

## MODEL DO WYLICZANIA RETENCJI WODNEJ Z PARAMETRAMI STRUKTURY GLEB

*B. Witkowska-Walczak, R. Walczak*

Instytut Agrofizyki im. B. Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 420- 290 Lublin 27  
e-mail: [rwalczak@demeter.ipan.lublin.pl](mailto:rwalczak@demeter.ipan.lublin.pl)

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono model korelacyjny do wyliczania retencji wodnej gleb z wykorzystaniem parametrów ich struktury. Jest to model, w którym parametrami glebowymi są: gęstość gleby, powierzchnia właściwa mierzona parą wodną, procentowe zawartości frakcji pyłu i iłu oraz procentowe zawartości wodoodpornych agregatów o wymiarach 1-3, 3-5 i 5-10 mm.

**Słowa kluczowe:** retencja wody, model korelacyjny, struktura gleby.

### WSTĘP

Retencja wody w glebie jest podstawową właściwością gleby, opisywaną zależnością pomiędzy zawartością wody w glebie (wilgotnością) a jej potencjałem. Znajomość jej jest konieczna do badań dostępności wody dla roślin, infiltracji, drenażu, przewodnictwa hydraulicznego, melioracji, stresu wodnego roślin oraz ruchu roztworów w glebie. Przestrzenny rozkład właściwości wodnych w glebie jest też ważnym czynnikiem badań pokrywy roślinnej i zmian hydrologicznych powodowanych zmianami klimatu [10,12,17,20].

Wyznaczenie krzywej retencji wodnej gleby jest czasochłonne i pracochłonne, wymaga też użycia specjalistycznej aparatury. Dlatego też prowadzone są liczne prace nad tworzeniem modeli, przy użyciu których można ją określić na podstawie rutynowo mierzonych w laboratoriach innych właściwości gleby. Niektóre z tych modeli zawierają jedynie procentowy udział poszczególnych frakcji granulometrycznych, zawartość próchnicy i gęstość gleby. Inne włączają właściwości hydrauliczne charakterystyczne dla różnych gleb lub warstw profilu

glebowego, uwzględniając ich zmienność przestrzenną. Licznie opracowywane w ostatnim dwudziestolecu modele określają retencję wodną gleb na podstawie ich rozkładu granulometrycznego, gęstości gleby, gęstości cząstek glebowych, dystrybuanty porów, składu mineralogicznego i morfologii gleb [1,4-8,11,13-15,18-21]. W innych modelach wykorzystuje się stopień nasycenia wodą gleby oraz skład mineralogiczny iłów [8,18] lub też wymiary fraktalne cząstek glebowych [2,3,9].

Celem pracy było opracowanie modelu wyliczania krzywej retencji gleb z uwzględnieniem parametrów ich struktury.

### MATERIAŁ GLEBOWY I METODYKA BADAŃ

Badania krzywych retencji wodnej przeprowadzono dla próbek glebowych z warstwy omeij 8 profili glebowych. Były to gleby: bielicowe (2), brunatna (1), parareździna (1), płowe (2) i czarnoziemne (2). Ich podstawowe właściwości fizyczne i chemiczne przedstawiono w Tabeli 1, a gęstość i rozkład agregatowy w Tabeli 2. Wodoodporność agregatów poszczególnych frakcji określono metodą kolejnych cykli nawilżania-osuszania. Krzywe retencji wyznaczono w procesie osuszania dla 9 punktów przy użyciu nisko- i wysokociśnieniowych komór Richardsa. Wyznaczone punkty krzywe retencji obejmowały zakres od  $\psi = 98,1$  do  $\psi = 1,5 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-3}$ , i odpowiadały następującym pF (log  $\psi$ ): 0; 0,4 ;1; 1,5; 2; 2,2; 2,7; 3,7 i 4,2.

**Tabela 1.** Podstawowe właściwości badanych gleb w stanie naturalnym

**Table 1.** Basic properties of the investigated soils in natural state

Typ gleby	Rozkład granulometryczny [%] [mm]			C <sub>org.</sub> [%]	CaCO <sub>3</sub> [%]	pH w KCl	Powierzchnia właściwa (H <sub>2</sub> O) [m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> ].
	1-0,1	0,1-0,02	<0,02				
Czarnoziem	4	50	46	3,0	0,1	6,8	79
Czarnoziem	3	57	40	4,0	0,2	5,8	81
Bielicowa	51	27	22	2,2	0,1	4,6	38
Bielicowa	53	25	22	1,7	0,1	4,5	21
Brunatna	64	21	15	1,5	0,1	4,5	20
Parareździna	3	58	39	0,9	4,1	7,4	39
Płowa	14	47	39	1,8	0,5	7,3	51
Płowa	11	47	42	1,7	1,0	7,3	46

**Tabela 2.** Rozkład agregatowy, gęstość i porowatość badanych gleb w stanie naturalnym**Table 2.** Aggregate size distribution, bulk density and porosity of the investigated soils in natural state

Typ gleby	Rozkład agregatowy [%], [mm]						Gęstość [Mg m <sup>-3</sup> ]	Porowatość [%]
	10-5	5-3	3-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25		
Czarnoziem	22	14	23	15	15	11	1,15	57
Czarnoziem	18	15	17	16	17	17	1,09	59
Bielicowa	26	9	11	9	30	15	1,39	48
Bielicowa	29	10	11	14	22	14	1,45	45
Brunatna	13	4	9	6	44	24	1,43	46
Pararzędzina	47	11	12	9	9	12	1,33	50
Płowa	41	13	14	9	9	14	1,26	42
Płowa	58	11	12	8	4	7	1,32	50

## KONSTRUKCJA PROPONOWANEGO MODELU

W Instytucie Agrofizyki PAN opracowano model statystyczny do wyliczania krzywej retencji wodnej gleb o naruszonej strukturze w procesie osuszania i nawilżania oparty na znajomości fizycznych parametrów opisujących budowę fazy stałej gleby [16,17]. Model ten, nazywany dalej Modelem I, ma postać:

$$\theta_p = b_0 + b_1 Y_1 + b_2 Y_2 + b_3 Y_3$$

dla potencjałów wody glebowej w zakresie od 98,1 (pF 0) do 49·10<sup>3</sup> J m<sup>-3</sup> (pF 2,7) oraz

$$\theta_p = b_0 + b_1 Y_1$$

dla potencjałów wody glebowej wyższych od 49·10<sup>3</sup> J m<sup>-3</sup> (pF 2,7),

gdzie:  $\theta_p$  [m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup>] jest wyliczaną zawartością wody (wilgotnością),  $Y_1$  – powierzchnią właściwą [m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>],  $Y_2$  – średnią ważoną średnicą cząstek gleby [mm],  $Y_3$  – gęstością gleby [Mg m<sup>-3</sup>], a  $b_0, b_1, b_2, b_3$  – są współczynnikami regresji.

Opierając się na powyższym modelu przyjęto, że wprowadzenie parametrów opisujących strukturę agregatów gleby poprawi jego zdolności szacowania,

ponieważ agregacja decyduje o ilości i kształtach porów glebowych, a w szczególności o zawartości porów o dużych wymiarach

Do analizy statystycznej powyższego założenia użyto metody liniowej regresji wielokrotnej i posłużono się standardowym pakietem STATISTICA. Jako parametry wejściowe modelu przyjęto:

- gęstość gleby ( $G$ ) jako parametr informujący o maksymalnej porowatości gleb, a zatem bezpośrednio wpływający na zdolność do zatrzymywania wody;
- powierzchnię właściwą wyznaczoną metodą adsorpcji pary wodnej ( $PW$ ), informującą o składzie mineralogicznym gleb;
- procentowe udziały ilości frakcji pyłu ( $PYL$ ) i łu ( $IL$ ) jako parametry rozkładu granulometrycznego gleb;
- procentowe udziały ilości wodoodpornych agregatów o średnicach 5-10 mm ( $F$  5-10), 3-5 mm ( $F$  3-5) i 1-3 mm ( $F$  1-3) jako parametry rozkładu agregatowego gleb.

Należy podkreślić, że nie wprowadzono jako parametru procentowego udziału frakcji piasku, ponieważ jest on liniowo zależny od wziętych pod uwagę frakcji pyłu i łu, co w analizie statystycznej jest niewskazane. Z tego samego powodu nie uwzględniono procentowych udziałów frakcji agregatów o średnicach mniejszych od 1 mm.

W badaniach przyjęto jako zmienną zależną wilgotność wagową [ $g\ g^{-1}$ ] odpowiadającą określonej wartości potencjału wody glebowej ( $pF$ ) w procesie osuszania. Taki wybór został podyktowany faktem, że do analizy regresji jako zmiennej niezależnej użyto gęstości gleby, która jest funkcyjnie zależna od wilgotności objętościowej gleby [ $m^3\ m^{-3}$ ].

Ostatecznie zatem proponowany model, nazywany dalej Modelem II, przyjął kształt:

$$\theta = a_0 + a_1 \cdot G + a_2 \cdot PW + a_3 \cdot IL + a_4 \cdot PYL + a_5 \cdot F(1-3) + a_6 \cdot F(3-5) + a_7 \cdot F(5-10)$$

gdzie:  $\theta$  - jest obliczaną zawartością wody (wilgotnością) [ $g\ g^{-1}$ ],  $G$  - gęstością gleby [ $Mg\ m^{-3}$ ],  $PW$  - powierzchnią właściwą zmierzoną parą wodną [ $cm^2\ g^{-1}$ ],  $PYL$  i  $IL$  procentowymi udziałami frakcji pyłu i łu,  $F(5-10)$ ,  $F(3-5)$  i  $F(3-1)$  - procentowymi udziałami ilości wodoodpornych agregatów o średnicach 5-10, 3-5 i 3-1 mm, natomiast  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $a_4$ ,  $a_5$ ,  $a_6$  i  $a_7$  są współczynnikami regresji.

## WYNIKI

Wyniki przeprowadzonych analiz statystycznych porównania modelu bez elementów struktury agregatowej gleb (Model I) i modelu z elementami struktury agregatowej gleb (Model II) przedstawiono w Tabeli 3. Wszystkie analizy statystyczne przeprowadzono na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ .

**Tabela 3.** Wyniki analizy statystycznej porównania Modelu I i Modelu II

**Table 3.** Results of statistical analysis of the comparison of the Model I and Model II

Zawartość wody [g g <sup>-1</sup> ] (zmienna zależna odpowiadająca log $\psi$ )	Statystycznie znaczące parametry		R <sup>2</sup>	
	Model I	Model II	Model I	Model II
pF	<i>G, IŁ</i>	<i>G, IŁ</i>	0,9530	0,9573
0,4	<i>G, PW, PYŁ</i>	<i>G, PW, IŁ, PYŁ, F(1-3), F(3-5), F(5-10)</i>	0,7408	0,9031
1	<i>G, PW, PYŁ</i>	<i>G, PW, PYŁ, IŁ, F(1-3), F(3-5), F(5-10)</i>	0,6982	0,8800
1,5	<i>PW, PYŁ</i>	<i>G, PW, PYŁ, F(1-3)</i>	0,7570	0,8399
2	<i>PW, PYŁ</i>	<i>G, PW, PYŁ, F(1-3)</i>	0,7913	0,8333
2,2	<i>PW, PYŁ</i>	<i>G, PW, PYŁ</i>	0,8146	0,8343
2,7	<i>G, PYŁ</i>	<i>G, PYŁ</i>	0,7943	0,8008
3,7	<i>PW, PYŁ</i>	<i>G, PW, PYŁ</i>	0,7470	0,7591
4,2	<i>G, PW</i>	<i>G, PW</i>	0,8759	0,8826

Wyniki badań statystycznych potwierdzają hipotezę, że uwzględnienie w modelach przewidujących zawartość wody w glebie o różnych wartościach potencjału parametrów opisujących agregację gleby wyraźnie zwiększa zdolności predykcyjne modeli, co wyraża się wzrostem wartości współczynnika determinacji R<sup>2</sup>. Dla wilgotności odpowiadającej pF 0,4 istotne statystycznie parametry to zawartość wodoodpornych agregatów frakcji 1-3, 3-5 i 5-10 mm, obok gęstości, powierzchni właściwej, zawartości frakcji pyłu i łu. Ich uwzględnienie w modelu

spowodowało wzrost wartości  $R^2$  z 0,7408 do 0,9031. Podobny wzrost wartości  $R^2$  z 0,6982 do 0,8800 odnotowano dla pF 1. W obu tych przypadkach Model I jako wartości statystycznie znaczące zawierał jedynie gęstość gleby, powierzchnię właściwą i zawartość pyłu. W przypadku pF 1,5 i pF 2 w Modelu I jako wartości istotne statystycznie wystąpiły jedynie powierzchnia właściwa i zawartość pyłu, natomiast w Modelu II dołączyły do nich gęstość gleby i zawartość agregatów frakcji 1-3 mm. Spowodowało to wzrost wartości  $R^2$  dla pF 1,5 z 0,7570 w Modelu I do 0,8399 w Modelu II, a dla pF 2 - z 0,7913 do 0,8333. Dla pozostałych wartości pF uwzględnienie elementów agregacji gleb nie wykazało istotnego statystycznie związku z określeniem zawartości wody, nastąpiła jedynie zmiana ilości parametrów znaczących dla określenia wilgotności przy pF 2,2 i pF 3,7. Zmiana ta dotyczyła w obu przypadkach gęstości gleby, której dodanie podwyższyło wartości  $R^2$  z 0,8146 do 0,8343 dla pF 2,2 i z 0,7470 do 0,7591 dla pF 3,7. Dla pozostałych wartości potencjału wody glebowej tj. pF 0; pF 2,7 i pF 4,2 w oby modelach wystąpiły takie same parametry istotne statystycznie. Należy podkreślić, że minimalne wzrosty wartości  $R^2$  powodowane były większą ilością parametrów uwzględnianych w analizowanych modelach. W przypadku, gdy występowały frakcje agregatów istotne statystycznie wzrosty wartości  $R^2$  były znaczne i wynosiły nawet 0,18. Charakterystyczne jest to, że dla pF 0,4 i pF 1 istotne statystycznie były ilości agregatów frakcji 1-3, 3-5 i 5-10 mm, a dla pF 1,5 i pF 2 jedynie ilość agregatów frakcji 1-3 mm.

## WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań i analizy statystycznej można stwierdzić, że uwzględnienie parametrów struktury gleby w modelu do obliczania zawartości wody o różnych potencjałach znacząco wpływa na podwyższenie zdolności jego predykcji. Porównanie wyników uzyskanych dwoma badanymi modelami pozwala na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. W przypadku estymowania wilgotności odpowiadającej potencjałowi wody pF 0 za pomocą obu modeli otrzymano zbliżony współczynnik korelacji, a parametrami znaczącymi statystycznie były gęstość gleby i zawartość frakcji pyłu; przy zastosowaniu Modelu II nie ujawniła się struktura gleby, ponieważ w przypadku stanu nasycenia wodą gleby (pF 0) wszystkie pory wypełnione są fazą ciekłą.

2. W przypadku estymowania wilgotności odpowiadającej potencjałom wody pF 0,4 i pF 1 przy zastosowaniu Modelu II struktura ujawniała się w widoczny sposób poprzez znaczny wzrost współczynnika korelacji, a procentowe zawartości frakcji agregatów 5-10; 3-5 i 1-3 mm są parametrami znaczącymi statystycznie.
3. W przypadku estymowania wilgotności odpowiadającej potencjałom wody pF 1,5 i pF 2 przy użyciu Modelu II jako wartość istotna statystycznie wystąpiła zawartość procentowa frakcji agregatów 1-3 mm oraz znaczące podwyższenie wartości współczynnika korelacji, co oznacza, że fazowe oddziaływanie w przestrzeniach międzyagregatowych utworzonych przez tę frakcję agregatów stało się dominujące.
4. W przypadku estymowania wilgotności odpowiadającej potencjałom wody pF 2,2 i pF 4,2, tj. ilości wody użytecznej dla roślin magazynowanej w porach średnich, otrzymano zbliżone wartości współczynników korelacji, a struktura gleby uwzględniana w Modelu II przestała się ujawniać, co oznacza, że coraz mniejsze pory zajmowane są przez wodę i jest ona coraz silniej związana z fazą stałą gleby, a większe pory, których ilość jest ściśle związana z występowaniem przestrzeni międzyagregatowych, przestają stopniowo odgrywać rolę w procesie wiązania wody.

#### PIŚMIENNICTWO

1. **Arya L.M., Paris J.F.:** A physicoempirical model to predict the soil moisture characteristic from particle size distribution and bulk density. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 45, 1023-1030, 1981.
2. **Bird N.R., Bartoli F., Dexter A.R.:** Water retention models for fractal soil structure. *European J. Soil Sci.*, 47, 12, 1-6, 1996.
3. **Bird N.R., Perrier E., Rieu M.:** The water retention function for a model of soil structure with pore and soil fractal distributions. *European J. Soil Sci.*, 51, 55-63, 2000.
4. **De Jong R. & Loebel K.:** Water retention equations and their relationship to soil organic matter and particle size distributions for disturbed samples. *Canadian. J. Soil Sci.*, 62, 343-350, 1982.
5. **Gupta S.C., Larson W.E.:** Estimation soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter and bulk density. *Water Resour. Res.*, 15, 1633-1635, 1979.
6. **Haverkamp R., Parlange J.Y.:** Predicting the water retention curve from particle size distribution. *Soil Sci.*, 142, 325-339, 1986.
7. **Husz G.:** Ermittlung der pF-Kurve aus der Textur mit Hilfe von multiplen Regression. *Z. Pflanzenern. Bodenkunde*, 116, 23-29, 1967.
8. **Kern J.S.:** Evaluation of soil water retention models based on basic soil physical properties. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 59, 1134-1141, 1995.

9. **Pachepsky Y.A., Timlin D., Varallyay G.:** Artificial neural networks to estimate soil water retention from easily measurable data. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 60, 727-733, 1996.
10. **Rawls W. L., Bakensiek D.L., Saxton K.E.:** Estimation of soil water properties. *Trans. ASAE.*, 25, 1316-1320, 1982.
11. **Rawls W.J., Gish T.J., Brakensiek D.L.:** Estimation of water retention from soil physical properties and characteristics. *Adv. Soil Sci.*, 16, 213-234, 1991.
12. **Reeve M.J., Smith P.D., Thomasson A.J.:** The effect of density on water retention properties of field soils. *Soil Sci.*, 24, 3, 355-363, 1973
13. **Saxton K.E., Rawls W.J., Romberger J.S., Papendick R.I.:** Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 50, 1031- 1036, 1986.
14. **Varallyay G., Rajkai K., Mironienko J.W., Paczepski J., Szczerbakow R.:** Matematyckoskoje opisanije osnovnyh wodnofizicheskich charakteristik poczw. *Pocwovedenie*, 4, 77-89, 1982.
15. **Vereecken H., Maes J., Feyen J., Darius P.:** Estimating the soil moisture retention characteristics from texture, bulk density and carbon content. *Soil Sci.*, 148, 389-403, 1989.
16. **Walczak R.:** Modelowe badania zależności retencji wodnej od parametrów fazy stałej gleby. *Problemy Agrofizyki*. 41, 5-69, 1984.
17. **Walczak R.:** Dependance des caracteristiques hydrophysiques du sol des parametres de sa phase solide. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 312, 459-471, 1986.
18. **Williams J., Prebble R.E., Williams W.T., Hignett C.T.:** The influence of texture, structure and clay mineralogy on the soil moisture characteristics. *Austr. J. Soil Res.*, 21, 15-22, 1983
19. **Williams R.D., Ahuja L.R., Naney J.W.:** Comparison of the methods to estimate soil water characteristics from soil particle size distribution. *Soil Sci.*, 153, 172-187, 1992.
20. **Witkowska-Walczak B.:** Wpływ struktury agregatowej gleb mineralnych na ich hydrofizyczne charakterystyki. *Acta Agrophysica*, 30, 3-96, 2000.
21. **Witkowska-Walczak B., Walczak R., Sławiński C.:** Correlation model for water retention prediction with soil structure parameters. *Polish J. Soil Sci.*, XXXV, 1, 11-18, 2002.

## MODEL FOR WATER RETENTION PREDICTION WITH SOIL STRUCTURE PARAMETERS

*B. Witkowska-Walczak, R. Walczak*

Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin  
e-mail: rwalczak@demeter.ipan.lublin.pl

Summary. In this paper the model for water retention prediction with soil structure parameters is proposed. It is a correlation model, in which parameters are: bulk density, specific surface area, proportional content of silt and clay as well as proportional content of water-stable aggregates of sizes 1-3, 3-5 and 5-10 mm.

Key words: water retention, soil structure, correlation model.