

Przegląd metod pomiaru wilgotności gleb torfowo-murszowych użytkowanych rolniczo

Ryszard Oleszczuk, Tomasz Brandyk*

*Katedra Kształtowania Środowiska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa*

** e-mail: oleszczuk@alpha.sggw.waw.pl*

Słowa kluczowe: gleby torfowo-murszowe, metody pomiaru wilgotności

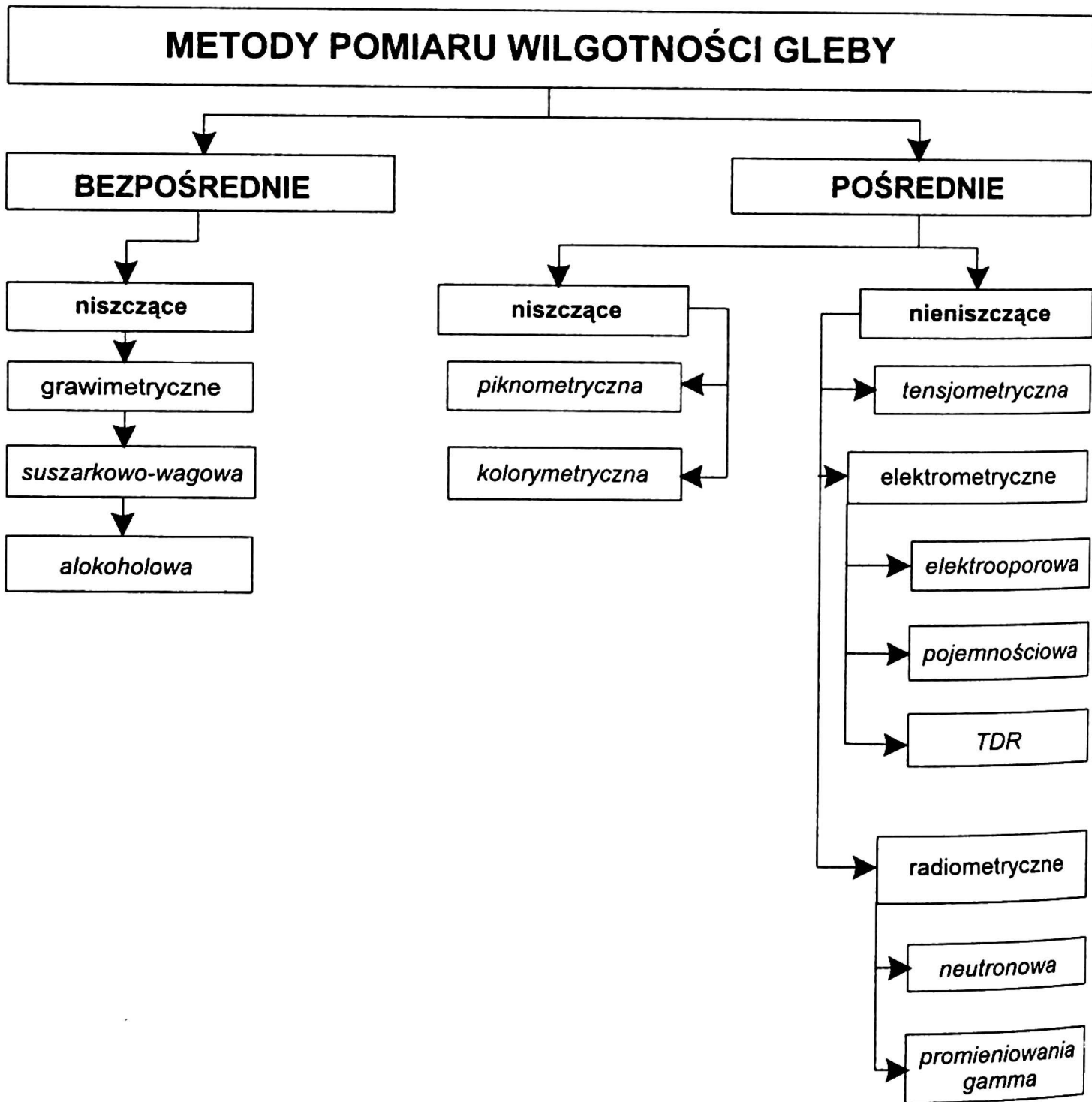
Wstęp

Gleby organiczne w Polsce występują na obszarze około 1,5 mln ha, z czego prawie 100 tys. ha przypada na torfowiska wysokie i przejściowe, a pozostała powierzchnia na torfowiska niskie; około 80% obszaru tych torfowisk zostało zmeliorowanych [23]. Torfowiska niskie po melioracji najczęściej wykorzystywane są rolniczo jako użytki zielone. Utrzymywanie określonej ich produktywności, zachowanie istniejących zbiorowisk roślinnych, jak również ochrona gleb organicznych przed nadmierną mineralizacją uzależnione są od właściwego regulowania wilgotności gleby w strefie korzeniowej. Istnieje zatem potrzeba monitorowania wilgotności gleb torfowo-murszowych do oceny ich aktualnego stanu oraz podejmowania racjonalnych decyzji co do właściwego gospodarowania w nich wodą [4].

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie postępu, jaki dokonał się w zakresie metod pomiaru wilgotności pod kątem możliwości ich zastosowania w glebach torfowo-murszowych.

Systematyka i kryteria stosowania metod pomiaru wilgotności gleb

Szczegółowego podziału i przeglądu metod pomiaru wilgotności gleb oraz oceny ich przydatności w badaniach polowych dokonał w swojej pracy Malicki [19], a proponowany w jego pracy podział ważniejszych metod pomiarowych wilgotności gleb przedstawiono schematycznie na rys. 1. Do najczęściej stosowanych w świecie metod pomiaru wilgotności gleb wg Gardnera [10], Jurego i in. [14], Kutilka i Nielse-
na [17] można zaliczyć: metodę szuszkowo-wagową, tensjometryczną, elektropo-



Rysunek 1. Systematyka ważniejszych metod pomiaru wilgotności gleby [19]

rową, neutronową i metodę reflektometrii w domenie czasu (TDR). Dobór metody pomiaru wilgotności zależy od kryteriów, które powinny być spełnione ze względu na cel prowadzonych obserwacji. Malicki [19] zaproponował następujące kryteria doboru metod pomiaru wilgotności gleby:

Kryterium selektywności – jest ono spełnione, kiedy wynik pomiaru zależy wyłącznie od wilgotności gleby. Kryterium to spełniają metody bezpośrednie – grawimetryczne.

Kryterium destruktywności – związane ze stopniem zniszczenia, jakiemu ulega naturalny układ. W świetle tego kryterium najniżej należy ocenić metody bezpośrednie, najwyższej zaś pośrednie nieniszczące.

Kryterium dokładności – metoda spełnia to kryterium, gdy stosowanie jej nie powoduje przekroczenia określonej granicy błędu pomiaru.

Kryterium ciągłości – jest spełnione przez te metody, których procedura umożliwia prowadzenie ciągłych pomiarów.

Kryterium bezwładności – określane jest czasem reakcji stosowanej w metodzie aparatury na zmianę wilgotności oraz czasem potrzebnym do wykonania pomiaru.

Kryterium rozdzielczości – jest spełnione wtedy gdy metoda pozwala mierzyć wartości wilgotności w warstwach gleby o ściśle określonej miąższości.

Kryterium postaci sygnału – uwarunkowane jest stopniem trudności przetwarzania informacji na sygnał elektryczny, najbardziej odpowiedni do dalszej obróbki i magazynowania danych.

Kryterium BHP – jest spełnione, jeśli stosowanie metody nie grozi ujemnymi następstwami z punktu widzenia bezpieczeństwa, higieny pracy oraz ochrony środowiska.

Kryterium pracochłonności – dotyczy nakładów pracy poniesionych w celu wykonania pomiaru.

Kryterium kosztów aparatury – wiąże się z nakładami finansowymi poniesionymi na zakup i eksploatację aparatury pomiarowej.

W badaniach polowych dynamiki wilgotności wykorzystywanych rolniczo gleb torfowo-murszowych najważniejsze jest spełnienie następujących kryteriów: selektywności, destruktywności, ciągłości, rozdzielczości i dokładności.

Postęp w technice pomiaru wilgotności gleb torfowo-murszowych

Jedną z najstarszych metod pomiaru wilgotności, jest metoda suszarkowo-wagowa. Jest to metoda bezpośrednia, nieskomplikowana, powodująca jednak niszczenie naturalnego profilu glebowego ze względu na konieczność pobrania próbek gleby o nienaruszonej strukturze w celu oznaczenia ich wilgotności w warunkach laboratoryjnych. Ze względu na swoją dokładność metoda suszarkowo-wagowa wykorzystywana jest jednak jako podstawa do kalibrowania innych pośrednich metod pomiaru wilgotności. Zastosowanie powyższej metody przyczyniło się do postępu w zakresie gospodarowania wodą w glebach torfowych poprzez:

- określenie wymaganych przedziałów dopuszczalnego wilgotności gleby, w powiązaniu ze stanami wody gruntowej, ze względu na wymagania wodne roślinności trawiastej dla poszczególnych kompleksów wilgotnościowo-glebowych [32];
- określenie wilgotności krytycznej dla traw w warstwie korzeniowej gleb torfowo-murszowych [2, 33, 34];
- weryfikację numerycznych modeli komputerowych wilgotności w glebach torfowo-murszowych [4];
- określenie zmienności przestrzennej wilgotności gleby torfowo-murszowej [11];

— weryfikację opracowanych równań kalibracji metody TDR do pomiaru wilgotności w glebie torfowo-murszowej [24].

Do metod pośrednich nieniszczących zaliczyć można metodę tensjometryczną wykorzystującą związek pomiędzy potencjałem wody glebowej a jej wilgotnością. Do pomiaru potencjału wody glebowej służy urządzenie zwane tensjometrem, którego zakres pomiarowy zawiera się w przedziale od 0 do około 900 cm słupa wody. Pomiar potencjału wody tensjometrem można przeliczyć na wartości wilgotności gleby dysponując opracowaną krzywą retencyjności wodnej danej gleby. Często jednak zależność ta niestety nie jest jednoznaczna ze względu na występowanie zjawiska histerezy. Szuniewicz [31] zastosował tensjometry z manometrem rtęciowym konstrukcji RZB Biebrza do oceny dostępności wody glebowej dla roślin, wysokości podsiąku kapilarnego, jak również opracował polowe zależności pomiędzy wilgotnością objętościową gleby i wartościami ciśnienia ssącego podczas procesu wysychania gleby torfowej w warunkach naturalnych. Metoda tensjometryczna była wykorzystywana również przez Brandyka [4], który polowe wyniki pomiarów potencjału wody w glebie torfowo-murszowej MtIIbb porównał z wynikami obliczeń potencjału wody uzyskanymi z wykorzystaniem modelu numerycznego SWATRE wykazując statystycznie dobrą ich zgodność. W konsekwencji rozszerzyło to zastosowanie modelu SWATRE do rozwiązywania zagadnień gospodarowania wodą w glebach torfowo-murszowych. Tensjometry jako urządzenia przydatne do monitorowania wilgotności gleby w warunkach polowych podlegały dalszemu rozwojowi. Ostatnio stosuje się tensjometry wyposażone w elektroniczne przetworniki ciśnienia tzw. transducery umożliwiające ciągły pomiar potencjału wody. Urządzenia te znajdują również coraz szersze zastosowanie w glebach torfowo-murszowych [5, 15, 18, 26].

Jedną z metod elektrometrycznych (rys. 1) umożliwiających pomiar wilgotności gleby jest metoda bloczków gipsowych. Zasada jej działania polega na zainstalowaniu elektrod pomiarowych w bloczku gipsowym, który następnie umieszcza się w glebie. Po pewnym czasie dochodzi do ustalenia równowagi między potencjałem wody w bloku i otaczającej go glebie. Pomiar wilgotności gleby za pomocą tej metody wykonuje się pośrednio poprzez pomiar oporu elektrycznego. Próbę zastosowania tej metody do pomiaru wilgotności w glebie torfowo-murszowej MtIIIbb podjęła Kasperska i in. [16]. Jednak ze względu na małą trwałość elementów gipsowych, co szczególnie ma miejsce w glebach torfowo-murszowych charakteryzujących się znacznym uwilgotnieniem i chemizmem wody glebowej metoda ta nie znalazła szerszego zastosowania.

Kolejną metodą pośrednią, nieniszczącą jest metoda neutronowa. Wykorzystuje ona źródło szybkich neutronów, które wysyłane są przez umieszczony w glebie emiter. Szybkie neutrony w momencie zderzenia się z atomami wodoru zawartymi w cząsteczkach wody zostają spowolnione. Jeżeli w tym samym ośrodku glebowym znajduje się detektor wykrywający tylko spowolnione neutrony, to liczba tych neutronów mierzona w jednostce czasu przez specjalny licznik jest miarą wilgotności gle-

by. Rahi i Shih [28] wykorzystując wyniki wcześniejszych badań Rahi in. [29] dotyczących pomiaru wilgotności sondą neutronową w glebach organicznych wykazali w swoich badaniach wpływ gęstości gleby na zmierzoną wartość wilgotności. W swojej pracy przedstawili kalibrację sondy neutronowej przy wykorzystaniu metody suszarkowo-wagowej wykazując jednocześnie, że zmiana wartości gęstości gleby o około $0,04 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ skutkuje zmianą wilgotności objętościowej gleby o około 10% objętościowych. Przy zastosowaniu metody neutronowej do pomiaru wilgotności w glebach torfowo-murszowych trzeba także brać pod uwagę fakt, że znaczna ilość wodoru znajdująca się w cząstkach organicznych fazy stałej gleby może również spowalniać prędkość szybkich neutronów, co w konsekwencji może mieć wpływ na dokładność wyniku pomiaru wilgotności w tych glebach [17, 21].

Do metod pośrednich nieniszczących umożliwiających pomiar wilgotności można zaliczyć także metodę impulsu cieplnego. Polega ona na umieszczeniu w glebie czujnika, w którym zainstalowane są dwie równoległe elektrody w postaci prętów stalowych. Przy jednej z nich znajduje się element grzewczy, natomiast przy drugiej znajduje się termopara. Impuls cieplny generowany przez element grzewczy powoduje zmianę temperatury gleby w otoczeniu sondy, która uzależniona jest od jej pojemności cieplnej i od aktualnego stanu wilgotności. Campbell i in. [6] przeprowadzili proces kalibrowania metody impulsu cieplnego dla gleb torfowych w warunkach laboratoryjnych wykorzystując metodę suszarkowo-wagową. Równanie kalibracji przedstawili jako zależność pomiędzy wilgotnością objętościową (θ_v) a wzrostem temperatury gleby (ΔT) w wyniku zadanego impulsu cieplnego. Następnie dokonali porównania wyników pomiarów polowych wilgotności gleby torfowej przy zastosowaniu tej metody z metodą TDR. W rozpatrywanej glebie torfowej na podstawie dobrej zgodności wyników pomiarów tymi metodami wykazali możliwość prowadzenia bardzo dokładnych pomiarów wilgotności przy użyciu metody impulsu cieplnego.

W ostatnich latach nowoczesne metody elektrometryczne pomiaru wilgotności gleb wykorzystują zależności pomiędzy właściwościami dielektrycznymi gleby a jej uwilgotnieniem. Taką właściwością jest stała dielektryczna (ϵ), która dla poszczególnych składowych gleby jako ośrodka trójfazowego wynosi odpowiednio 81 dla wody, 3–8 dla fazy stałej gleby, a 1 dla powietrza. Ponieważ woda ma największą wartość stałej dielektrycznej, jej zawartość ma decydujący wpływ na wartość stałej dielektrycznej w danej glebie, dlatego też zmiany wilgotności gleby są ściśle skorelowane ze zmianą wartości jej stałej dielektrycznej. Metodą wykorzystującą powyższe zależności jest tzw. metoda reflektometrii w domenie czasu (TDR), której pierwsze pozytywne zastosowanie miało miejsce na początku lat siedemdziesiątych [7]. Dalsze pozytywne rezultaty podobnych badań prowadzonych przez Toppa i in. [35, 36] przyczyniły się do znacznego wzrostu zainteresowania tą metodą, która obecnie jest najczęściej stosowana do pomiaru wilgotności, jak również może służyć jednocześnie do pomiaru przewodnictwa elektrycznego gleb jako wskaźnika zasolenia [20]. Należy podkreślić, że Walczak i in. [37] zastosowali również metodę TDR do oceny wpływu

struktury gleby w zależności od jej rolniczego użytkowania na hydrofizyczne właściwości gleb lessowych. Metoda TDR jest metodą pośrednią, niedestruktywną umożliwiającą pomiar pełnego zakresu zmian wilgotności gleby. Zastosowanie tej metody wiąże się jednak z koniecznością opracowania krzywej kalibracji wyrażającej zależność pomiędzy wilgotnością objętościową gleby (θ_v) i stałą dielektryczną (ϵ). W przypadku zastosowania metody TDR dla gleb mineralnych przyjmuje się zazwyczaj uniwersalne równanie kalibracji w postaci wielomianu trzeciego stopnia zaproponowanego przez Toppa i in. [35]. Odmienne właściwości fizyczne i wodne gleb organicznych, tj. szerszy zakres wilgotności, występowanie warstewek wody związanej wokół cząstek materii organicznej, jak również znacznie niższe wartości gęstości tych gleb w stosunku do gleb mineralnych powodują, że równanie zaproponowane przez Toppa i in. [35] nie może być do nich stosowane [12, 13, 30, 38]. W związku z tym w literaturze przedstawionych zostało szereg różnych równań kalibracji opracowanych dla gleb organicznych, których większość została opracowana w formie równania wielomianu trzeciego stopnia:

$$\theta_v = (A + B\epsilon + C\epsilon^2 + D\epsilon^3) \times 10^{-4} \quad (1)$$

lub w formie następującego równania:

$$\theta_v = A + B\sqrt{\epsilon} \quad (2)$$

gdzie: θ_v – wilgotność objętościowa gleby ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$),
 ϵ – stała dielektryczna gleby (-),
 A, B, C, D – współczynniki równań (1) i (2)

W tabeli 1 zestawiono opracowane dotychczas równania kalibracji dla poszczególnych gatunków gleb torfowych z podaniem wartości gęstości tych gleb. Interpretacja

Tabela 1. Uniwersalne równanie kalibracji metody TDR dla gleb mineralnych oraz równania kalibracji dla gleb organicznych i torfowych

Rodzaj gleby	Gęstość gleby [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$]	Typ równania*	Współczynniki równań			
			A	B	C	D
Gleby mineralne [35]	1,3–1,4	a	-530,0	292,0	-5,5	0,043
Gleba organiczna [35]	0,422	a	-252,0	415,0	-14,4	-0,22
Torf mechowiskowy [27]	0,064–0,25	a	850,0	192,0	-0,95	0,00
Gleby organiczne [30]	0,2–0,77	a	-233,0	285,0	-4,3	0,03
Torf mszarny i turzycowy [22]	0,2–0,4	a	-733,0	417,0	-8,01	0,056
Torf olesowy [24]	0,19	a	-27,6	247,7	-3,15	0,02
Torf wysoki słabo rozłożony [1]	—	a	-4028,9	645,91	-12,06	0,079
Gleba organiczna [12]	—	b	-0,051	0,127		

* a – równanie (1); b – równanie (2).

cja graficzna równań kalibracji dla gleb organicznych przedstawiona przez Oleszczuka i in. [25], wykazuje duże rozbieżności w wartościach wilgotności przy tej samej wartości stałej dielektrycznej (ϵ), szczególnie jest to widoczne w zakresie wysokiego stanu wilgotności. W miarę zmniejszania się wartości stałej dielektrycznej zmniejszają się również różnice w wartościach wilgotności obliczonego poszczególnymi równaniami kalibracji. Biorąc pod uwagę wymaganą dokładność pomiarów wilgotności przyjmowaną na poziomie 2% zaprezentowane w tabeli 1 równania kalibracji mogą być wykorzystywane jedynie do obliczeń wartości wilgotności dla tych gleb torfowych, dla których zostały opracowane. Wartości stałej dielektrycznej gleby (ϵ) wykorzystywane do obliczeń wilgotności metodą TDR mogą być również określone na podstawie tzw. modeli mieszanych, które stanowią sumę iloczynów poszczególnych faz gleby i odpowiadających im wartości stałych dielektrycznych. Jedną z pierwszych propozycji takiego modelu przedstawił Dobson i in. [9] opierając się na teoretycznym modelu Maxwell De Loora [8]. Następnie zaobserwowano dalszy rozwój tych modeli, które obecnie uwzględniają w swojej strukturze również fizyczne właściwości gleb, takie jak gęstość objętościowa, gęstość fazy stałej, porowatość, wielkość powierzchni właściwej oraz wartości stałej dielektrycznej wody wolnej, związanej i fazy stałej gleby. Do najczęściej stosowanych zaliczyć można modele 3- i 4-fazowe, których przeglądu dokonali Jacobsen i Schoning [13]. W przypadku gleb torfowych próbę porównania wyników wilgotności otrzymanych z zastosowaniem modeli mieszanych (3- i 4-fazowe modele i model Maxwell De Loora) z wynikami wilgotności wybranych równań empirycznych podjęli w swojej pracy Bohl i Roth [3]. Uzyskali oni dużą zgodność wyników pomiarów wilgotności tylko w przypadku modelu 4-fazowego. W swojej pracy stwierdzili, że wartość stałej dielektrycznej dla wody związanej jest znacznie niższa od jej wartości dla wody wolnej. Zastosowanie powyższych modeli wymaga jednak określenia znacznej ilości parametrów fizycznych gleby co powoduje, że są one w praktyce mało rozpowszechnione.

Malicki [20] stwierdził, że cechą gleby o dominującej zmienności jest jej gęstość, która ma wpływ na dokładność wyników oznaczeń wilgotności metodą TDR. W związku z tym zaproponował uwzględnienie gęstości gleby w procesie kalibracji metody TDR. Opracował stosowne równanie kalibracji na podstawie pomiarów wykonanych dla ogółem 61 próbek (gleb mineralnych, organicznych oraz materiałów kapilarno-porowatych) charakteryzujących się wartościami gęstości w przedziale od 0,086 do 1,77 g · cm⁻³. Oleszczuk i in. [25] przedstawili wyniki kalibrowania metody TDR dla kilku gatunków gleb torfowych z Doliny Biebrzy. Wyniki kalibracji opracowane zostały w formie zależności pomiędzy wartościami wilgotności objętościowej a wartościami stałej dielektrycznej i gęstości gleby:

$$\theta_v = \frac{\sqrt{\epsilon} - 18,6619\rho_b^2 - 13,8513\rho_b + 0,383943}{25,8003\rho_b^2 - 32,0302\rho_b + 11,5445} \quad (3)$$

gdzie: θ_v – wilgotność objętościowa gleby ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$),
 ε – stała dielektryczna gleby (-),
 ρ_b – gęstość gleby ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$).

Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała istotność równania (3) i dlatego może być ono stosowane dla gleb torfowych charakteryzujących się wartościami gęstości w przedziale od 0,08 do 0,25 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$. Na podstawie wyników przeprowadzonych badań można również stwierdzić, że wartość gęstości gleby wpływa znacząco na wartość stałej dielektrycznej w przypadku gleb torfowych charakteryzujących się wartościami wilgotności objętościowej niższymi od 70%. Wzrost gęstości gleby w zakresie wilgotności poniżej 70% objętościowych prowadzi do zwiększenia wartości stałej dielektrycznej przy tych samych stanach wilgotności.

Podsumowanie

W niniejszej pracy na podstawie przeglądu dostępnej literatury przedstawiono postęp, jaki dokonał się w zakresie metod pomiaru wilgotności pod kątem możliwości ich zastosowania w glebach torfowo-murszowych wykorzystywanych rolniczo. Analiza możliwości zastosowania poszczególnych metod pomiarowych wilgotności w glebach torfowo-murszowych wykazała konieczność uwzględniania gęstości gleby jako parametru niezbędnego w procedurach pomiarowych. Z dokonanego przeglądu dotychczas stosowanych w glebach torfowo-murszowych metod pomiarowych wynika, że największy postęp dokonał się w technice tensjometrycznej i metodzie reflektometrii w domenie czasu (TDR). Metody te można zalecać do stosowania w glebach torfowo-murszowych, bowiem są nowoczesne i w pełni spełniają kryteria takie jak selektywność, destruktywność, ciągłość, rozdzielczość i dokładność, które stawiane są jako wymagania przy pomiarach wilgotności gleb w warunkach polowych.

Literatura

- [1] Beckwith C.W., Baird A.J. 2001. Effect of biogenic gas bubbles on water flow through poorly decomposed blanket peat. *Water Resour. Res.* 37(3): 551–558.
- [2] Bieńkiewicz P., Roguski W., Łabędzki L. 1983. Wilgotność krytyczna dla traw w profilach gleb hydrogenicznych. *Wiad. IMUZ* 15(1): 271–286.
- [3] Bohl H., Roth K. 1994. Evaluation of dielectric mixing models to describe the $\theta(\varepsilon)$ -relation. Symposium and workshop on „Time domain reflectometry in environmental, infrastructure, and mining applications”, Spec. Publicat. SP 19–94, Illinois, USA September 7–9: 309–319.
- [4] Brandyk T. 1990. Podstawy regulowania uwilgotnienia gleb dolinowych. Rozpr. hab., Wyd. SGGW: 120 ss.

- [5] Brandyk T., Oleszczuk R., Szatyłowicz J. 2001. Investigation of soil water dynamics in a fen peat-moorsh soil profile. *Inter. Peat J.* 11: 15–24.
- [6] Campbell D.I., Laybourn C.E., Blair I.J. 2002. Measuring peat moisture content using the dual-probe heat pulse technique. *Aust. J. Soil Res.* 40: 177–190.
- [7] Davis J.L., Chudobiak W.J. 1975. In situ meter for measuring relative permittivity of soils. *Geol. Survey Can. Paper 75-1 Part A.*
- [8] De Loor G.P. 1968. Dielectric properties of heterogeneous mixtures containing water. *J. Microwave Power* 2–3: 67–70.
- [9] Dobson M.C., Ulaby F.T., Hallikainen M.T., El-Rayers M.A. 1985. Microwave dielectric behaviour of wet soil. Part II: Dielectric mixing models. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing GE* 23: 35–46.
- [10] Gardner W.W. 1986. Water content. W: Klute A. (red.). *Methods of soil analysis, Part 1, sec. ed., Agron. Monogr. Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wi:* 493–544.
- [11] Gnatowski T., Brandyk T., Szatyłowicz J. 1996. Ocena zmienności przestrzennej właściwości fizycznych i wodnych gleby w skali nawadnianej kwatery. *Przegl. Naukowy Wydz. Mel. i Inż. Środ.* 11: 129–136.
- [12] Herkelrath W.N., Hamburg S.P., Murphy F. 1991. Automatic, real-time monitoring of soil moisture in a remote field or with time domain reflectometry. *Water Resour. Res.* 27: 857–864.
- [13] Jacobsen O.H., Schjonning P. 1995: Comparison of TDR calibration functions for soil water determination. *Proceedings of the Symposium: Time Domain reflectometry, Applications in Soil Science, Dania:* 25–33.
- [14] Jury W., Gardner W.A., Gardner W.H. 1991. *Soil Physics.* 5 wyd. John Wiley & Sons: 328 ss.
- [15] Kaca E., Łabędzki L., Chrzanowski S., Czaplak I., Kasperska-Wołowicz W. 2003. Gospodarowanie zasobami wody użytecznej gleb torfowo-murszowych w warunkach regulowanego odpływu w różnych regionach agroklimatycznych Polski. *Woda–Środowisko–Obszary Wiejskie, Rozpr. Naukowe i Monografie nr 9:* 118 ss.
- [16] Kasperska W., Kaca E., Łabędzki L. 1999. Model matematyczny ewapotranspiracji użytków zielonych oparty na metodzie współczynników roślinno-glebowych. *Wiad. i MUZ* 20(2): 103–121.
- [17] Kutilek M., Nielsen D.R. 1994. *Soil Hydrology.* Catena Verlag: 370 ss.
- [18] Łabędzki L. 2000. Wpływ poziomu wody gruntowej i wilgotności gleby torfowo-murszowej na ewapotranspirację łąki dwukośnej w dolinie Noteci. *Wiad. IMUZ* 20(3): 125–140.
- [19] Malicki M. 1980. Przegląd metod pomiaru wilgotności gleb i ocena ich przydatności w badaniach polowych. *Problemy Agrofizyki* 31: 47ss.
- [20] Malicki M.A. 1993. Wpływ fizycznych właściwości gleby na elektryczne parametry układu elektrody/gleba w aspekcie pomiaru jej wilgotności i zasolenia. *Rozpr. hab. Instytutu Agrofizyki PAN Lublin, Acta Agrophysica* 1: 108 ss.
- [21] Mocek A., Drzymała S., Maszner P. 2000. *Geneza, analiza i klasyfikacja gleb.* Wyd. Akademii Rol. im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu: 416 ss.
- [22] Myllys M., Simojoki A. 1996. Calibration of time domain reflectometry (TDR) for soil moisture measurements in cultivated peat soils. *Suo* 47(1): 1–6.
- [23] Okruszko H. 1993. Transformation of fen-peat soil under the impact of draining. *Zesz. Probl. Nauk Rol. z.* 406: 3–73.

- [24] Oleszczuk R., Brandyk T., Szatyłowicz J. 1998. Analiza możliwości zastosowania metody TDR do pomiaru uwilgotnienia w glebie torfowo-murszowej. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.* 458: 263–274.
- [25] Oleszczuk R., Brandyk T., Gnatowski T., Szatyłowicz J. 2004. Calibration of TDR for moisture determination in peat deposits. *Int. Agrophysics* 18: 145–151.
- [26] Oleszczuk R., Szejba D., Szatyłowicz J., Brandyk T., Gnatowski T. 2004. Field water condition of low decomposed deep peat. Proceedings of 12th International Peat Congress, 6–11 June, Tampere (wyd. J. Päivänen), vol. 1: 802–806.
- [27] Pepin S., Plamond A.P., Stein J. 1992. Peat water content measurement using time domain reflectometry. *Can. J. For. Res.* 22: 534–540.
- [28] Rahi G.S., Shih S.F. 1981. Effect of bulk density on calibration of neutron moisture probe for organic soils. *Transactions of the ASAE* 24(6): 1230–1233 i 1240.
- [29] Rahi G.S., Shih S.F., Myhre D.L. 1978. Calibration and sensitivity of neutron moisture probe for histosols. *Soil and Crop Sci. Soc. of Florida, Proc.* 38: 87–90.
- [30] Roth C.H., Malicki M.A., Plagge R. 1992. Empirical evaluation of the relationship between soil moisture measurements by TDR. *J. Soil Sci.* 43: 1–13.
- [31] Szuniewicz J. 1967. Tensjometr z manometrem rtęciowym do rejestracji potencjału wilgotności gleby w warunkach polowych. *Wiad. IMUZ* 7(1): 109–125.
- [32] Szuniewicz J. 1979. Charakterystyka kompleksów wilgotnościowo-glebowych pod kątem parametrów systemu melioracyjnego. *Bibl. Wiad. IMUZ* 58: 100 ss.
- [33] Szuniewicz J., Stypiński P. 1979. Wilgotność gleby torfowo-murszowej, przy której występuje hamowanie wzrostu traw. *Bibl. Wiad. IMUZ* 59: 91–101.
- [34] Szymanowski M., Szuniewicz J. 1979. Wilgotność krytyczna dla traw w murszach torfowych o różnym stopniu przeobrażenia. *Bibl. Wiad. IMUZ* 59: 103–114.
- [35] Topp G.C., Davis J.L., Annan A.P. 1980. Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines. *Water Resources Res.* 16: 574–582.
- [36] Topp G.C., Davis J.L., Annan A.P. 1982. Electromagnetic determination of soil water content using TDR: II Evaluation of installation and configuration of parallel transmission lines. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 313–321.
- [37] Walczak R.T., Sławiński C., Malicki M., Sobczuk H. 1993. Measurement of water characteristics in soils using TDR technique: water characteristics of loess soil under different treatment. *Int. Agrophysics* 7: 175–182.
- [38] White J.H., Knight S.J., Zegelin S.J., Topp G.C. 1994. Comments on „Consideration on the use of time-domain reflectometry (TDR) for measuring soil water content” by W.R. Whalley. *Europ. J. of Soil Scienc.* 45: 503–508.

Review of the soil moisture measuring methods for agriculturally used peat-moorsh soils

Key words: peat-moorsh soils, soil moisture content, measuring methods

Summary

Paper reports the progress in soil moisture content measuring methods with respect to their application for agriculturally used peat-moorsh soils. The analysis of applicability of the soil moisture content measuring methods to peat-moorsh soils showed the necessity of their bulk density determination in measuring procedure. Presented review showed that the highest progress was achieved in development of tensiometer and time-domain reflectometry (TDR) methods. These methods may be recommended to application in agriculturally used peat-moorsh soils, because they are modern and fulfil the criteria such as: selectivity, destructivity, continuity and accuracy, which are required at field measurements of soil moisture content.