0,115	0,077	0,046
0,50	35,4	17,7		0,59	0,39	0,30	0,20	0,15	0,098	0,059
0,75	27,3	20,5			0,46	0,34	0,23	0,17	0,114	0,068
1,00	22,7	22,7				0,38	0,25	0,19	0,126	0,076
1,50	17,4	26,1					0,29	0,22	0,145	0,087
2,00	14,4	28,8						0,24	0,160	0,096
3,00	11,0	33,0							0,183	0,110
5,00	7,8	39,0								0,130

Przeprowadzone badania upoważniają do następujących stwierdzeń i wniosków:

1. Kompozyt warstwy nośnej płyty boiska przebudowanego w 2004 roku po 3 latach eksploatacji charakteryzował się przepuszczalnością znacznie większą niż zalecana w normie DIN 18 035.

2. Warstwa drenażowa nie uległa kolmatacji, na co wskazuje jej przepuszczalność znacznie przekraczająca wymagania normy.

3. Przyjmując za brzegowy warunek 15-minutowy deszcz nawalny o prawdopodobieństwie $p = 10\%$, można stwierdzić, że zawartość piasku w kompozycie warstwy nośnej płyty dowolnego boiska znajdującego się w rejonie Krakowa może być mniejsza od zastosowanej na badanym boisku klubu Wisła Kraków SA, a piasek do warstwy drenażowej, ze względu na jego przepuszczalność, mógłby mieć uziarnienie nawet bardziej zróżnicowane.

PIŚMIENNICTWO

- Byczkowski A., 1996. Hydrologia. T. II. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
 DIN 18 035, 1991. Teil 4. Sportplätze, Rasenflächen.
 Glazer Z., Malinowski J., 1991. Geologia i geotechnika dla inżynierów budownictwa. PWN, Warszawa.
 Pazdro Z., 1983. Hydrogeologia ogólna. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
 PN-R-04033, 1998. Gleby i utwory mineralne. Podział na frakcje i grupy granulometryczne.
 Rajda W., Policht-Latawiec A., Zięba A., 2009. Wodoprzepuszczalność kompozytów do budowy warstwy nośnej płyty boiska piłkarskiego. *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie* 3, 111–113.
 Wiłun Z., 2000. Zarys geotechniki. WKiŁ, Warszawa.
 Żegocińska-Tyżuk B., 1988. Terenowe urządzenia sportowo-rekreacyjne. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków.

PHYSICAL PROPERTIES AND PERMEABILITY OF THE COMPOSITE CARRIER LAYER AND SAND DRAINAGE LAYER FOOTBALL FIELD WISLA KRAKOW AFTER THE RENOVATION IN 2004

Abstract. The paper presents the results of certain physical properties and water permeability of the composite carrier layer and sand drainage layer football field Wisla Krakow three years after the renovation done in 2004, according to DIN 18 035. Grain size, specific density, volume density, permeability and permeability coefficient was determined by standard methods. The results were compared with those prescribed in norm. Demonstrated the role of the composite for water permeability football field. Results of research can be used in the construction or renovation of sports fields and sports facilities with natural grass, performing functions appropriate for dynamic games and sporting events – including non-urban areas.

Key words: football field, carrier layer, drainage layer, physical properties, water permeability

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 18.04.2011