

PORÓWNANIE TRZECH MODELI KORELACYJNYCH DO OBLICZANIA CHARAKTERYSTYK RETENCJI WODNEJ GLEB

R. Walczak, B. Witkowska-Walczak, C. Sławiński

Institut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27
e-mail: rwalczak@demeter.ipan.lublin.pl

Streszczenie. W pracy przedstawiono porównanie trzech korelacyjnych modeli używanych do wyliczenia krzywej retencji wodnej gleb. Modele te są oparte na zależności pomiędzy wilgotnością gleby przy określonym potencjale wody a parametrami fazy stałej gleby, tj. rozkładzie granulometrycznym, zawartości $C_{org.}$, powierzchni właściwej gleby i jej gęstości. Stwierdzono, że najlepszą zgodność pomiędzy zmierzonymi i wyliczonymi wg modeli wartościami wilgotności uzyskano stosując model Walczaka.

Słowa kluczowe: retencja wody, modele korelacyjne

WPROWADZENIE

Retencja wody jest podstawową hydrofizyczną charakterystyką gleb, opisywaną zależnością pomiędzy zawartością wody w glebie (wilgotnością) a jej potencjałem. Znajomość charakterystyk potencjałów wody glebowej - wilgotność jest niezbędna w badaniach dostępności wody dla roślin, stresu wodnego roślin, infiltracji, drenażu, przewodnictwa wodnego, melioracji oraz przemieszczania się substancji pokarmowych w glebie. Przestrzenny rozkład charakterystyk wodnych w glebie jest też ważnym czynnikiem badań pokrywy roślinnej i zmian hydrologicznych powodowanych klimatem [16,17].

Wyznaczanie charakterystyk potencjałów wody glebowej-wilgotność jest czasochłonne i pracochłonne, wymaga też użycia specjalistycznej drogiej aparatury. Stało się to przyczyną licznie prowadzonych od ponad dwudziestu lat prac nad

tworzeniem algorytmów - modeli, przy użyciu których można określić krzywe retencji wodnej gleby na podstawie rutynowo mierzonych w laboratoriach innych jej fizycznych właściwości [9,10]. Najczęściej brany pod uwagę właściwościami gleby służącymi do wyznaczania jej krzywej retencji są: rozkład granulometryczny (procentowy udział poszczególnych frakcji granulometrycznych), zawartość substancji organicznej (próchnicy) i gęstość. Niekiedy używany jest jedynie rozkład granulometryczny lub też dodatkowo gęstość cząstek glebowych, struktura gleby i skład mineralogiczny iłów. Do szacowania przebiegu krzywej retencji stosowane bywają też mierzone poszczególne wartości charakterystyk wodnych, np. zawartość wody przy pełnym nasyceniu, zawartość wody przy wybranych wartościach potencjału wody glebowej (pF) oraz ilość wody dostępnej dla roślin [1,2,6,8,11,12,14,15,18]. Ostatnio coraz częściej w modelowaniu używane są fraktale oraz sztuczne sieci neuronowe [3,4,5]. Porównania zgodności przebiegu krzywych retencji uzyskiwanych w badaniach laboratoryjnych i wyliczonych przy pomocy różnorodnych modeli były przedmiotem kilku prac [10,14,18].

Celem niniejszej pracy było porównanie wyników obliczeń wilgotności gleby przy różnych potencjałach wody glebowej uzyskiwanych przy zastosowaniu modelu Gupty i Larsona [7], Rawlsa i Brakensieka [13] z wynikami uzyskanymi przy użyciu modelu Walczaka [15] w zestawieniu z wynikami uzyskanymi eksperymentalnie.

MATERIAŁ GLEBOWY I METODYKA POMIARÓW

Określenie wpływu parametrów fazy stałej gleb na charakterystyki potencjał wody glebowej-zawartość wody (wilgotność) przeprowadzono dla próbek glebowych o naturalnej strukturze pobranych z 10 różnych profili glebowych. Były to gleby brunatne (Eutric Cambisols), mady (Eutric Fluvisols), czarne ziemie (Mollic Gleysols), rędzina (Orthic Luvisol) i czarnoziem (Haplic Phaeozem), których podstawowe właściwości przedstawiono w Tabeli 1.

Charakterystyki zdolności retencyjnych wybranych gleb wyznaczono przy użyciu nisko- i wysokociśnieniowych komór Richardsa produkcji SOIL MOISTURE Equipment Corp., California, USA. Badania wykonano dla 11 punktów krzywej retencji w zakresie potencjałów wody glebowej od 98,1 do $1,5 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-3}$ (pF = 0 – pF = 4,2).

Tabela 1. Podstawowe właściwości badanych gleb
Table 1. The basic properties of investigated soils

Typ gleby	Rozkład granulometryczny [%] [ϕ w mm]			C _{org.} [%]	Powierzchnia właściwa (H ₂ O) [m ² g ⁻¹]	Gęstość gleby [g cm ⁻³]
	1-0,1	0,1-0,02	<0,02			
Eutric Cambisol	28	52	20	0,66	30	1,66
Eutric Cambisol	88	6	6	0,86	16	1,75
Eutric Cambisol	57	15	28	1,18	20	1,71
Eutric Cambisol	30	44	26	1,19	28	1,37
Eutric Fluvisol	10	45	45	1,27	70	1,67
Eutric Fluvisol	33	24	43	1,31	63	1,57
Mollic Gleysol	44	37	19	1,74	37	1,72
Mollic Gleysol	21	42	37	2,64	67	1,26
Orthic Luvisol	50	32	18	0,76	21	1,71
Haplic Phaeozem	16	66	18	1,62	37	1,28

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Analizowane modele

Dla każdego z trzech analizowanych modeli przeprowadzono analizę statystyczną opartą na korelacji wielokrotnej pomiędzy zawartością wody w glebie przy określonej wartości potencjału a parametrami fazy stałej gleby. Struktura analizowanych modeli jest podobna i są one używane do obliczania krzywej retencji wodnej gleby na podstawie znajomości parametrów fazy stałej gleby.

Model do obliczania krzywej retencji wodnej gleby opracowany przez Gupta i Larsona [7] jest oparty na następującym równaniu regresji wielokrotnej:

$$\theta_p = a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + a_4 X_4 + a_5 X_5 \quad (1)$$

gdzie: θ_p – przewidywana (obliczona) zawartość wody [m³m⁻³], X_1 – procentowa zawartość frakcji piaszczystej, X_2 – procentowa zawartość frakcji pylastej, X_3 – procentowa zawartość frakcji ilastej, X_4 – procentowa zawartość C_{org.}, X_5 – gęstość gleby [g cm⁻³], a parametry: a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 są współczynnikami regresji.

W modelu Rawlsa i Brakensieka [13], który jest modyfikacją modelu Gupty i Larsona, wykorzystuje się następujące równanie regresji:

$$\theta_p = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + a_5X_5 \quad (2)$$

gdzie: θ_p – przewidywana (obliczona) zawartość wody [m^3m^{-3}], X_1 – procentowa zawartość frakcji piaszczystej, X_2 – procentowa zawartość frakcji pylastej, X_3 – procentowa zawartość frakcji ilastej, X_4 – procentowa zawartość C_{org} , X_5 – gęstość gleby [g cm^{-3}], a parametry: $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ są współczynnikami regresji.

Model Walczaka [15] oparty jest na następującym równaniu regresji wielokrotnej:

$$\theta_p = b_0 + b_1Y_1 + b_2Y_2 + b_3Y_3 \quad (3)$$

dla wartości potencjału wody glebowej od $98,1$ do $49 \cdot 10^3 \text{ J m}^{-3}$ ($\text{pF} = 0 - \text{pF} = 2,7$) i:

$$\theta_p = b_0 + b_1Y_1 \quad (4)$$

dla wartości potencjału wody glebowej większych od $49 \cdot 10^3 \text{ J m}^{-3}$ ($\text{pF} > 2,7$), gdzie: θ_p - przewidywana (obliczona) zawartość wody [m^3m^{-3}], Y_1 - powierzchnia właściwa gleby wyznaczona metodą adsorpcji pary wodnej [m^2g^{-1}], Y_2 - średnia ważona średnica cząstek glebowych [mm], Y_3 - gęstość gleby [g cm^{-3}], a parametry: b_0, b_1, b_2, b_3 są współczynnikami regresji.

Średnia ważona średnica cząstek glebowych (D), występująca w równaniu (3) jako Y_2 , jest obliczana wg następującej zależności:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{D_{i_{\max}} + D_{i_{\min}}}{2} \right) \cdot P_i}{100\%} \quad (5)$$

gdzie: n – liczba frakcji, $D_{i_{\max}}$ i $D_{i_{\min}}$ - maksymalna i minimalna średnica i-tej frakcji [mm], P_i – procentowa zawartość i-tej frakcji.

Analiza statystyczna

Zawartości wody (wilgotności) w badanych glebach obliczone przy użyciu wyżej przedstawionych modeli porównano z zawartością wody (wilgotnością) uzyskaną z badań laboratoryjnych. Porównania dokonano poprzez analizę korelacji parametrów pomiędzy wartościami obliczonymi przy pomocy modeli i wartościami uzyskanymi eksperymentalnie. Wyniki porównania przedstawiono na Rys.1.

Dla każdego z badanych modeli wyznaczono również równania regresji pomiędzy obliczonymi i zmierzonymi wartościami wilgotności:

$$\theta_{Gupta} = 0,11160 + 0,72197 \cdot \theta_{zmiierzona} \quad (6)$$

$$\theta_{Rawls} = 0,06762 + 0,88028 \cdot \theta_{zmiierzona} \quad (7)$$

$$\theta_{Walczak} = -0,0289 + 0,91 \cdot \theta_{zmiierzona} \quad (8)$$

a wyniki przeprowadzonej analizy statystycznej zestawiono w Tabeli 2.

Tabela 2. Współczynniki korelacji (R), standardowe błędy estymacji (SEE), współczynniki Snedecora (F) i współczynniki (t) dla analizowanych modeli

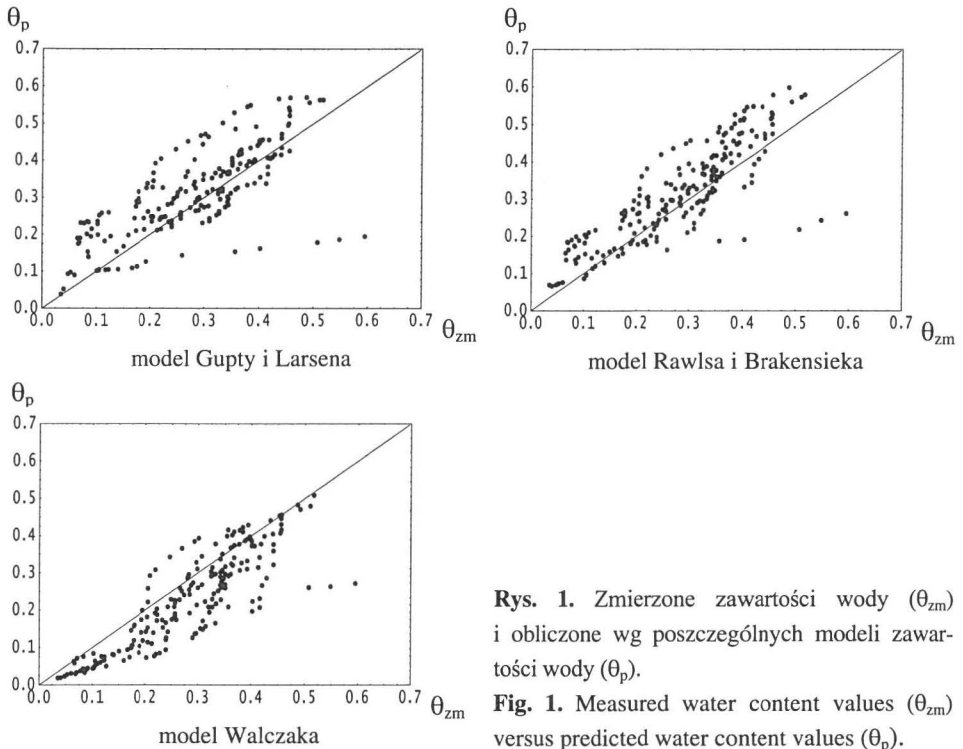
Table 2. Correlation coefficients (R), standard errors of estimation (SEE), Snedecor coefficients (F) and (t) coefficients for the analysed models

Model	R	SEE	F	t
Gupta i Larson	0,7352	0,0795	232	15,26
Rawls i Brakensiek	0,8239	0,0723	418	20,46
Walczak	0,8658	0,0633	593	24,35

Modele Gupty i Larsona oraz Rawlsa i Brakensieka charakteryzują się bardzo podobną strukturą. Różnią się jedynie wolnym wyrazem (a_0) występującym w równaniu regresji. Jako zmienne niezależne występują w nich: procentowe zawartości frakcji piasku, pyłu i łu, procentowa zawartość C_{org} oraz gęstość gleby. Ze statystycznego punktu widzenia równoczesne stosowanie w równaniach regresji procentowych zawartości piasku, pyłu i łu wydaje się być niewłaściwe, gdyż ilości poszczególnych frakcji są od siebie zależne liniowo i sumują się osiągając 100%. W modelu Walczaka rozkład granulometryczny reperezetowany jest jednym parametrem, tj. średnią ważoną średnicą cząstek glebowych, zawartość C_{org} pominięto, a gęstość gleby uwzględniono w przypadkach potencjału wody glebowej mniejszego od $49 \cdot 10^3 \text{ Jm}^{-3}$ ($pF < 2,7$), gdyż dla tych wartości potencjału determinuje ona przebieg krzywej retencji wodnej. Równocześnie do modelu wprowadzono wielkość powierzchni właściwej wyznaczonej metodą adsorpcji pary wodnej, parametru który, jest ściśle związany z właściwościami wodnymi gleby.

Przeprowadzona analiza statystyczna, której wyniki zamieszczono w Tabeli 2, wykazała, że spośród badanych modeli opartych na wielokrotnej korelacji liniowej pomiędzy parametrami fazy stałej gleby a jej krzywymi retencji, model Walczaka opisuje przebieg statycznych charakterystyk hydrofizycznych z najmniejszym błędem estymacji. Najwyższy współczynnik korelacji ($R = 0,8658$), najmniejszy standardowy błąd estymacji ($SEE = -0,0633$) oraz najwyższa wartość testu Snedecora ($F = 593$) i współczynnika t ($t = 24,35$) w przypadku stosowania

modelu Walczaka wskazuja, że przy jego użyciu popełniane są najmniejsze błędy przy obliczaniu przebiegu krzywej retencji.



Rys. 1. Zmierzone zawartości wody (θ_{zm}) i obliczone wg poszczególnych modeli zawartości wody (θ_p).

Fig. 1. Measured water content values (θ_{zm}) versus predicted water content values (θ_p).

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań eksperymentalnych oraz obliczeń przebiegu krzywych retencji wodnej gleb przy użyciu wybranych modeli korelacyjnych i przeprowadzonej analizy statystycznej można stwierdzić, że model Walczaka, zawierający średnią ważoną średnicę cząstek glebowych, powierzchnię właściwą gleby i jej gęstość jest najbardziej przydatny do opisywania rzeczywistego przebiegu krzywych retencji wodnej gleb. Potwierdzają to najwyższe wartości współczynnika korelacji, najmniejsza wartość błędu estymacji oraz najwyższe wartości testu Snedecora i współczynnika t. Uzyskane w wyniku obliczeń wartości wilgotności wg modelu Walczaka są najbliższe uzyskanym z wyników eksperymentalnych.

PIŚMIENNICTWO

1. **Ahuja L.R., Naney J.W., Williams R.D.:** Estimating soil water characteristics from simpler properties or limited data. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49, 1100-1105, 1985.
2. **Arya L.M., Paris J.F.:** A physicoempirical model to predict the soil moisture characteristics from particle size distribution and bulk density data. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45, 1023-1030, 1981.
3. **Assouline S., Tessier D., Bruand A.:** A conceptual model of the soil water retention curve. *Water Resour. Res.*, 34, 223-231, 1998.
4. **Bird N.R., Bartoli F., Dexter A.:** Water retention models for fractal soil structures. *European J. Soil Sci.*, 47, 1-6, 1996.
5. **Bird N.R., Dexter A.R.:** Simulation of soil water retention using random fractal networks. *European J. Soil Sci.*, 48, 633-641, 1997.
6. **Carsel R.F., Parrish R.S.:** Developing joint probability distributions of soil water retention characteristics. *Water Resour. Res.*, 24, 755-769, 1988.
7. **Gupta S.C., Larson W.E.:** Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter content and bulk density. *Water Resour. Res.*, 15, 1633-1635, 1979.
8. **Haverkamp R., Parlange J.Y.:** Predicting the water retention curve from particle size distribution. *Soil Sci.*, 142, 325-339, 1986.
9. **Husz G.:** Ermittlung der pF-Kurve aus der Textur mit Hilfe von multiplen Regression. *Z. Pflanzenern. Bodenkunde*, 116, 23-29, 1967.
10. **Kern J.S.:** Evaluation of soil water retention models based on basic soil physical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59, 1134-1141, 1995.
11. **Kravchenko A., Zhang R.D.:** Estimating the soil water retention from particle size distributions: a fractal approach. *Soil Sci.*, 163, 171-179, 1998.
12. **Rajkai K., Varallyay G.:** Estimating soil water retention from simpler soil properties by regression techniques. In: van Genuchten M.Th., Leij F.J. & Lund L.J. (eds.). *Indirect methods for estimating the hydraulic properties of unsaturated soils. Proc. Intern. Workshop "Indirect methods for estimating the hydraulic properties of unsaturated soils"*. USDA, ARS, Riverside, California, Oct. 11-13, 1989.
13. **Rawls W.J., Brakensiek D.L.:** Estimating soil water retention from soil properties. *J. Irrigation and Drainage, Div. ASCE*, 108, 166-171, 1982.
14. **Varallyay G., Rajkai K., Mironienko J.W., Paczepski J., Szczerbakow R.A.:** Matematyckoskoje opisanije osnovnyh wodnofizicheskikh charakteristik poczw. *Pocvov.*, 4, 77-85, 1982.
15. **Walczak R.:** Model investigations of relationship between water retention and soil solid phase parameters (in Polish). *Problemy Agrofizyki*, 41, 5-69, 1984.
16. **Walczak R., Zawadzki S.:** Soil water as a basic factor of the growth and crop yield of plants. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 220, I, 53-59, 1979.
17. **Witkowska-Walczak B.:** Woda w środowisku przyrodniczym. *Acta Agrophysica*, 53, 7-16, 2001.
18. **Williams R.D., Ahuja L.R., Naney J.W.:** Comparisons of methods to estimate soil water characteristics from soil particle size distribution, bulk density and limited data. *Soil Sci.*, 153, 172-186, 1992.

COMPARISON OF CORRELATION MODELS FOR ESTIMATION OF SOIL WATER RETENTION CURVES

R. Walczak, B. Witkowska-Walczak, C. Sławiński

Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27
e-mail: rwalczak@demeter.ipan.lublin.pl

Summary. This paper presents a comparison of three models for estimation of soil water retention characteristics [Gupta & Larson, 1979; Rawls & Brakensiek, 1982; Walczak, 1984]. They are based on the correlation between soil water content values at chosen values of the soil water potential and the soil solid phase parameters, i.e. particle size distribution, content of $C_{org.}$, specific surface area and bulk density.

Key words: soil water retention, correlation models.