

OCENA ZASOLENIA GLEB MINERALNYCH NA PODSTAWIE ICH KONDUKTYWNOŚCI ORAZ PRZENIKALNOŚCI ELEKTRYCZNEJ

M. A. Malicki, R. T. Walczak

Instytut Agrofizyki im. B. Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27

e-mail: mmal@demeter.ipan.lublin.pl , rwalczak@demeter.ipan.lublin.pl

Streszczenie. Podjęto próbę interpretacji w kategoriach zasolenia gleby, ekE , jej konduktywności elektrycznej, $ekG(\theta_p)$, oraz przenikalności elektrycznej, $\varepsilon(\theta_p)$. Analizowano wpływ elektrycznej konduktywności stosowanego do nawilżania próbek roztworu KCl, ekE^* , na elektryczną przenikalność, ε , oraz elektryczną konduktywność, ekG , gleb mineralnych, badanych w elektrycznym polu impulsu o czasie narastania 250 ps. Stwierdzono pomijalny wpływ zasolenia gleby, ekE , na jej przenikalność elektryczną, $\varepsilon(\theta_p)$, przy jego silnym oddziaływaniu na elektryczną konduktywność gleby, ekG . Pokazano, że pochodna $\partial ekG/\partial \varepsilon$ może być, dla danej gleby, miarą jej względnego zasolenia, możliwego do wyznaczenia z jednoczesnych pomiarów *in situ* elektrycznej konduktywności oraz elektrycznej przenikalności gleby, zmierzonych jednocześnie przy tej samej wilgotności, θ_p , większej niż $0.20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Wielkość tę nazwano **Wskaźnikiem Zasolenia, WZ**. Określono formułę pozwalającą policzyć **zasolenie**, ekE , jeśli uwzględni się zawartość w glebie frakcji piasku, *zfp*. Porównanie wyliczonych wartości zasolenia gleby z jego wartościami rzeczywistymi wykazało wyraźną korelację ($R^2 = 0.97$).

Słowa kluczowe: zasolenie gleby, elektryczna konduktywność gleby, elektryczna przenikalność gleby, time-domain reflectometry.

WSTĘP

Zasolenie gleby, definiowane jako koncentracja soli w „wodzie glebowej” (zwanej dalej **elektrolitem**) w gramach (sumarycznej zawartości) soli na litr wody albo w gramach soli na gram gleby, jest wielkością trudną, a *in situ* niemożliwą, do zmierzenia. Z tego powodu określa się je we względnych kategoriach łatwiejszej do wyznaczenia elektrycznej konduktywności **Elektrolitu**, ekE , której wartość jest w warunkach praktycznych liniowo zależna od koncentracji soli [1] i której

znajomość wystarcza zarówno dla celów teoretycznych, jak wgląd w migrację soli czy ocena tolerancji uprawy na zasolenie gleby oraz aplikacyjnych, jak kontrola przemywania profilu gleby w celu utrzymania zasolenia poniżej poziomu krytycznego. Tak więc, **zasolenie** gleby jest mierzone **elektryczną przewodnością elektrolitu**, (ekE), w glebie i jest w jednostkach elektrycznej przewodności, $S\ m^{-1}$, wyrażane.

Ponieważ w cyfrowych systemach akwizycji danych czytelne są wyłącznie sygnały elektryczne, dlatego za perspektywiczne uważa się te metody pomiaru zasolenia, które pozwalają na **jednoznaczne** przetwarzanie *in situ* zasolenia, lub wielkości nim warunkowanych, na proporcjonalny **sygnał elektryczny**.

Pomiar zasolenia (tzn. ekE) nie został dotychczas rozwiązany zadowalająco [3,5]. Powszechnie stosuje się metody elektrooporowe, oparte o pomiar **elektrycznej przewodności Gleby**, ekG . Jednakże wartość ekG jest, poza ekE , warunkowana również **wilgotnością** gleby oraz **geometrią** jej fazy stałej [4] (decydującą o **krętości** wiodących prąd elektryczny ścieżek elektrolitu). Dlatego warunkiem realizacji elektrycznego pomiaru zasolenia w oparciu o ekG jest uwzględnienie wilgotności gleby, θ , oraz parametru jej fazy stałej decydującego o krętości ścieżek elektrolitu łączących elektrody czujnika. Zatem elektryczny pomiar zasolenia należy oprzeć o więcej niż jedną (ekG) wielkość, podobnie warunkowanych wilgotnością gleby, θ , a różnie jej zasoleniem, ekE . Przesłanką metodyczną może tu być spostrzeżenie [2], że zasolenie, ekE , dominująco warunkuje zależność $ekG(\theta)$ podczas gdy jego wpływ (przy występujących praktycznie w polu wartościach rzędu $0,1\ S\ m^{-1}$) na zależność pomiędzy elektryczną przenikalnością gleby a jej wilgotnością, $\varepsilon(\theta)$, jest pomijalny (Rys. 1a). Uwzględniając powyższe oraz biorąc pod uwagę podobieństwo funkcji $\varepsilon(\theta)$ oraz $ekG(\theta)$ założono, że stosunek ich nachyleń przy danej wilgotności nie powinien od wilgotności silnie zależeć. Powinien on, jednakże, wyraźnie zależeć od zasolenia gleby. Opierając się na powyższym założeniu podjęto próbę interpretacji w kategoriach zasolenia gleby, ekE , jej przewodności elektrycznej, $ekG(\theta_i)$, oraz przenikalności elektrycznej, $\varepsilon(\theta_i)$, mierzonych przy tej samej wilgotności, θ_i .

METODA

Analizowano [2] wpływ elektrycznej przewodności, ekE^* , stosowanego do nawilżania próbek roztworu KCl na elektryczną przenikalność, ε , oraz elektryczną przewodność, ekG , gliny pylastej, lessu, piasku rzecznoego, piasku kwarcowego oraz piasku gliniastego. Wyniki, pokazane na Rys. 1a) i 1b) wykazują pomijalny

wpływ zasolenia gleby na jej przenikalność elektryczną przy wyraźnym jego oddziaływaniu na elektryczną konduktywność gleby. Biorąc pod uwagę podobieństwo postaci funkcji $\varepsilon(\theta)$ oraz $ekG(\theta)$ postawiono hipotezę, że stosunek ich pochodnych:

$$\frac{\frac{\partial ekG}{\partial \theta}}{\frac{\partial \varepsilon}{\partial \theta}} = \frac{\partial ekG}{\partial \varepsilon} = f(ekE) \neq f(\theta) \quad (1)$$

jest, przy tej samej wilgotności θ , niezależną od wilgotności gleby funkcją jej zasolenia, $f(ekE)$. Znaczy to, że wartość pochodnej $\partial ekG/\partial \varepsilon$ powinna zależeć od koncentracji soli w elektrolicie, zaś od koncentracji elektrolitu w glebie (tzn. od wilgotności gleby) powinna być niezależna.

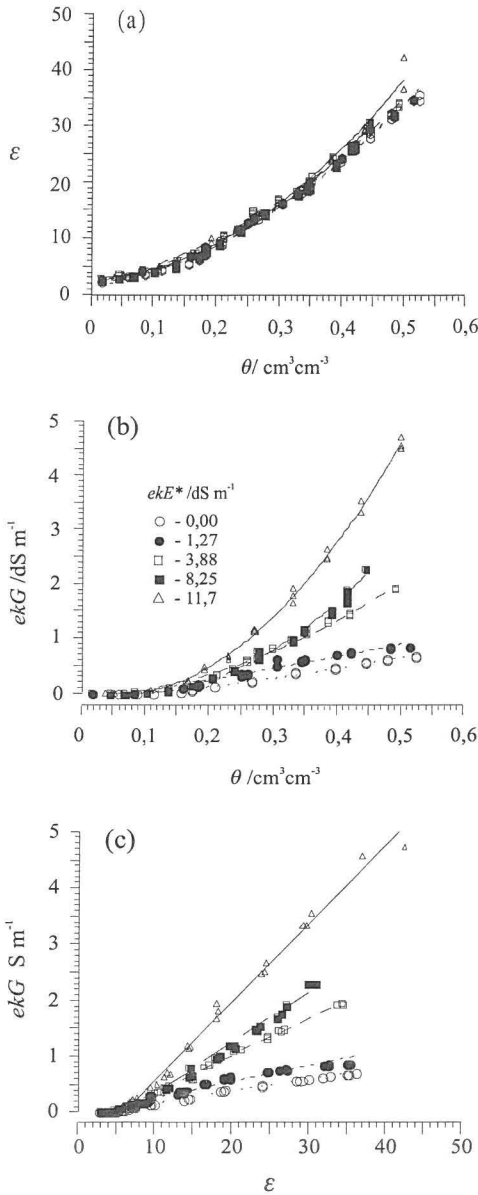
Otrzymane wyniki częściowo potwierdzają tę hipotezę. Rysunek 1c) pokazuje związek pomiędzy względną przenikalnością elektryczną gleby, ε , a jej elektryczną konduktywnością, ekG , dla różnych ekE^* stosowanego do nawilżania próbek. Uogólniając, można stwierdzić, że dla $\varepsilon > 6$ związek jest liniowy. Należy zauważyć, że jak oczekiwano, w zakresie wartości $\varepsilon > 6$, dzięki liniowości funkcji $ekG(\varepsilon)$ jej nachylenie nie zależy od elektrycznej przenikalności gleby, ε , a więc i od jej wilgotności, θ . Nachylenie tej funkcji jest, jednakże, liniowo zależne od ekE^* nawilżającego glebę, a więc i od zasolenia gleby, ekE . Założono zatem, że w ograniczonym zakresie wilgotności pochodna:

$$\frac{\partial ekG}{\partial \varepsilon} = WZ \quad (2)$$

może być dla danej gleby miarą jej względnego zasolenia, możliwego do wyznaczenia z jednoczesnych pomiarów *in situ* elektrycznej konduktywności oraz elektrycznej przenikalności gleby. Wielkość tę nazwano **Wskaźnikiem Zasolenia, WZ**.

Zauważono, że nachylenie, b, funkcji $WZ(ekE^*)$ zależy od zawartości w glebie frakcji piasku, *zfp*. Znalaziono, że dla badanych próbek gleb mineralnych, można policzyć **zasolenie** (ekE) gleby z empirycznej formuły:

$$ekE = \frac{ekG - 0,08}{(\varepsilon - 6,2)(0,0057 + 0,000071 \text{ zfp})} \quad (3)$$



Rys. 1. Wpływ elektrycznej konduktywności roztworu nawilżającego, ekE^* , na elektryczne właściwości wilgotnej gleby na przykładzie gliny pylastej:

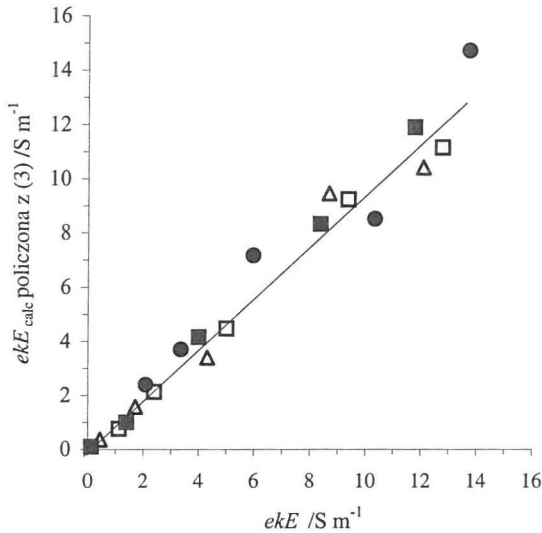
a) zależność przenikalności elektrycznej, ϵ , od wilgotności gleby, θ .

b) - zależność elektrycznej konduktywności gleby, ekG , od jej wilgotności, θ .

c) - związek pomiędzy konduktywnością ekG , a przenikalnością elektryczną, ϵ , gleby. Należy zauważyć, że dla $\epsilon > 6$ można dla funkcji $ekG(\epsilon)$ zastosować model liniowy. Widać, że nachylenie tej funkcji rośnie ze wzrostem ekE^* .

Fig. 1. Electric properties of moist silty loam as affected by electrical conductivity of the moistening solution, ekE^* . Take notice that for $\epsilon > 6$ linear model can be applied for $ekG(\epsilon)$.

Wyliczone zgodnie z (3) wartości zasolenia gleby, ekE_{calc} , porównano z jego wartościami rzeczywistymi, ekE , (Rys. 2), gdzie $ekE = ekE^* + ekE_{\text{residual}}$. Wydaje się, że uzyskana korelacja obydwu zmiennych może wystarczać w wielu zastosowaniach praktycznych.



Rys. 2. Porównanie ekE_{calc} , policzonej zgodnie z równaniem (3), z zasoleniem rzeczywistym, ekE , dla próbek o wilgotnościach objętościowych $\theta > 0,20$: \circ - glina pylasta, \square - less, \bullet - piasek rzeczny, \blacksquare - piasek kwarcowy, \triangle - piasek gliniasty, — 1:1.

Fig. 2. Comparison of salinity data, ekE_{calc} , obtained using eq. (3), with reference data, ekE , for samples having volumetric water content $\theta > 0,20$: \circ - silty clay, \square - silt, \bullet - river sand, \blacksquare - quartz sand, \triangle - loamy sand, — 1:1.

$ekE_{\text{calc}} = -0,14 + 0,970 ekE$, $R^2 = 0,9722$, $SD = 0,742$.

WNIOSKI

1. Ze zmierzonych jednocześnie, przy wilgotności objętościowej większej od $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, elektrycznej konduktywności oraz przenikalności gleby można ocenić jej **względne** zasolenie.
2. Nachylenie prostej regresji pomiędzy elektryczną konduktywnością i przenikalnością gleby, zmierzonych przy jej wilgotności objętościowej nie mniejszej niż $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, może stanowić **Wskaźnik Zasolenia** (względnego) tej gleby.

3. Znając Wskaźnik Zasolenia oraz zawartość frakcji piasku można wyznaczyć zasolenie gleby (tzn. elektryczną konduktywność obecnego w niej elektrolitu).

PIŚMIENNICTWO

1. **Hilhorst M. A.:** A pore water conductivity sensor. *Soil Science Society of America Journal*, 64:1922-1925, 2000.
2. **Malicki M.A., Walczak R.T.:** Evaluating soil salinity status from bulk electrical conductivity and permittivity. *European Journal of Soil Science*, v. 50 no. 3, 1999.
3. **Malicki M. A.:** Metodyczne zagadnienia monitoringu statusu wody w wybranych materiałach biologicznych. *Acta Agrophysica*, 19, 1999.
4. **Nadler A.:** Effect of soil structure on bulk soil electrical conductivity (EC_a) using the TDR and 4P techniques. *Soil Science*, Vol. 152, No. 3, 199-203, 1991.
5. **Yadav B. R., Rao N. H., Palival K.V. and Sarma P. B. S.:** Comparison of different methods for measuring soil salinity under field conditions. *Soil Science*, Vol. 127. No. 6, 335-339, 1979.

EVALUATING SOIL SALINITY FROM ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND PERMITTIVITY

M. A. Malicki, R. T. Walczak

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

Summary. In the range of volumetric water content, θ , from about $0.20 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$ to saturation the relation between bulk electrical conductivity, ekG , and bulk electrical permittivity, ϵ , of mineral soils was observed linear. The partial derivative $\partial ekG/\partial \epsilon$ appeared independent of the moisture content and directly proportional to soil salinity. We found that the variable $WZ = \partial ekG/\partial \epsilon$ calculated from *in situ* simultaneous measurements of $ekG(\theta > 0.2)$ and $\epsilon(\theta > 0.2)$ (using TDR with the pulse rise-time of 250 ps) can be considered as an index of soil salinity, and we named it the "salinity index", WZ . Knowing the salinity index and sand content for a given soil, we could calculate the electrical conductivity of the soil water, ekE , which is a widely accepted measure of soil salinity. The two variables from which the salinity index can be calculated (ekG and ϵ) can be read simultaneously from the same sensor by time-domain reflectometry (TDR).

Keywords: soil salinity, soil electrical conductivity, soil electrical permittivity, time-domain reflectometry.