

PORÓWNANIE ZMIERZONYCH I OSZACOWANYCH WARTOŚCI
WSPÓŁCZYNNIKA PRZEWODNICTWA WODNEGO
GLEB MURSZOWYCH*

C. Sławiński, R. T. Walczak

Instytut Agrofizyki im. B. Dobrzańskiego, Polska Akademia Nauk
ul. Doświadczalna 4, P.O. Box 201, 20-290 Lublin 27
E-mail: cslawin@demeter.ipan.lublin.pl

S t r e s z c z e n i e. W pracy przedstawiono porównanie wartości współczynnika przewodnictwa hydraulicznego w strefie nienasyconej, wyznaczonych metodą profili chwilowych i estymowanych, na bazie krzywych retencji wodnej, przy pomocy modelu Mualema-Van Genuchtena. Estymowane na podstawie krzywych retencji wodnej wartości współczynnika przewodnictwa wodnego w strefie nienasyconej, dla gleb murszowych, wykazują dobrą zgodność z wartościami wyznaczonymi doświadczalnie, szczególnie w zakresie potencjałów wody glebowej od 10 do 500 hPa (pF od 1 do 2,7).

S ł o w a k l u c z o w e: współczynnik przewodnictwa wodnego, metoda profili chwilowych, model Mualema-Van Genuchtena

WSTĘP

Właściwości hydrofizyczne gleby takie jak zależność potencjał wody glebowej-wilgotność oraz współczynnik przewodnictwa wodnego w strefie nasyconej i nienasyconej mają decydujący wpływ na kształtowanie warunków wzrostu i plonowania roślin. Decydują one o dostępności wody dla systemu korzeniowego roślin oraz o jej przemieszczaniu się wraz z rozpuszczonymi w niej substancjami chemicznymi do warstw głębszych. Substancje te, to niezbędne do wzrostu roślin substancje pokarmowe, ale także różnego rodzaju substancje chemiczne stanowiące zagrożenie dla środowiska. Panujące w glebie warunki wilgotnościowe determinują w sposób zasadniczy właściwości cieplne i mechaniczne decydując o kształtowaniu się temperatury w profilu glebowym, a także o warunkach i efektywności oddziaływań mechanicznych na glebę.

*Praca częściowo wykonana w ramach projektu badawczego nr P06B 012 15 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych.

Dlatego też w Instytucie Agrofizyki PAN, w ramach projektu badawczego finansowanego przez KBN Nr P06B 012 15, podjęto prace nad stworzeniem zbioru informacji o przestrzennej zmienności hydrofizycznych charakterystyk gleb ornych Polski w postaci bazy danych oraz map na podstawie 270 wzorcowych profili glebowych reprezentujących 25 podstawowych jednostek glebowych wyodrębnionych w Banku Próbek Glebowych Polski [4,6,10,13].

Znajomość właściwości hydrofizycznych jest niezbędna do interpretacji i przewidywania przebiegu praktycznie wszystkich procesów fizycznych, chemicznych i biologicznych zachodzących w glebie.

Modelowanie tych procesów wymaga reprezentatywnych danych o właściwościach hydrofizycznych gleby. Modele hydrologiczne wchodzące w skład modeli wzrostu i plonowania roślin wymagają jako danych wejściowych charakterystyk potencjału wody glebowej-wilgotność i zależności współczynnika przewodnictwa wodnego od potencjału wody lub wilgotności. Wyznaczenie eksperymentalne tej charakterystyki wymaga specjalistycznej aparatury i metodyki, a zatem metody estymacji współczynnika przewodnictwa wodnego w strefie nienasyconej na podstawie znajomości innych fizycznych parametrów gleby są niezbędne dla praktycznego wykorzystania.

Celem pracy jest porównanie wartości współczynnika przewodnictwa wodnego w strefie nienasyconej gleb murszowych wyliczonych metodą profili chwilowych [7,9,12] i oszacowanych na podstawie krzywej retencji wodnej przy użyciu modelu Mualema-Van Genuchtena [8,11].

MATERIAŁ I METODY

Porównania, wyznaczonego metodą profili chwilowych i estymowanego przy pomocy modelu, współczynnika przewodnictwa wodnego w strefie nienasyconej przeprowadzono dla pięciu próbek glebowych warstwy ornej gleb murszowatych i murszy. Gleby te charakteryzujących się dużą jednorodnością właściwości fizycznych i hydrofizycznych (Tabela 1).

Pobór wody przez rośliny, zapewniający odpowiedni przebieg ich funkcji fizjologicznych, warunkowany jest wartością potencjału wody glebowej oraz możliwością odpowiednio intensywnego jej dyfundowania z otaczającej gleby do korzeni roślin o czym decyduje współczynnik przewodnictwa hydraulicznego.

Współczynnik przewodnictwa hydraulicznego w strefie nienasyconej można wyznaczyć metodami bezpośrednimi [7,9,12,14,15] które są czasochłonne i wymagają specjalistycznej aparatury pomiarowej oraz przy użyciu standardowo używanych modeli pozwalających oszacować ten współczynnik z przebiegu krzywej retencji wodnej [1-3].

Tabela 1. Wybrane właściwości fizyczne i hydrofizyczne badanych gleb
 Table 1. Chosen physical and hydrophysical properties of investigated soils

Miejsce pobrania gleby	Ks (m doba ⁻¹)	Powierzchnia właściwa H ₂ O (cm ² g ⁻¹)	Gęstość (g cm ⁻³)
Rzędziny (1)	1,0	38,4	1,47
Zygmunt (2)	7,1	16,4	1,27
Boruja Nowa (3)	14,7	17,5	1,51
Laski Stare (4)	51,7	18,1	1,54
Pietrzyk (5)	1,1	30,7	1,44

Jedną z metod bezpośrednich wyznaczania współczynnika przewodnictwa wodnego w strefie nienasyconej jest metoda profili chwilowych. Oparta jest ona na pomiarze zmiennych w czasie wartości wilgotności i potencjału wody w warstwach kolumny glebowej, przy pomocy zestawu pomiarowego TDR [7,9,12], w procesie nawilżania lub osuszania próbki glebowej.

Pomiary współczynnika przewodnictwa wodnego w zakresie potencjałów od 0 do -900 hPa zostały przeprowadzone na próbkach glebowych o nienaruszonej strukturze w standardowych cylindrach Kopeckiego.

Uzyskane z pomiarów dane o dynamice profili wilgotności i potencjału wody glebowej w czasie i przestrzeni pozwalają na wyliczenie strumieni wody przepływającej przez wybrane warstwy kolumny glebowej i na tej podstawie wyznaczenie współczynnika przewodnictwa hydraulicznego w strefie nienasyconej. Zakładając, że proces transportu wody jest procesem jednowymiarowym oraz odbywa się w ośrodku homogenicznym i warunkach izotermicznych, do wyliczenia współczynnika przewodnictwa hydraulicznego można użyć jednowymiarowego równania Darcy:

$$q(z, t) = -k(\theta) \left(\frac{\partial \psi(z, t)}{\partial z} - 1 \right) \quad (1)$$

oraz równania umożliwiającego wyliczenie strumieni z danych eksperymentalnych:

$$q(z, t) = - \int_0^z \frac{\partial \theta(z, t)}{\partial t} dz. \quad (2)$$

Porównując oba równania otrzymamy wyrażenie umożliwiające wyliczenie współczynnika przewodnictwa hydraulicznego jako funkcji wilgotności lub potencjału wody glebowej:

$$k(\theta) = \frac{\int_0^z \frac{\partial \theta}{\partial t} dz}{\frac{\partial \psi(z,t)}{\partial z} - 1} \quad (3)$$

gdzie: $q(z,t)$ - strumień wody przepływający w danym czasie t przez wybrany przekrój na głębokości z kolumny glebowej, $k(\theta)$ - współczynnik przewodnictwa hydraulicznego w strefie nienasyconej w funkcji wilgotności, $\theta(z,t)$ - wilgotność w danej warstwie kolumny glebowej z w określonym czasie t , $\psi(z,t)$ - potencjał wody glebowej w danej warstwie kolumny z glebowej w określonym czasie t .

Jednym z powszechnie używanych modeli do estymacji współczynnika przewodnictwa wodnego w strefie nienasyconej na podstawie przebiegu krzywej retencji wodnej jest model Mualema-Van Genuchtena [8, 11]:

$$k(\psi) = k_s \frac{\left\{ 1 - (\alpha|\psi|)^{n-1} \left[1 + (\alpha|\psi|)^n \right]^{-m} \right\}^2}{\left[1 + (\alpha|\psi|)^n \right]^{\frac{m}{2}}} \quad (4)$$

W równaniu tym k_s jest współczynnikiem przewodnictwa hydraulicznego w strefie nasyconej, $k(\psi)$ - współczynnikiem przewodnictwa hydraulicznego w strefie nienasyconej, a ψ - potencjałem wody glebowej. Model ten jest modelem matematycznym, a parametry równania m , n i α nie posiadają sensu fizycznego. Ich estymacja odbywa się metodą najmniejszych kwadratów na drodze kolejnych iteracji przy czym:

$$m = 1 - \frac{1}{n}. \quad (5)$$

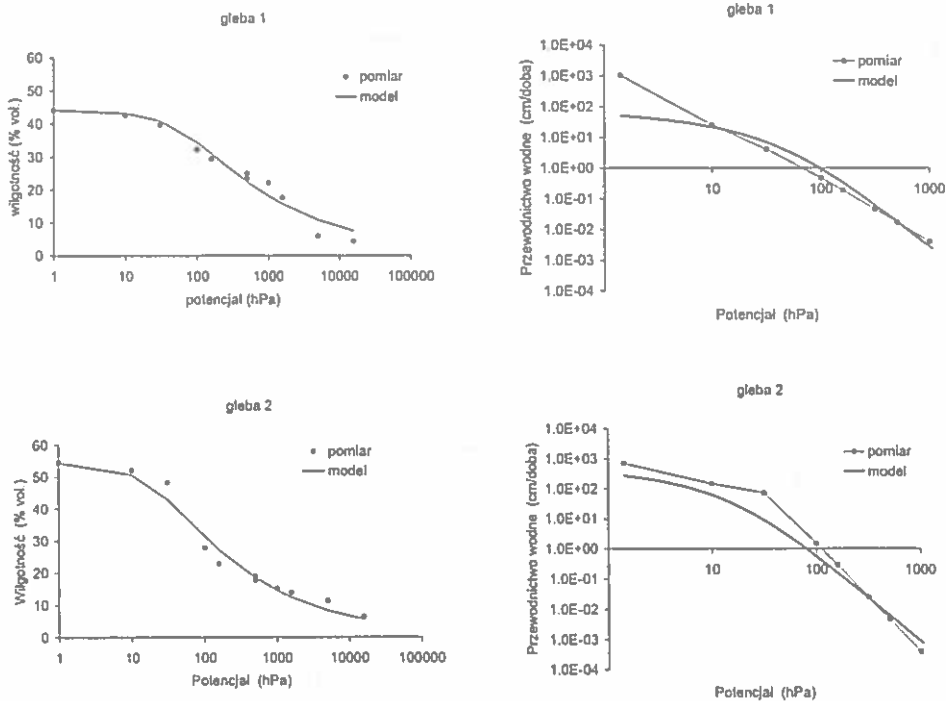
Estymacji współczynnika przewodnictwa wodnego w strefie nienasyconej dokonano na podstawie charakterystyk potencjał wody glebowej-wilgotność (krzywa pF) otrzymanych z pomiarów w komorach Richardsa.

WYNIKI BADAŃ

Materiał glebowy do badań wybrany został w taki sposób aby można było ocenić rozbieżności, pomiędzy estymowanymi przy użyciu modelu wartościami przewodnictwa a wyznaczonymi metodą profili chwilowych, wynikające ze struktury modelu i jego możliwości opisanie rzeczywistego przebiegu charakterystyk.

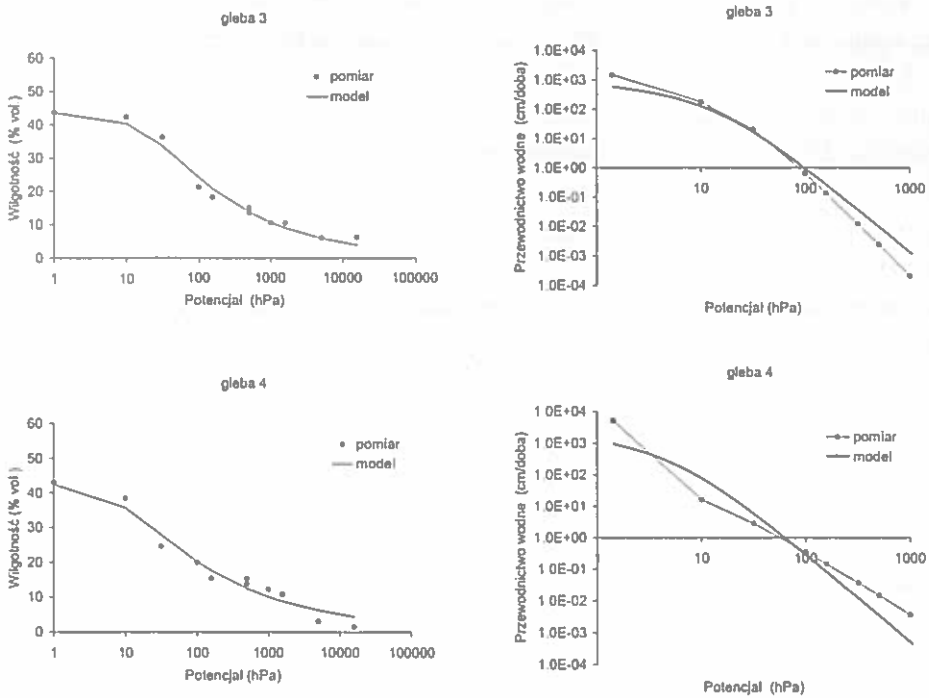
Na Rys. 1 przedstawiono krzywe retencji wodnej oraz zależność współczynnika przewodnictwa wodnego od potencjału wody glebowej badanych gleb.

Z analizy wykresów wynika, że estymowane na podstawie krzywych retencji wodnej wartości współczynnika przewodnictwa wodnego w strefie nienasyconej wykazują dobrą zgodność z wartościami wyznaczonymi doświadczalnie, szczególnie w zakresie potencjałów wody glebowej od 10 do 500 hPa (pF od 1 do 2.7), wtedy gdy estymowana przez model krzywa retencji wodnej dobrze opisuje przebieg rzeczywistej zależności potencjał wody glebowej-wilgotność. W zakresie wyższych, co do wartości bezwzględnej, potencjałów wody glebowej (powyżej 500 hPa), jak też niskich wartości (poniżej 10 hPa) występują rozbieżności pomiędzy estymowanymi i wyznaczonymi wartościami współczynnika przewodnictwa wodnego.



Rys. 1. Krzywe retencji wodnej i zależność współczynnika przewodnictwa wodnego od potencjału wody glebowej badanych gleb.

Fig. 1. Water retention curves and unsaturated hydraulic conductivity of investigated soils.



Rys. 1. Kontynuacja.

Fig. 1. Continuation.

WNIOSKI

Uzyskane wyniki badań pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Matematyczny model Mualema-Van Genuchtena do estymacji współczynnika przewodnictwa wodnego w strefie nienasyconej na podstawie znajomości krzywej retencji wodnej dobrze opisuje rzeczywistą zależność tego współczynnika od potencjału wody dla gleb murszowych.

2. W zakresie potencjałów wody glebowej, co do wartości bezwzględnej, od 10 do 500 hPa model Mualema-Van Genuchtena dobrze opisuje zależność przewodnictwa wodnego od potencjału wody glebowej, dlatego też w tym zakresie potencjałów wartości współczynnika mogą być estymowane na podstawie krzywej retencji wodnej i używane z dobrym przybliżeniem w modelach hydrologicznych jako dane wejściowe.

3. W zakresie wyższych, co do wartości bezwzględnej, potencjałów wody glebowej (powyżej 500 hPa), jak też niskich wartości (poniżej 10 hPa) występują różnice pomiędzy estymowanymi i wyznaczonymi wartościami współczynnika przewodnictwa wodnego. Występujące różnice można tłumaczyć typowo matematycznym charakterem funkcji Mualema-Van Genuchtena oraz różnicami pomiędzy estymowanymi i zmierzonymi charakterystykami krzywej retencji wodnej.

PIŚMIENNICTWO

1. Brooks R.H., Corey A.T.: Hydraulic properties of porous media. Hydrology paper no. 3, Colorado State university, Fort Collins, CO, 1964.
2. Burdine N.T.: Relative permeability calculations from pore-size distribution data. Petrol. Trans. Am. Inst. Min. Eng., 198, 71-77, 1953.
3. Gardner W.R.: Some steady state solutions of the unsaturated moisture flow equation with applications to evaporation from water table. Soil Sci., 85, 228-232, 1958.
4. Gliński J., Ostrowski J., Stępniewska Z., Stępniewski W.: Bank próbek glebowych reprezentujących gleby mineralne Polski. Problemy Agrofizyki, 66, 1991
5. Instrukcja obsługi komór niskociśnieniowych LAB 012 i wysokociśnieniowych LAB 0123. Soil Moisture Equipment Company. Santa Barbara, California, USA, 1987.
6. Koźmiński Z.: Atlas uwilgotnienia gleb w Polsce. AR Szczecin, 1997.
7. Malicki M.A., Plagge R., Renger M., Walczak R.T.: Application of time-domain reflectometry (TDR) soil moisture miniprobe for the determination of unsaturated soil water characteristics from undisturbed soil cores. Irrig. Sci., 13, 65-72, 1992.
8. Mualem Y.: A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. Water Resour. Res., 12, 513-522, 1976.
9. Sobczuk H.A., Plagge R., Walczak R.T., Roth Ch.H.: Laboratory equipment and calculation procedure to rapidly determine hysteresis of some soil hydrophysical properties under non steady flow conditions. Z. Pflanz. Bodenkd., 155, 157-163, 1992.
10. Stępniewska Z., Stępniewski W., Gliński J., Ostrowski J.: Atlas oksydoredukcyjnych właściwości gleb. IA PAN Lublin - IMUZ Falenty, 1996.
11. Van Genuchten M.Th.: A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 44, 892-898, 1980.
12. Walczak R.T., Sławiński C., Malicki M., Sobczuk H.: Measurement of water characteristics in soils using TDR technique: water characteristics of loess soil under different treatment. Int. Agropysics, 7, 175-182, 1993.
13. Walczak R., Sławiński C., Witkowska-Walczak B.: Bank danych o hydrofizycznych charakterystykach gleb ornych Polski. Mat. Konf. "Modelowanie i monitorowanie procesów agrofizycznych w środowisku glebowym", Lublin, 107, 1999.
14. Wendroth O., Ehlers W., Hopmans J. W., Kage H., Halbertsma J., Wosten J.H. M.: Reevaluation of the evaporation method for determining hydraulic functions in unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 57, 1436-1443, 1993.
15. Wind G.P.: Capillary conductivity data estimated by simple method. In Water in the unsaturated zone. (Eds P.E. Rijtema, H. Wassink). Proc. Wageningen Symp. June 1966, Vol 1. ISAH, Gentbrugge/UNESCO, Paris, 1968.

COMPARISON OF MEASURED AND ESTIMATED VALUES OF UNSATURATED WATER CONDUCTIVITY OF MOORSH SOILS

C. Sławiński, R.T. Walczak

Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27
P.O. Box 201, Poland, E-mail: cslawin@demeter.ipan.lublin.pl

SUMMARY

In this paper the comparison of values of unsaturated soil conductivity determined by instantaneous profile method and estimated, on the base of pF curve, by Mualem - Van Genuchten model is presented. Estimated values of unsaturated soil hydraulic conductivity show good agreement with values determined experimentally, especially in the range of water potential between 10 and 500 hPa (pF from 1 to 2.7).

K e y w o r d s: hydraulic conductivity, instantaneous profile method, Mualem - Van Genuchten model, moorsh soils.