

## OCENA ZMIENNOŚCI PRZESTRZENNEJ WILGOTNOŚCI GLEBY NA PODSTAWIE MAP KONDUKTYWNOŚCI ELEKTRYCZNEJ

Katarína Kollárová, Jozef Krajčo, Marián Plačko  
*Katedra Maszyn i Systemów Produkcji, Słowacki Uniwersytet Rolniczy w Nitrze*

Kazimierz Rutkowski  
*Katedra Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Akademia Rolnicza w Krakowie*

**Streszczenie.** Intensywna produkcja roślinna uzależniona jest od dostępności wody, która w dużej mierze decyduje o jakości upraw przez lepsze wykorzystanie składników pokarmowych z gleby. Zapotrzebowanie roślin na składniki pokarmowe w poszczególnych strefach pola jest zróżnicowane. GIS który wspomaga zarządzanie rolnictwem precyzyjnym gromadzi informacje dotyczące warunków glebowych i określa ich współrzędne dla poszczególnych arealów uprawowych. Informacje te służą do planowania i wykonania zabiegów agrotechnicznych. W prezentowanym artykule przedstawiono wyniki pomiarów wilgotności gleby wykonywanej przy pomocy naczynek Kopeckiego oraz za pomocą urządzenia ThetaProbe (ML2x). Pomiary wykonano na polu o powierzchni 14,27 ha. Wyróżniono trzy strefy różniące się rodzajem gleb. Na każdej z występujących stref wydzielono trzy kwadraty o wymiarach 2x2 m. Pomiary wilgotności wykonano na głębokości 5cm. Wartości uzyskane z pomiarów urządzeniem ThetaProbe mieściły się w przedziale od 16,6% (punkt 33A) do 40,5% (punkt 15C) zaś wilgotność określona metodą grawimetryczną mieściła się w przedziale od 24,35% (punkt 33A) do 41,56% (punkt 15C). Średnie wartości wilgotności gleby wynosiły odpowiednio 30,51% dla pomiaru przy pomocy przyrządu ThetaProbe a 28,93% dla pomiaru z wykorzystaniem naczynek Kopeckiego.

**Słowa kluczowe:** wilgotność objętościowa gleby, ThetaProbe (ML2x), grawimetryczna metoda, przewodność elektryczna gleby, rolnictwo precyzyjne

### Wstęp

Zarządzanie systemem produkcji w rolnictwie precyzyjnym wymaga szczegółowych badań z zakresu zmienności poszczególnych czynników decyzyjnych wprowadzanych do systemu. Włączenie GPS do standardowych systemów pozwala na zwiększenie precyzyjności sterowania przy istniejących systemach rozpoznawczych.

*Wilgotność gleby* określana jest chwilową zawartością wody w glebie w wagowych bądź objętościowych procentach w stosunku do gleby wysuszonej w temperaturze 105°C. Wilgotność gleby jest jednym z ważniejszych parametrów fizycznych w rolnictwie, która ma decydujący wpływ na wzrost roślin.

Ze względu na heterogeniczne właściwości gleby, topografię, rodzaj roślinności, ewapotranspirację oraz opady, wilgotność gleby ulega zmianom zarówno w aspekcie przestrzennym jak też czasowym. Gleba zatrzymuje określone ilości wody zależnie od występujących czynników: szybkości, przy której następuje infiltracja do głębszych warstw bądź jej odpływ, temperatury oraz rodzaju roślinności. Chwilowa wilgotność gleby jest wielkością zmienną w szczególności w górnej jej warstwie. W głębszych warstwach nie dochodzi do tak szybkich zmian jak na powierzchni gleby.

Wzajemne relacje woda – gleba zależą od wielu czynników. Duże znaczenie ma tu rodzaj zabiegów agrotechnicznych co w sumie wpływa na ilość przyjmowanych opadów atmosferycznych, przesiąkanie związków chemicznych do spodnich warstw gleby, straty wody przez ewaporacje i przesiąkanie, zapełnienie porów glebowych wodą, zmienność temperatury gleby, rodzaj występujących żywych organizmów (mikroflorę i faunę) oraz pojemność wodną dostępną dla roślin. Różna zawartość wody dla każdego typu, rodzaju i gatunku gleby ma wpływ na właściwości fizyczne gleby i na rodzaj uprawy.

*Przewodność elektryczna (Electrical conductivity, EC)* jest definiowana jako właściwość danego materiału do przewodzenia prądu elektrycznego i wyraża się ją w miliSiemensach na metr ( $\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$ ). Właściwości te są różne dla każdego typu gleby. Przewodność w głównej mierze zależy od wilgotności oraz struktury gleby. Na przewodność elektryczną ma wpływ zawartość części ilastych. Wysoka przewodność gleby świadczy o dużej zawartości części ilastych które są w stanie zatrzymać znaczne ilości wody.

Wielkość całkowitej przewodności gleby nie ma wpływu na charakterystykę uprawianych roślin. Sporządzone mapy EC stanowią informację o zróżnicowanych własnościach gleb. Do pomiaru EC najczęściej wykorzystywane są dwie metody: indukcji elektromagnetycznej oraz metoda bezpośredniego pomiaru. Do czynników mających wpływ na przewodność elektryczną zaliczamy: zdolność zatrzymywania wody w glebie, głębokość warstwy ornej, pojemność kationową, udział masy organicznej oraz składników mineralnych, zasolenie, możliwości odprowadzenia wody oraz charakterystykę podglebia.

Sporządzanie mapy wilgotności gleby poprzez pomiar przewodności elektrycznej przeprowadzono na polu należącym do Gospodarstwa Rolnego AgroDivizia sp. z o.o. w Selicach. Na badanym obszarze wyznaczono trzy charakterystyczne pod względem składu obszary. W każdym z nich wybrano trzy poletka w kształcie kwadratu o boku  $2\times 2$  m. Całkowita ilość objętych badaniami poletek wynosiła 9.

Pomiar wilgotności gleby przeprowadzono przy pomocy urządzenia ThetaProbe (typ ML2x) na głębokości 5cm. Z tych samych miejsc pobierano próbki gleby do naczynek Kopeckiego w celu określenia wilgotności wagowej metodą suszarkową. Siatka miejsc pobieranych próbek była rozłożona równomiernie.

Pobrane próbki do naczynek Kopeckiego poddano analizie laboratoryjnej. Wilgotność gleby określono w oparciu o normę SNT 72 1012, która określa ilość wody możliwą do usunięcia przy suszeniu próbki w temperaturze 105 do 110°C bez możliwości zachodzenia zmian chemicznych w badanym materiale. Wilgotność wyrażono stosunkiem ilości wody usuniętej w procesie suszenia do całkowitej masy gleby suchej. Wielkość tą wyrażono w [%] wg zależności:

$$w = \frac{m - m_s}{m_s} \cdot 100, \quad [\%]$$

gdzie:

- w – wilgotność gleby, [%]
- $m_s$  – masa wysuszonej gleby, [kg]
- m – masa gleby wilgotnej, [kg]

Wymieniona norma definiuje także wilgotność objętościową gleby którą wyraża się stosunkiem objętości wody do objętości gleby. Mając wilgotność wagową można ją obliczyć z następującej zależności:

$$w_v = \frac{\rho_d}{\rho_w} \cdot w, \quad [\%]$$

gdzie:

- $w_v$  – objętościowa wilgotność gleby, [%]
- w – wilgotność gleby, [%]
- $\rho_d$  – masa objętościowa wysuszonej gleby, [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]
- $\rho_w$  – gęstość wody, [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]

Określenie granic poletek doświadczalnych oraz nawigację na określone punkty pomiarowe wykonywano za pomocą satelitarnego urządzenia nawigacyjnego GPS eMAP (produkcji Garmin).

Sensor pomiarowy ThetaProbe (ML2x) składa się z wodoodpornej obudowy oraz czterech wyostrzonych prętów wykonanych ze stali nierdzewnej. Pomiar tym urządzeniem jest bardzo prosty, polega on na wbiciu metalowych prętów czujnika do gleby, podłączeniu go do czytnika i odczycie wartości wilgotności. Przy wbijaniu czujnika do gleby należy zwracać uwagę aby metalowe elementy były całkowicie zanurzone w glebie. Omawiany przyrząd umożliwia pomiar wilgotności objętościowej. Przy pomiarze na większej głębokości należy przedłużyć końcówki czujnika oraz przed jego wbiciem do gleby wykonać otwory prowadzące.

## Wyniki badań oraz dyskusja

Średnie wartości objętościowej wilgotności w powierzchniowej warstwie gleby przedstawiono w tab. 1.

Ze względu na dużą ilość wykonanych pomiarów za pomocą ThetaProbe (ML2x) (225), oraz niewielką z wykorzystaniem naczynka Kopeckiego (27) w tabeli przedstawiono tylko średnie wartości z każdego z utworzonych kwadratów. Rozkład punktów pomiarowych na poletku doświadczalnym w poszczególnych strefach przedstawiono na rys. 1, przy czym punkty 53, 31, 33 znajdowały się w strefie A (gleba piaszczysto-gliniasta), punkty 51, 39, 24 należą do strefy B (gleba gliniasta), zaś punkty 56, 1, 15 znajdują się w strefie C (gleba ilasto-gliniasta).

Sporządzenie mapy wyjściowej pola na podstawie uzyskanych wyników pozwala na wykreślenie stref zbliżonych wilgotności gleby, które jak widać na prezentowanej mapie wykazują dużą zmienność. Analizując wartości zmierzone przy pomocy urządzenia Theta-

Probe (ML2x) wilgotność gleby wahała się od 16,6% (w punkcie 33A) do 40,5% (w punkcie 15C), przy czym są to wyniki z 225 pomiarów. Wilgotność gleby mierzona przy pomocy naczynek Kopeckiego (rys 2) wahała się w przedziale 24,35% (w punkcie 33A) do 41,56% (w punkcie 1C), druga najwyższa wartość 40,06% była w punkcie 15C, przy czym te wartości dotyczą próby liczącej 27 pomiarów. Średnie wartości wilgotności gleby obliczone dla przyjętych metod pomiaru wynosiły odpowiednio 30,51% dla urządzenia ThetaProbe oraz 28,93 przy wykorzystaniu naczynek Kopeckiego (tab. 1).

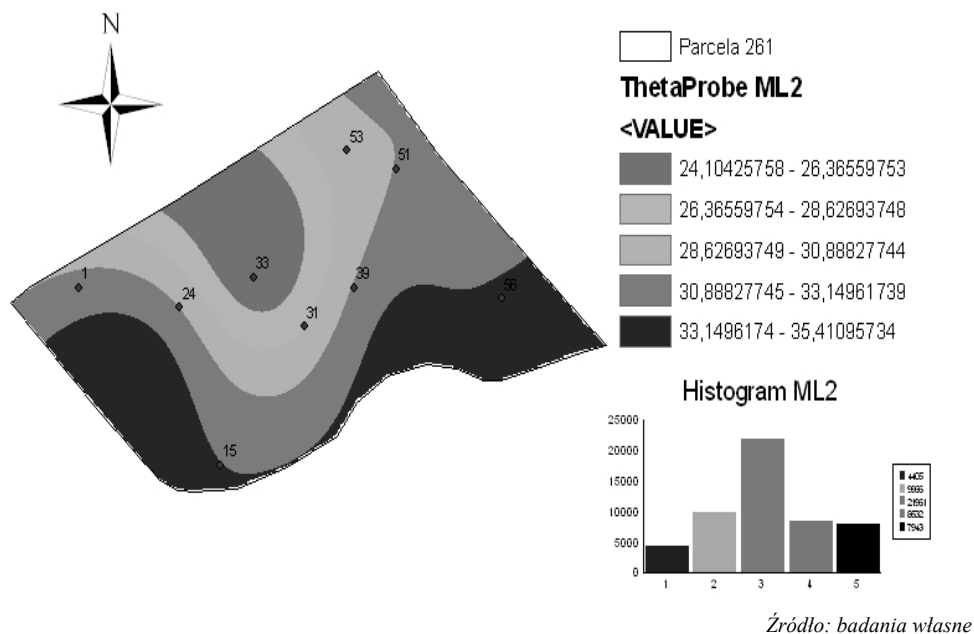
Tabela 1. Średnie wartości objętościowej wilgotności gleby na głębokości 5 cm w poszczególnych punktach pomiarowych

Tabela 1. Average values of soil moisture by volume in each sampling point (in the depth 5 cm)

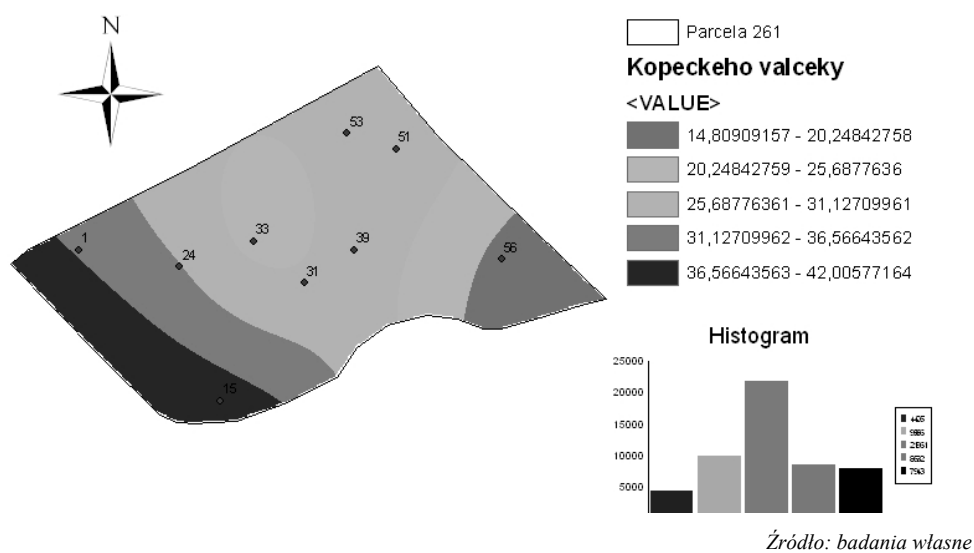
Punkt pomiarowy	Średnia wartość wilgotności na głębokości 5 cm [%]	
	Metoda grawimetryczna	ThetaProbe (ML2x)
33A	24,64	24,74
31A	26,62	28,66
53A	27,45	29,96
24B	31,34	30,84
51B	28,51	30,93
39B	27,44	31,02
1C	36,20	31,76
15C	39,26	33,19
56C	18,95	33,50
Wartość średnia	28,93	30,51

*Źródło: badania własne*

Uzyskane wyniki pomiarów z wykorzystaniem dwóch przyjętych metod nie wykazują istotnych różnic w ostatecznym zestawieniu pomiarów, co widoczne jest na mapach przedstawionych na rysunkach 1 i 2. (z wyjątkiem punktu 56C). Pomiar przy pomocy cylinderek Kopeckiego w zasadzie potwierdził wyniki uzyskane przy pomiarach z wykorzystaniem urządzenia ThetaProbe. Jeśli unikniemy błędów polegających na nieprawidłowym wbiciu sondy bądź jej niepełnym obsypaniu (czterech wystających prętów), czy też występowaniu dużych przestrzeni powietrznych w szczególności wokół centralnego pręta to możemy przyjąć, że pomiar urządzeniem ThetaProbe za zadawalający. Należy tu także dodać, że pomiar przy pomocy tego urządzenia może być wykonywany tylko w glebie o zbliżonym zagęszczeniu, na glebach nie zakamienionych oraz nie posiadających dużej ilości otworów powodujących znaczne odwodnienie np. po kretach, normicach i dżdżownicach. Należy nadmienić, że prezentowane badania prowadzono na polu na którym znajdowały się resztki poźniwne, które mogły mieć wpływ na wynik końcowy przy porównaniu przyjętych metod.



Rys. 1. Wilgotność gleby mierzona na polu nr 261 na głębokości 5cm przyrządem ThetaProbe  
 Fig. 1. Surface layer (5 cm depth) soil moisture map of the plot 261 measured by ThetaProbe



Rys. 2. Wilgotność gleby w górnej warstwie gleby mierzona na polu nr 261 metodą grawimetryczną  
 Fig. 2. Surface layer soil moisture map of the plot 261 using gravimetric method

W przyjętej metodyce wydzielenia 9 kwadratów na objętym badaniami polu należy zwrócić uwagę na punkt 33 w strefie A, gdzie stwierdzono większy udział piasku w porównaniu z pozostałymi miejscami wykonywanych pomiarów. Analizując uzyskane wyniki dwóch metod z w/w miejsca zauważa się dużą zbieżność wyników 24,74% (ThetaProbe) i 24,64% dla naczyniek Kopeckiego, w pozostałych miejscach pomiaru różnice były większe.

W punktach 33,31 i 53 w strefie A ze względu na lżejszy typ gleby uzyskano także niższe wartości średnie pomiarów obu przyjętych metod. Uzyskane wielkości mieszczą się w przedziale 24,64% (dla naczyniek Kopeckiego, punkt 33A) do 29,96% (ThetaProbe, punkt 53A).

W strefie B średnie wartości mieściły się w przedziale od 27,44% (Kopeckiego naczynka, 39B) do 31,02% (ThetaProbe, 39B). W strefie C, analizując poszczególne wartości zauważamy pewną anomalię (dokładnie w punkcie 56C), albowiem mimo, że występująca tu glebę możemy zaliczyć do ciężkich gdzie wilgotność określona za pomocą naczyniek Kopeckiego miała najniższą wartość to średnia uzyskana z pomiarów przy pomocy ThetaProbe wskazywała wysokie wartości. Zniekształcony wynik był najprawdopodobniej spowodowany dużą zawartością resztek poźniwnych które znajdowały się w rejonie tej strefy.

## Podsumowanie

Pomiar objętościowej wilgotności gleby za pomocą przyrządu ThetaProbe połączonym z rejestratorem Moisture Meter HH2 umożliwia szybką ocenę wilgotności gleby. Dla obydwu badanych inwazyjnych metod pomiarowych wilgotności gleby metoda grawimetryczna w porównaniu z sensorową ThetaProbe jest bardziej czasochłonna ale pozwala na uzyskanie dokładnych wyników. Na niedokładność wskazań przyrządu ma wpływ szereg czynników takich jak niejednorodna gęstość gleby, występowanie drobnych kamieni i korzeni w pobliżu prętów pomiarowych, otwory w glebie po dżdżownicach, drenaż wody glebowej. Sensor jest wrażliwy na występowanie większych przestrzeni powietrznych w bliskości prętów pomiarowych, które mają wpływ na zaniżanie wskazań wartości wilgotności gleby.

Gleba piaszczysta charakteryzuje się lepszymi właściwościami przepuszczalności wody w głąb. Inaczej jest na glebach ilastych, które mają tendencje zatrzymywania wody. Porównując mapy wilgotności gleby z przewodnością elektryczną zauważa się, że gleby z wyższą konduktywnością są w stanie zatrzymywać więcej wody i na odwrót.

Rolnictwo intensywne wymaga dokładnych i aktualnych informacji dotyczących pól. Chodzi tu przede wszystkim o stosowanie optymalnych dawek nawozów. Prezentowane metody mniej lub bardziej precyzyjnie w zależności od wymienionych wyżej czynników pozwalają na utworzenie map stanowiących uzupełnienie istniejących informacji o danym terenie.

*Artykuł jest częścią realizowanych badań VEGA nr 1/3478/06: „Ekologiczna i energetyczna optymalizacja procesu agrosystemu wspomaganego technologiami informatycznymi i zarządzania” realizowanych w Katedrze Maszyn i Systemów Produkcji Słowackiego Uniwersytetu Rolniczego w Nitrze w roku 2006-2009.*

## Bibliografia

- Davis, J.G. et al.** 1997. Using electromagnetic induction to characterize soils. In: *Better Crops with Plant Food*, v.4. <http://mpac.missouri.edu/pubs/Electromag.pdf>.
- Doerge, T.** 2001. Fitting soil electrical conductivity measurements into the precision farming toolbox. <http://www.soils.wisc.edu/extension/FAPM/proceedings01/Doerge-withPIX.PDF>.
- Jaynes, D.B. et al.** 1996. Improved soil mapping using electromagnetic induction surveys. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on Precision Agriculture*, s. 169-179.
- Johnson, C.K. et al.** 2001. Field-scale electrical conductivity mapping for delineating soil condition. In: *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, v. 65, s. 1829-1837.
- Geographic Information System. 2006. <http://www.esri.com>.
- STN 721012: 1981, Laboratorne stanovenie vlhkosti pôd.
- ThetaProbe Soil Moisture Sensor type ML2x. User manual. 1999. <http://www.delta-t.co.uk>.

## EVALUATION OF SOIL SPATIAL MOISTURE PATTERN BASED ON ELECTRIC CONDUCTIVITY MAPS

**Summary.** Agricultural cropping systems depend on the use of water resources for survival, and water needs vary spatially in fields, because of spatial soil variability. Therefore the plant need for water may differ between different zones of a particular field. GIS software for precision farming management will store data such as soil moisture, soil type, etc. in layers and assign that information to the particular field location. The field location is stored by the latitude and longitude of that position, which is typically found using a GPS. In this paper results of a soil moisture measurement using two methods are reported. The total area of the field was 14.27 ha. Intended field is characterized by three different zones and there were three squares of 2x2 m chosen in each zone respectively. For soil moisture determination ThetaProbe (ML2x) and gravimetric method were used. Measurement was conducted in the surface layer of soil. ThetaProbe values ranged between 16.6% (point number 33A) and 40.5% (point number 15C) and soil sampling using rollers ranged between 24.35% (point number 33A) and 41.56% (point number 1C). The surface layer average values presented 30.51% for ThetaProbe and 30.05% for gravimetric method. For determination of soil electrical conductivity a conductometer KTN-6 was used and measured values represent a soil depth of 0 – 90cm.

**Key words:** volumetric soil moisture, ThetaProbe (ML2x), gravimetric method, soil electrical conductivity, precision farming

**Adres do korespondencji**

Katarína Kollárová, Jozef Krajčo, Marián Plačko

e-mail: [kkollarova@gmail.com](mailto:kkollarova@gmail.com), [jozef.krajco@gmail.com](mailto:jozef.krajco@gmail.com), [marian.placko@gmail.com](mailto:marian.placko@gmail.com)

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

Mechanizačná fakulta, Katedra strojov a výrobných systémov

Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra

Slovenská Republika

Kazimierz Rutkowski; e-mail: [rutkowski@tier.ar.krakow.pl](mailto:rutkowski@tier.ar.krakow.pl)

Katedra Inżynierii Rolniczej i Informatyki

Akademia Rolnicza w Krakowie

ul. Balicka 116B

30-149 Kraków