

**TOMASZ BRANDYK, JAN SZATYŁOWICZ,
TOMASZ GNATOWSKI, RYSZARD OLESZCZUK**

Właściwości retencyjne i hydrauliczne gleby z Leśnej Oczyszczalni Ścieków w Iławie

**Retention and Hydraulic Soil Properties
from Forest Wastewater Treatment Plant at Iława**

Abstract. The measurements of hydraulic properties of the two sandy soil profiles located within Forest Wastewater Treatment Plant at Iława were carried out in order to determine their storage capacity and hydraulic conductivity. The first soil profile was non-irrigated and the second one was irrigated with the amount of 600 mm per year of wastewater. Relatively low soil water retention and high hydraulic conductivity for both soil profiles was determined. Calculated water storage for both profiles for the soil thickness of 0.5 m shows that sprinkler irrigation norm is equal to 30 mm and such value was recommended for sewage water irrigation in order to avoid groundwater pollution.

Keywords: moisture retention, hydraulic conductivity, wastewater irrigation

Wstęp

Gospodarowanie wodą w profilach glebowych wymaga dokładnego rozpoznania właściwości retencyjnych i hydraulicznych. Określenie tych właściwości ma szczególne znaczenie w przypadku piaszczystych gleb leśnych nawadnianych ściekami.

Celem niniejszej pracy jest określenie właściwości retencyjnych i hydraulicznych gleb biellicowo-rdzawych z obszaru Leśnej Oczyszczalni Ścieków (LOŚ) w Iławie.

Materiał i metodyka

Badaniami objęto dwa profile gleby biellicowo-rdzawej [4] znajdujące się w obrębie drzewostanu sosnowego. Pierwszy profil (Profil A) zlokalizowany był w obrębie nie nawadnianej powierzchni kontrolnej w pobliżu rurociągu nr 154, natomiast drugi profil (Profil B) położony był na obszarze nawadnianym podwójną dawką ścieków wynoszącą 600 mm w pobliżu rurociągu nr 150. Obydwa profile znajdowały się na wysokości trzeciego zraszacza licząc od początku rurociągu.

W badanych profilach pobrano próbki glebowe objętości 100 cm³ do oznaczeń krzywej retencyjności wodnej oraz próbki objętości 250 cm³ do określania współczynnika filtracji metodą laboratoryjną. Próbki pobrano z poziomów: 5-10 cm, 15-20 cm, 45-50 cm i 95-100 cm. Dodatkowo w profilu B pobrane zostały próbki do oznaczeń retencyjności wodnej w ściółce (poziom 0-5 cm). Z charakterystycznych warstw glebowych pobrane zostały też próbki do oznaczania składu mechanicznego i gęstości fazy stałej gleby.

Do oznaczenia właściwości gleby w laboratorium zastosowano następujące metody:

- krzywe retencyjności wodnej oznaczone były w laboratorium wykorzystując metodę bloku pyłowego [8], komory nisko- i wysokociśnieniowej [5],
- współczynnik filtracji oznaczono metodą de Wita [7],
- gęstość fazy stałej metodą alkoholową [1],
- skład mechaniczny metodą sitową [1].

W ramach badań polowych przeprowadzono pomiary prędkości wsiąkania metodą podwójnych cylindrów [6]. W każdym z badanych profili wykonano cztery pomiary prędkości wsiąkania wody, z których dwa dotyczyły pomiaru infiltracji przez ściółkę leśną, a dwa pozostałe wykonane zostały po uprzednim jej zdjęciu.

Wyniki badań

Podstawowe właściwości fizyczne gleby

Wyniki oznaczeń gęstości fazy stałej, gęstości gleby i składu mechanicznego gleby dla poszczególnych warstw w badanych profilach zestawiono w tabeli 1. Z danych przedstawionych w tabeli 1 wynika, że wskutek prowadzonych nawodnień ściekami w wierzchniej warstwie gleby (5-10 cm) w profilu B nastąpiła akumulacja substancji organicznej, która spowodowała zmniejszenie się gęstości fazy stałej i gęstości gleby, co w konsekwencji spowodowało również znaczny wzrost porowatości tej warstwy. Analizując skład mechaniczny stwierdzić można, że badane profile glebowe reprezentują piasek luźny i charakteryzują się dużą jednorodnością.

Właściwości retencyjne

Wyniki pomiarów zdolności retencyjnych gleby zostały opisane równaniem van Genuchtena [2] w postaci:

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \frac{1}{[1 + (\alpha h)^n]^m} \quad (1)$$

gdzie:

- | | |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| S_e | – nasycenie efektywne [-], |
| θ | – wilgotność objętościowa gleby [cm ³ /cm ³], |
| θ_s, θ_r | – wilgotność przy pełnym nasyceniu i wilgotn. resztkowa [cm ³ /cm ³], |
| $\alpha, n, m=1-1/n$ | – parametry empiryczne, przy czym m i n [-] a α [1/cm], |
| h | – ciśnienie ssące [cm]. |

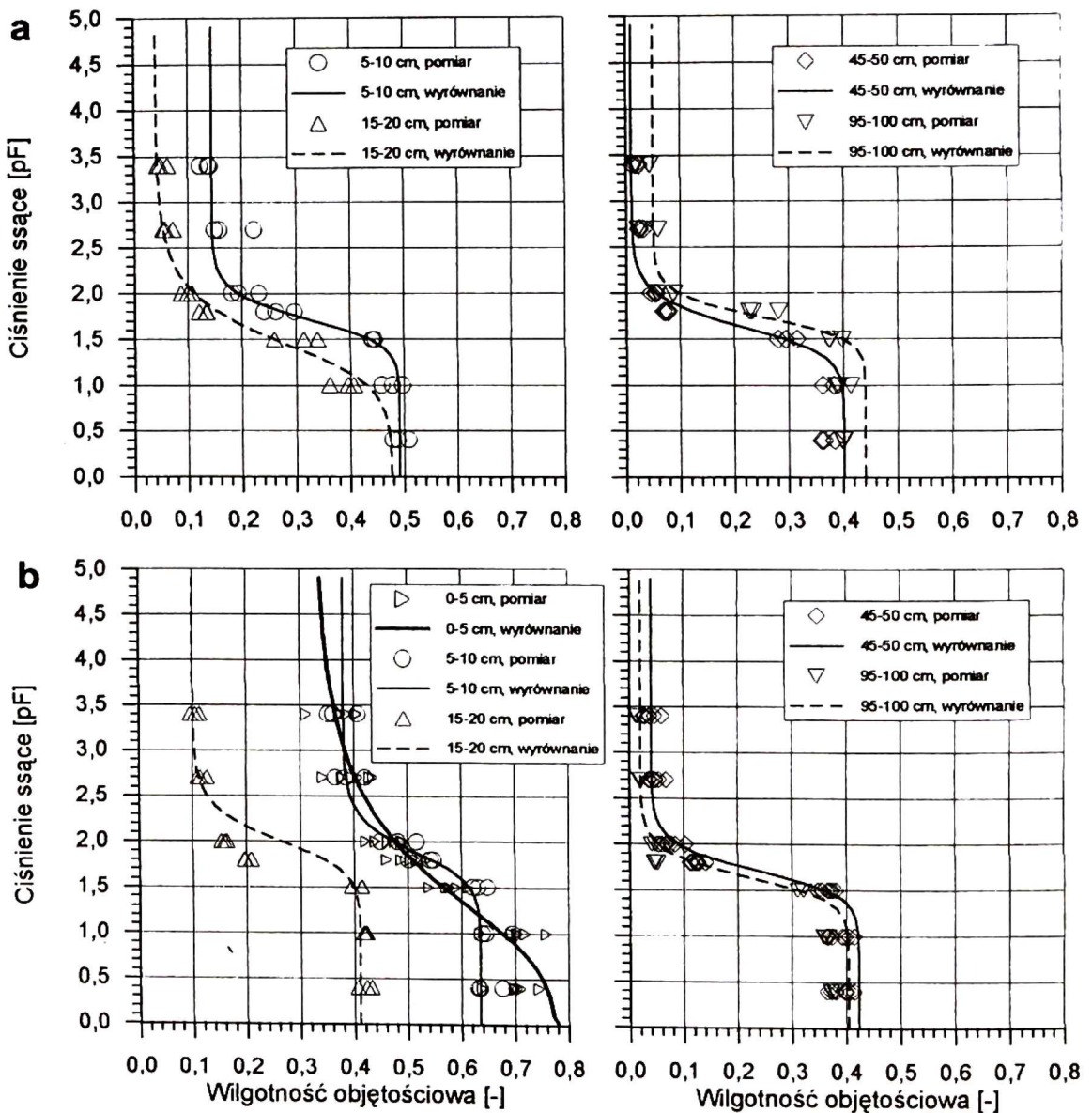
TABELA 1
Podstawowe własności fizyczne profili glebowych

Głębokość [cm]	Gęstość fa- zy stałej [kg/m ³]	Gęstość gleby [kg/m ³]	Porowa- tość [%]	Procent cząstek o średnicy [mm]			
				1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	<0,1
Profil A							
5-10	2321	1182	49,08	5,4	48,2	41,1	5,3
15-20	2572	1346	47,77	4,0	54,6	39,1	2,3
45-50	2633	1578	40,08	2,6	63,7	32,2	1,5
95-100	2621	1468	43,98	0,0	0,3	97,1	2,6
Profil B							
5-10	1913	698	63,51	8,0	46,6	41,5	3,9
15-20	2433	1433	41,10	5,2	42,4	50,4	2,0
45-50	2616	141	43,00	1,2	33,4	63,4	2,0
95-100	2623	1563	40,41	1,5	59,5	38,6	0,4

Wyrównanie krzywych retencyjności przeprowadzono przy użyciu programu RETC [3]. Parametry wymagane we wzorze van Genuchtena otrzymane jako wynik wyrównania danych eksperymentalnych dla poszczególnych warstw gleby w profilach A i B zestawiono w tabeli 2. Pomierzone i wyrównane krzywe pF przedstawiono na rycinie 1.

TABELA 2.
Parametry wymagane w równaniu van Genuchtena opisującym krzywą pF dla poszczególnych warstw w profilach glebowych

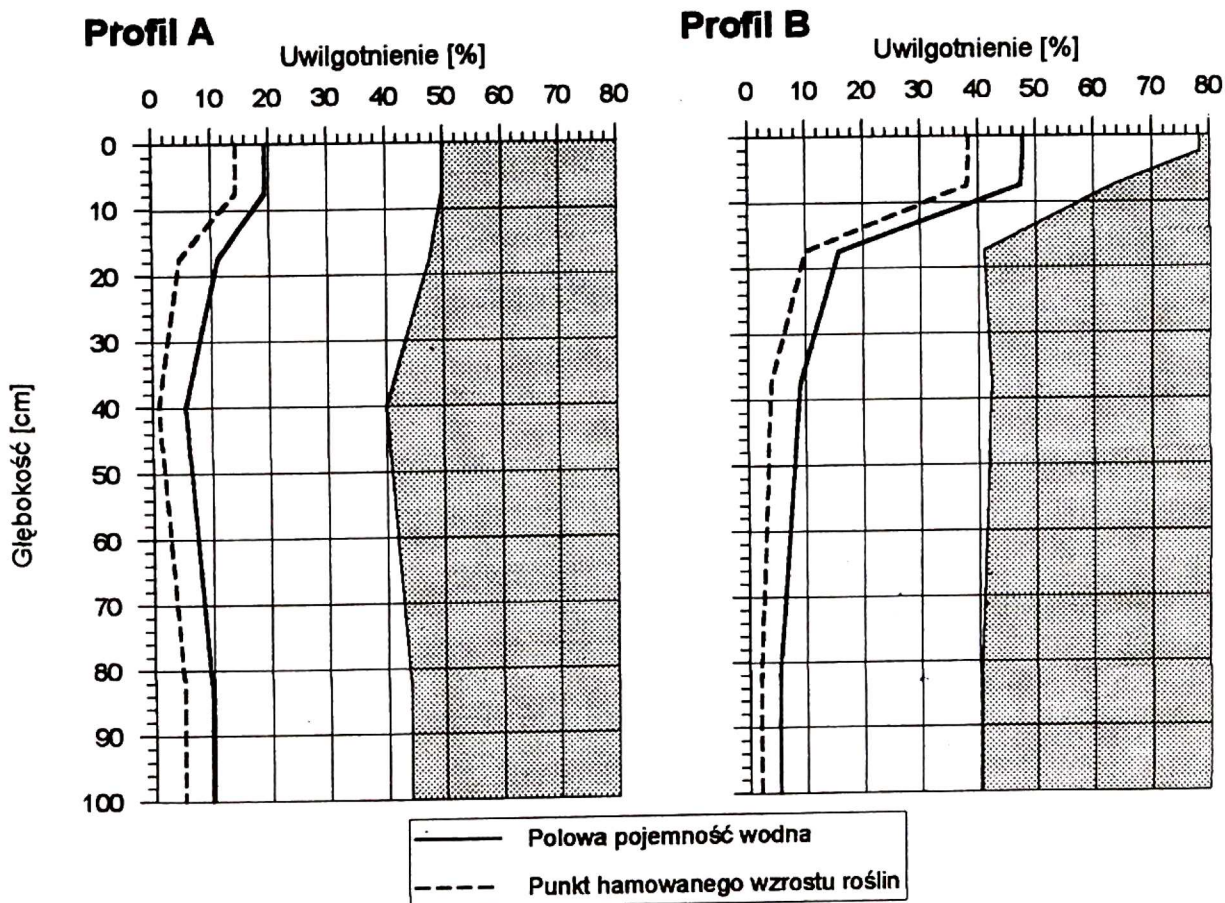
Głębokość [cm]	Parametry				
	θ_s [-]	θ_r [-]	α [1/cm]	n [-]	r^2 [-]
Profil A					
5-10	0,4908	0,1433	0,0215	3,473	0,9851
15-20	0,4767	0,0400	0,0504	2,098	0,9411
45-50	0,4008	0,0100	0,0269	3,131	0,9920
95-100	0,4398	0,0500	0,0197	4,063	0,9818
Profil B					
0-5	0,7826	0,3306	0,1255	1,440	0,9124
5-10	0,6352	0,3805	0,0156	2,869	0,9530
15-20	0,4110	0,1000	0,0119	2,855	0,9667
45-50	0,4229	0,0400	0,0218	3,553	0,9868
95-100	0,4041	0,0200	0,0252	3,644	0,9921



RYC. 1. Pomierzona i wyrównana krzywe pF w profilu glebowym A (a) i profilu B (b)

Analizując przebieg krzywych pF w poszczególnych profilach stwierdzono, że największe różnice pomiędzy profilami A i B występują w warstwach 5-10 cm i 15-20 cm, w głębszych warstwach krzywe te są prawie identyczne. W profilu B, nawadnianym podwójną dawką ścieków, w warstwach natomiast wierzchnich obserwuje się wyraźny wzrost pełnej pojemności wodnej oraz wzrost wilgotności resztkowej. W warstwie ściółki (0-5 cm), w profilu B obserwuje się znacznie większą wilgotność odpowiadającą pełnej pojemności wodnej (78%) w porównaniu z warstwami głębszymi (40-42%).

Na podstawie pomierzonych krzywych pF w poszczególnych profilach opracowano charakterystyczne rozkłady uwilgotnienia przyjmując schemat profilu glebowego z głębokim zwierciadłem wody gruntowej. Połową pojemność wodną przyjęto jako wilgotność odpowiadającą wartości pF=2, a punkt hamowanego wzrostu roślin jako wilgotność odpowiadającą pF=3. Charakterystyczne rozkłady uwilgotnienia przedstawione na rycinie 2 posłu-



RYC. 2. Charakterystyczne rozkłady uwilgotnienia w profilach A i B

żyły do obliczenia tzw. efektywnej retencji użytecznej (dawki netto nawodnienia deszczownianego). Otrzymane jako wynik obliczeń wartości efektywnej retencji użytecznej wyniosły odpowiednio: 27 mm w profilu A w półmetrowej warstwie gleby i 50 mm w jednometrowej warstwie gleby, natomiast w profilu B odpowiednio 30 i 50 mm. Porównanie wartości efektywnej retencji użytecznej w profilach A i B świadczy o nieznacznym tylko wpływie nawodnień ściekami na wielkość dawki polewowej netto. Wyniki te potwierdzają słuszność stosowanej dotychczas dawki polewowej netto w wysokości 30 mm.

Właściwości hydrauliczne

Wyniki pomiarów współczynnika filtracji metodą laboratoryjną zestawiono w tabeli 3 oraz przedstawiono na rycinie 3. Wyniki pomiarów sprowadzono do temperatury 10°C.

Na podstawie wyników zestawionych w tabeli 3 stwierdzić można wzrost średniej wartości współczynnika filtracji w wierzchniej warstwie (5-10 cm) profilu B w porównaniu z analogiczną warstwą w profilu A. Obserwuje się także większą zmienność wartości współczynnika filtracji w warstwach 5-10 i 15-20 cm w nawadnianym ściekami profilu B.

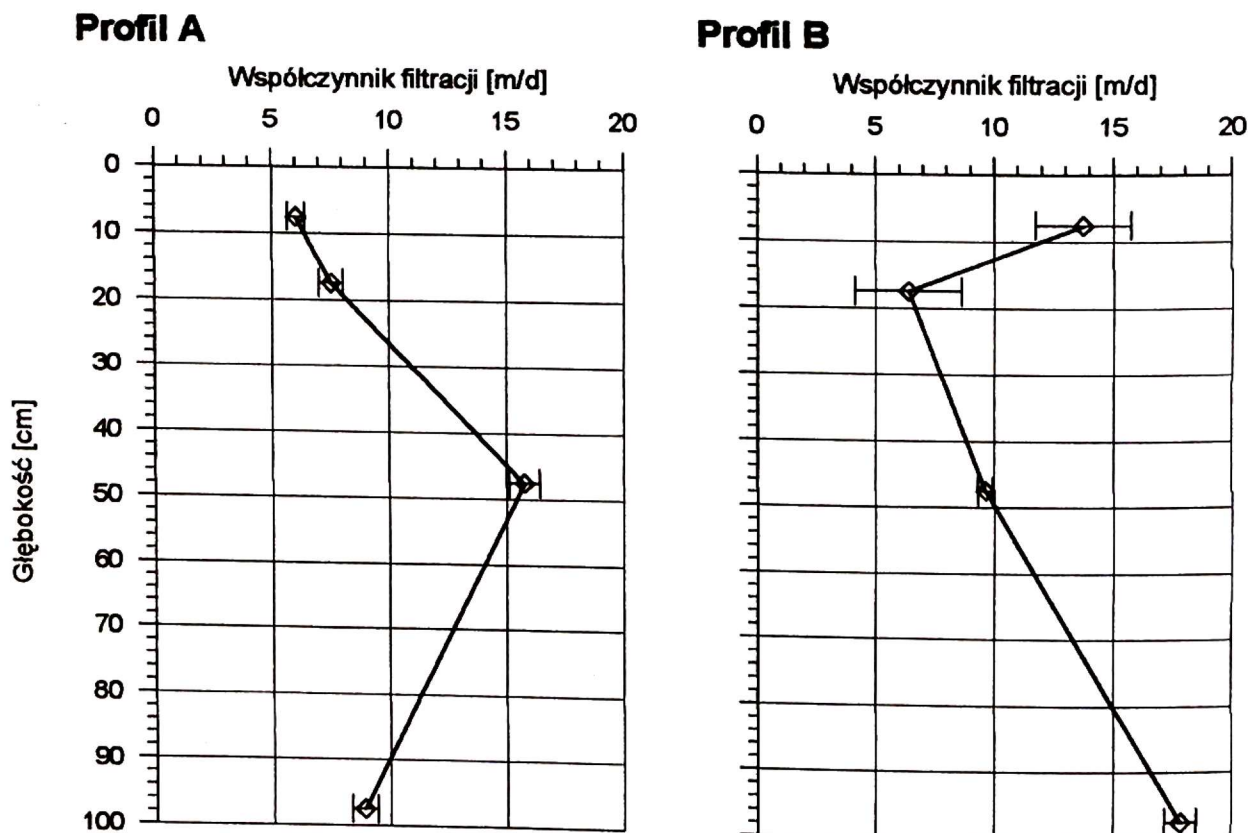
Pomiary prędkości wsiąkania w polu przeprowadzono metodą podwójnych cylindrów. Wyniki pomiarów sumarycznej objętości wsiąkającej wody w funkcji czasu wyrównano wzorem Kostiakowa [6] w postaci:

TABELA 3

Zestawienie wyników pomiarów współczynnika filtracji metodą de Wita w poszczególnych warstwach profili glebowych

Głębokość [cm]	Ilość pomiarów [-]	Miary					
		max. [m/d]	min. [m/d]	śred. [m/d]	moda [m/d]	śred. geom. [m/d]	CV* [%]
Profil A							
5-10	64	9,46	2,07	6,04	6,07	5,84	24,5
15-20	64	11,35	3,20	7,53	4,14	7,23	27,3
45-50	64	21,54	8,83	15,78	15,48	15,57	16,5
95-100	64	16,03	4,93	8,90	8,02	8,67	24,6
Profil B							
5-10	60	31,45	4,06	13,75	7,04	11,67	55,9
15-20	60	71,70	2,14	6,39	2,84	5,27	136,1
45-50	60	13,21	6,70	9,65	9,66	9,57	13,1
95-100	60	24,91	10,22	17,85	16,32	17,66	14,4

* CV – współczynnik zmienności



RYC. 3. Rozkład wartości współczynnika filtracji w profilach A i B

$$Ft = at^b \quad (2)$$

gdzie:

Ft – sumaryczna objętość wsiąkającej wody [mm],

t – czas [h],

a, b – współczynniki empiryczne zależne od rodzaju i uwilgotnienia gleby.

Wzór na prędkość wsiąkającej wody (It) przyjmuje następującą formę:

$$It = \frac{dFt}{dt} = abt^{b-1} \quad (3)$$

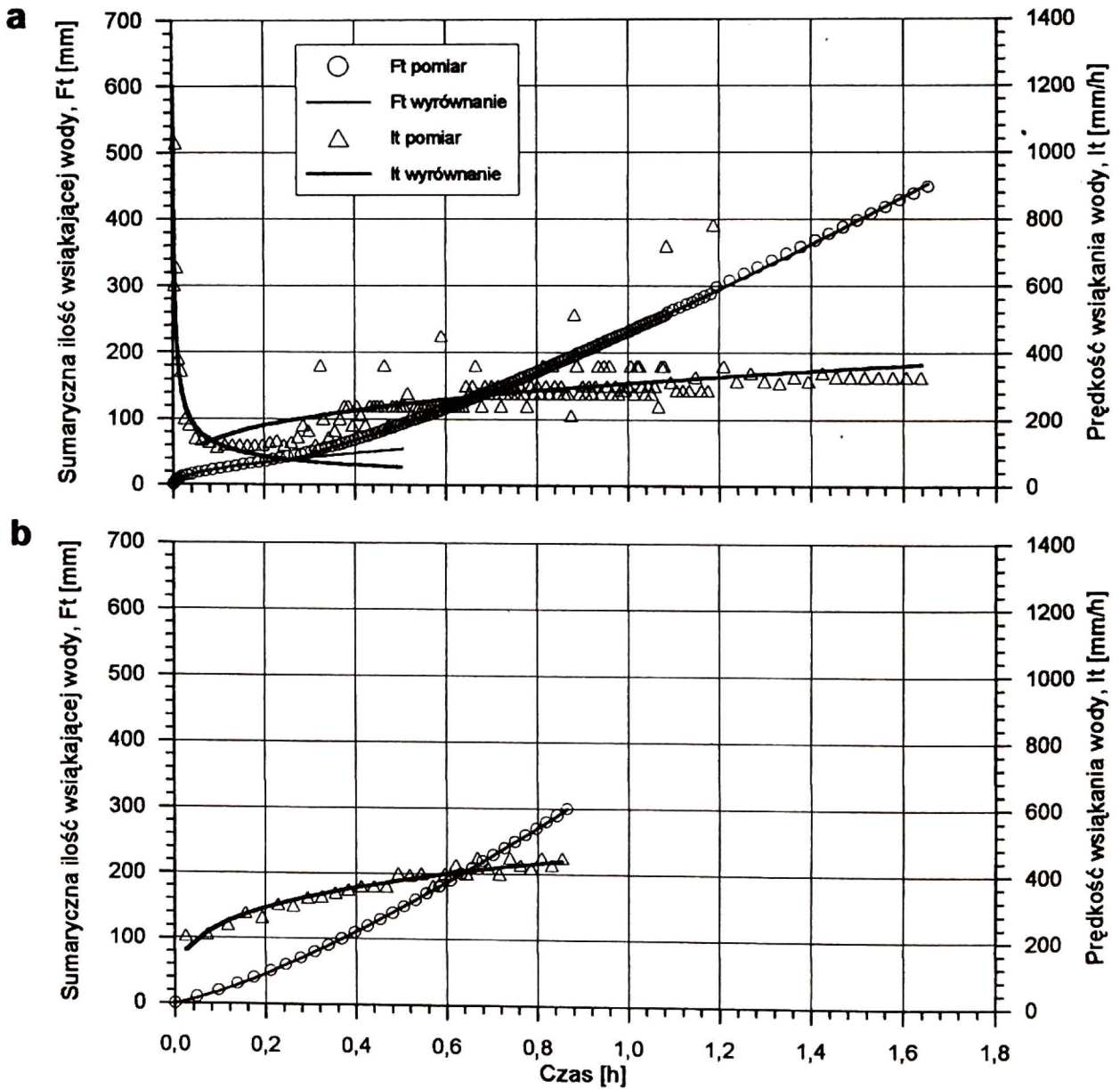
Określone wartości parametrów wymaganych we wzorze Kostiakowa zestawiono w tabeli 4, a pomierzone i wyrównane przykładowe krzywe sumarycznej objętości wsiąkającej wody i prędkości wsiąkania przedstawiono na rycinach 4 i 5.

W profilu A na głębokości około 20 cm występuje warstwa piasku charakteryzująca się słabą zwilżalnością, która powoduje początkowy spadek, a następnie wyraźny wzrost prędkości wsiąkania (ryc. 4). Z tego względu wykres prędkości wsiąkania w czasie podzielony jest na dwie części charakteryzujące się różnymi współczynnikami wymaganymi w równaniu Kostiakowa. Zamieszczone w tabeli 4 wartości prędkości wsiąkania po upływie jednej godziny potraktowane jako stała końcowa wartość prędkości wsiąkania po przeliczeniu jednostek z mm/h na m/d dają wartości od 8,7 do 13,9 m/d, które są porównywalne z wynikami pomiarów współczynnika filtracji metodą laboratoryjną (tab. 3).

TABELA 4

Zestawienie wartości parametrów charakteryzujących sumaryczną objętość wsiąkającej wody, wymaganych we wzorze Kostiakowa

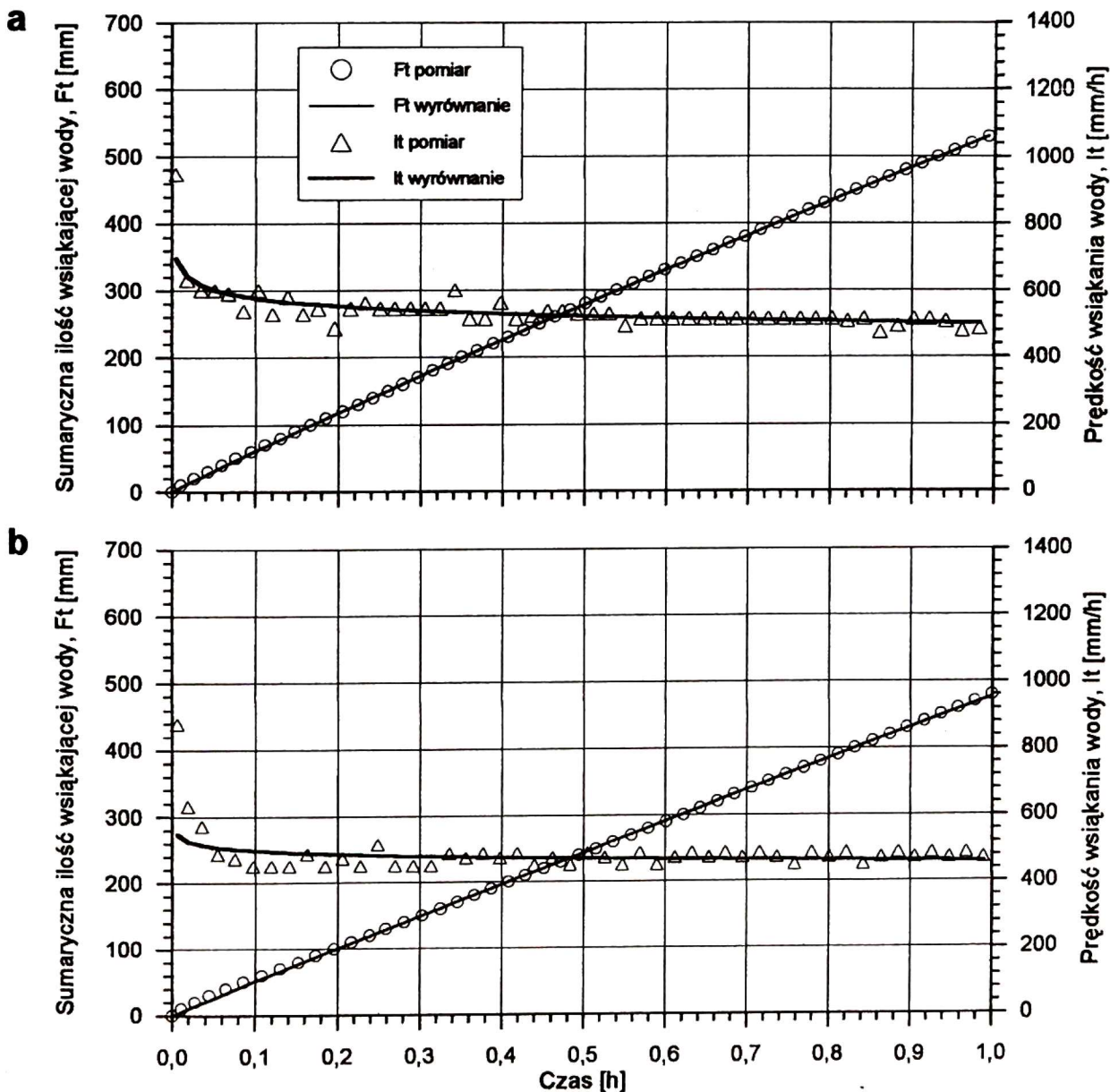
Profil	Warunki	Parametry		Zakres	Prędkość wsiąkania po $t = 1h$
		\bar{a}	b		
A	ze ściółką, powt. 1	76,92	0,50	$t < 0,27 h$	309,24
		231,23	1,34	$t \geq 0,27 h$	
	ze ściółką, powt. 2	173,42	0,75	$t < 0,31 h$	415,71
		323,72	1,28	$t \geq 0,31 h$	
		578,59	1,21		698,46
bez ściółki, powt. 1	360,65	1,28	$t \geq 0 h$	462,32	
	578,59	1,21	$t \geq 0 h$	698,46	
B	ze ściółką, powt. 1	533,99	0,94	$t \geq 0 h$	500,61
	ze ściółką, powt. 2	335,82	0,89	$t \geq 0 h$	300,00
	bez ściółki, powt. 1	477,21	0,97	$t \geq 0 h$	461,01
	bez ściółki, powt. 2	491,33	0,99	$t \geq 0 h$	490,88



RYC. 4. Prędkość wsiąkania i sumaryczna objętość wsiąkającej wody w profilu A: a) wariant ze ściółką (powtórzenie 1), b) wariant bez ściółki (powtórzenie 1)

Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że w obrębie nawadnianego ściekami drzewostanu sosnowego LOŚ występują gleby o składzie mechanicznym piasku luźnego o stosunkowo jednorodnej budowie profilu glebowego. Nawodnienia ściekami wpływają głównie na właściwości wierzchnich warstw gleby (0-20 cm) powodując zmniejszanie się gęstości gleby i gęstości fazy stałej gleby, co prowadzi do wzrostu porowatości. Przeprowadzone pomiary właściwości retencyjnych wskazują, że badane profile glebowe charakteryzują się małymi zdolnościami retencyjnymi. Obliczone na podstawie pomierzonych krzywych pF dawki polewowe netto w warstwie 0,5 m potwierdzają słuszność stosowania



RYC. 5. Prędkość wsiąkania i sumaryczna objętość wsiąkającej wody w profilu B: a) wariant ze ściółką (powtórzenie 1), b) wariant bez ściółki (powtórzenie 1)

do tej pory dawki polewowej netto w wysokości 30 mm. Badane utwory glebowe charakteryzują się bardzo dużą przepuszczalnością wodną, wynoszącą od 6 do 18 m/d, co potwierdzają zarówno pomiary współczynnika filtracji wykonane metodą laboratoryjną, jak również pomiary prędkości wsiąkania przeprowadzone w warunkach polowych. W związku z dużą przepuszczalnością i małą retencyjnością utworów glebowych przy nawadnianiu ściekami ściśle należy przestrzegać wielkości dawki polewowej i harmonogramu nawodnień, ażeby maksymalnie ograniczyć przesiąkanie poniżej wierzchniej (0,5 m) warstwy gleby.

Literatura

1. **Brogowski Z., Czerwiński Z.**, 1996: Materiały do ćwiczeń z gleboznawstwa. Część II. Ćwiczenia laboratoryjne. Wyd. SGGW-AR.
2. **Genuchten M.Th. van**, 1980: A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 44: 892-898.
3. **Genuchten M.Th. van, Leij F. J., Yates S. R.**, 1991: The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. U.S. Environ. Protec. Agency, Washington.
4. **Janowska E., Czepińska-Kamińska D., Harmaciński W.**, 1997: Przemiany leśnych gleb piaszczystych nawadnianych ściekami ziemniaczanymi. *Sylwan* 3: 45-55.
5. **Klute A.**, 1986: Water retention: Laboratory Methods. In: *Methods of soil analysis, Part 1 - Physical and Mineralogical Methods*, Agronomy Monographs No 9, 2nd 635-662.
6. **Ostromęcki J.**, 1964: Wstęp do melioracji rolnych. PWRiL Warszawa.
7. **Stapel Z.**, 1982: Metodyka oznaczania współczynnika filtracji gleb mineralnych do określania rozstawy drenów. *Biblioteczka Wiad. IMUZ* 65.
8. **Zawadzki S.**, 1973: Laboratoryjne oznaczanie zdolności retencyjnych utworów glebowych. *Wiad. IMUZ* 11: 11-30.

*Z Katedry Kształtowania Środowiska i Melioracji SGGW w Warszawie
Brandyk@alpha.sggw.waw.pl*

Summary

Retention and Hydraulic Soil Properties from Forest Wastewater Treatment Plant at Iława

The paper presents the results of the investigations of soil water properties performed at Forest Wastewater Treatment Plant at Iława. The properties were measured for two different sandy soil profiles, from which the first one was non-irrigated and the second one was irrigated with the amount of 600 mm/year of wastewater from Iława Potatoes Processing Plant. In the characteristic layers of these soil profiles the following laboratory measurements were performed: mechanical compositions, particle density, soil moisture retention characteristics and saturated hydraulic conductivity. Also infiltration rate using double ring method was measured in the field. Performed research results shows that the irrigation with sewage waters has significant influence on the top soil layers (0-20 cm) in irrigated soil profile, where the lower values of bulk density and particle density were observed. Both soil profiles are characterised by relatively low soil water retention. The investigated sandy soil profile are characterised by relatively high water permeability which is in the range between 6 and 18 m/d which was confirmed by laboratory and field measurements. Calculated water storage for both profiles for the soil thickness of 0.5 m shows that sprinkler irrigation norm is equal to 30 mm and such value is recommended for sewage water irrigation in order to avoid leakage of pollution to groundwater.