

## Porównanie zróżnicowania przewodności elektrycznej gleby wykonanej urządzeniem Topsoil Mapper i jej charakterystyk penetrometrycznych

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono metodę identyfikacji zróżnicowania zwięzłości profilu glebowego na podstawie nieinwazyjnego pomiaru przewodności elektrycznej czterech warstw podpowierzchniowych gleby. Do badań przewodności wykorzystano system pomiarowy firmy GEOPROSPECTORS o nazwie Topsoil Mapper, natomiast zagęszczenie poszczególnych warstw gleby mierzono penetrometrem stożkowym firmy Eijkelkamp. Na podstawie wyników pomiarów wygenerowano mapy przestrzennego zróżnicowania zmierzonych wielkości w obrębie poligonu doświadczalnego, które mogą być wykorzystywane w rolnictwie precyzyjnym. Odnotowano wyraźne związki między wartością przewodności elektrycznej gleby a jej zwięzłością, które opisane współczynnikiem korelacji liczonej z relacji wykonanych map przestrzennych obu parametrów w obrębie poligonu doświadczalnego mieściły się w przedziale od 0,48 do 0,66 i dotyczyła zakresu głębokości od 0,09 m do 0,2 m. Daje to możliwość wykorzystania systemu w technologiach precyzyjnej uprawy i innych czynnościach identyfikacji zmienności glebowej przestrzeni produkcyjnej.

**Abstract.** The article presents a method for identifying the diversity of soil profile cohesion on the basis of non-invasive measurement of the electrical conductivity of four soil subsurface layers. For conductivity testing, the GEOPROSPECTORS measuring system called Topsoil Mapper was used, while the compaction of individual soil layers was measured with an Eijkelkamp cone penetrometer. Based on the results of measurements, maps of the spatial differentiation of the measured quantities within the experimental range were generated, which can be used in precision agriculture. There was a clear relationship between the value of soil electrical conductivity and its cohesion, which was described by the correlation coefficient calculated from the relations between the spatial maps of both parameters within the experimental range ranged from 0.48 to 0.66 and referred to the depth range from 0.09 m to 0.2 m. This gives an opportunity to use the system in precise cultivation technologies and other activities to identify the variability of production space.

*(Comparison of solutions in the field of Topsoil Mapper device service management and penetrometric characteristics of the soil profile).*

**Słowa kluczowe:** system pomiarowy, Topsoil Mapper, GPS, rolnictwo precyzyjne, penetrometr stożkowy

**Keywords:** measuring system, Topsoil Mapper, GPS, precision agriculture, Penetrologger

### Wstęp

Określenie zmienności warunków produkcyjnych w obrębie powierzchni arealu staje się kluczowym zagadnieniem współczesnych wielkotowarowych technologii produkcji żywności. Wysublimowane technologicznie systemy upraw wymagają do ich optymalnej realizacji dużej ilości danych, których pozyskanie powinno być nieinwazyjne i wymagające minimalnego nakładu czasowego. Jedną z najbardziej niezawodnych, najprostszych w wykonaniu i najczęściej stosowanych metod do charakterystyki zmienności w obrębie powierzchni pola produkcyjnego jest pomiar przewodności elektrycznej EC (ang. Electrical Conductivity) jego profilu, czyli zdolności materiału do przewodzenia prądu elektrycznego [1,2]. Gleba przewodzi prąd elektryczny przez frakcję płynną (woda), stałą (minerale ilaste) oraz mieszane warstwy cząsteczek i roztworu glebowego [3,4]. W przeciwieństwie do przewodności elektrycznej właściwej EC, mierzonej w laboratorium poprzez pomiar przepływu prądu elektrycznego w zawieszinie gleby i wody, przewodność całkowitą mierzoną w warstwie gleby bezpośrednio na polu określa się mianem przewodności pozornej ECa (ang. apparent conductivity) [5,6]. Przewodność elektryczna ECa w warunkach polowych wyznaczana jest z wykorzystaniem indukcji elektromagnetycznej EMI (ang. ElectroMagnetic Induction) i powszechnie wyrażana w milisiemensach na metr ( $\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) lub oporności elektrycznej ER (ang. Electrical Resistivity) podawanej w omach na metr ( $\Omega\cdot\text{m}^{-1}$ ) [7]. Konduktometry kontaktowe są zbudowane z kilku par elektrod w postaci obracających się tarcz stalowych płytko zagłębionych w glebie. Odległość między elektrodami decyduje o głębokości pomiaru [8]. Czujniki bezkontaktowe działają na zasadzie indukcji elektromagnetycznej. Metoda polega na pomiarze wzajemnej indukcyjności dwóch obwodów elektrycznych, w którym obwód magnetyczny zamyka się przez glebę. Urządzenie składa się z jednostki emitującej

primary current, primary field oraz jednostki odbierającej induced current, secondary field. Wartość indukowanego prądu jest proporcjonalna do przewodności elektrycznej gleby [9]. Choć parametry elektryczne gleby charakteryzują precyzyjnie jej zmienność, to niestety nie jest ona miernikiem konkretnej właściwości gleby tylko wynikiem współzależności kilku właściwości gleby, których ilościowa identyfikacja jest procesem skomplikowanym. Dodatkowo należy mieć na uwadze szybkozmienność właściwości elektrycznych mierzonego środowiska glebowego, choćby tylko z przyczyn pogodowych. Rozpoznanie istotnych z punktu widzenia cech produkcyjnych metodami nieinwazyjnymi jest istotne z punktu widzenia robotyzacji procesów technologicznych [10]. Trwają badania nad identyfikacją nadmiernego zagęszczenia warstw podglebia metodami radarowymi oraz powiązaniu echogramów z właściwościami elektrycznymi gleby mierzonymi konduktometrem [11-15]. Ostatnio pojawiły się komercyjne rozwiązania pozwalające wyznaczyć właściwości gleby na podstawie pomiaru przewodności elektromagnetycznej, jednym z nich jest czujnik Topsoil Mapper austriackiej firmy GEOPROSPECTORS. Czujnik pracuje na zasadzie indukcji elektromagnetycznej w systemie wielocewkowego układu. Złożony układ cewek nadawczych i odbiorczych tworzy bardzo zwartą instalację umieszczoną w szczelnie zamkniętej obudowie. System skanuje glebę do głębokości maksymalnie 1,1 m, z częstotliwością 5 Hz, i prędkością jazdy max.  $15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Wraz z mierzonymi danymi rejestrowane współrzędne geograficzne każdego punktu pomiarowego. Mierzone parametry gleby mogą być skonfigurowane albo w postaci map wyświetlanych na terminale, albo do sterowania pracą maszyny uprawowej. Wyniki pomiarów są następnie przeliczane według opracowanych algorytmów. Pomiaru zwięzłości można wykonać tradycyjną metodą wykorzystującą penetrometry stożkowe, które są normatywnie usankcjonowane, gdzie sam stożek pomiarowy penetrometru był przedmiotem

badania w zakresie jego kąta wierzchołkowego i pola podstawy [16]. Możliwość bezinwazyjnego określania zwięzłości daje ogromne możliwości w modyfikacji i optymalizacji technologii uprawy.

### Cel i zakres badań

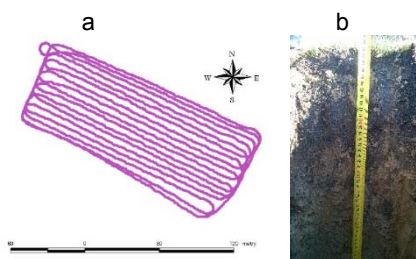
Celem badań było określenie wzajemnych relacji między przewodnością elektryczną różnych warstw profilu glebowego wykonanych przy pomocy Topsoil Mapper a oporem stawianym stożkowi penetrometru przechodzącemu przez wyszczególnione warstwy gleby. Zakres badań obejmował sporządzenie map przestrzennego zróżnicowania wybranych właściwości fizycznych w warstwach profilu glebowego, gdzie dokonano pomiaru indukcji elektromagnetycznej.

### Metodyka badań

Badania przeprowadzono na poligonie doświadczalnym o powierzchni ok. 2 ha wykorzystując urządzenie Topsoil Mapper do pomiaru przewodności elektrycznej gleby jednocześnie na czterech głębokościach profilu glebowego (rys. 1), częstotliwość zapisu wyników pomiaru biorąc pod uwagę zmienność mierzonej wielkości ustalono na 1 Hz. Każdemu punktowi pomiarowemu przypisano koordynaty geograficzne umożliwiające identyfikację wartości przewodności elektrycznej gleby w konkretnym miejscu poligonu doświadczalnego (rys. 2). Opór stawiany stożkowi penetrometru realizowano w punktach, których położenie było tożsame z punktami pomiaru przewodności elektrycznej. W konsekwencji takiego postępowania do interpolacji mierzonych wielkości traktowanych jako zmienne deterministyczne wykorzystano najprostszą, szybką i niewymagającą modelowania metodę odwrotnych odległości IDW (Inverse Distance Weighted). Do interpolacji danych punktowych, wizualizacji map wektorowych i rastrowych, wykonania stosownych operacji na mapach w postaci logicznych zapytań i wynikającej z nich przestrzennej selekcji danych jak również nakładania wzajemnie zależnych danych poszczególnych map zrealizowano z wykorzystaniem oprogramowania ERSI ArcView GIS. Przy wykonywaniu map przestrzennego zróżnicowania mierzonych wielkości przyjęto takie same parametry interpolacji, tj. wagę wynoszącą 2, natomiast jako liczbę sąsiadujących punktów przyjęto 12 [16].



Rys. 1. Aparatura pomiarowa Topsoil Mapper



Rys. 2. Schemat tras pomiarowych doświadczenia terenowego (a), profil gleby poligonu doświadczalnego (b)

Badania penetrometryczne wykonano Penetrologger Eijkelkamp z sondą ThetaProbe (rys. 3) zaprojektowanym do pomiaru zwięzłości i wilgotności gleby na gruntach uprawnych wg. normy ASAE (obecnie ASABE). Głębokość pracy penetrometru pozwalała na pomiar zwięzłości gleby do głębokości 0,8 m w odstępach co 0,01 m.

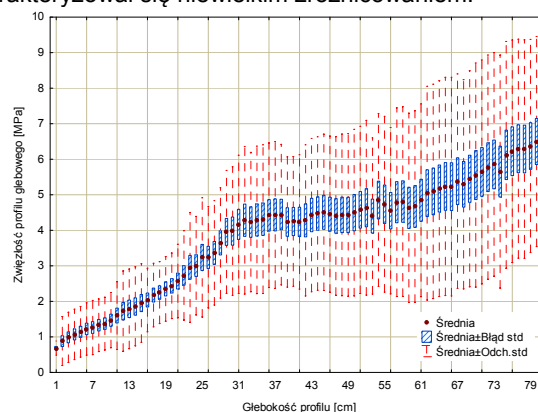


Rys. 3. Penetrologger Eijkelkamp z sondą ThetaProbe

Pomiary przeprowadzono wykorzystując stożek o średnicy nominalnej 11,28 mm i kącie rozwarcia 30°. Urządzenie poziomowano przy pomocy zainstalowanej w obudowie poziomicz zachowując w czasie sondowania tolerancję odchylenia sondy od pionu nie przekraczającą 3,5°. Głębokość mierzono czujnikiem ultradźwiękowym współpracującym z płytką referencyjną. Pomiary zwięzłości dokonywano ze średnią prędkością wciskania stożka penetrometru wynoszącą 5 cm·s<sup>-1</sup>. Dodatkowo wykonano standardowe badania wilgotności w obrębie profilu gleby będącego przedmiotem badań.

### Wyniki badań

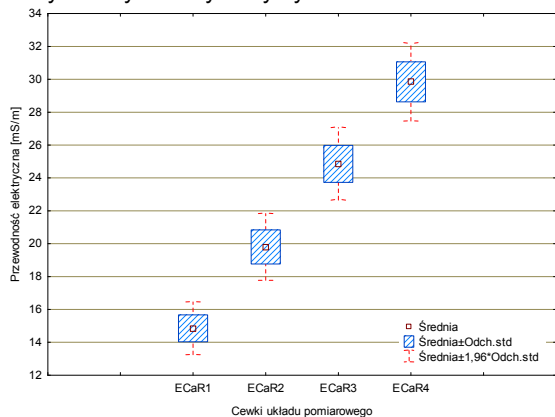
Zwięzłość gleby mierzona penetrometrem stożkowym odzwierciedlała stan ugniecenia jej poszczególnych warstw, których skład granulometryczny nie był jednorodny, co wpływało również na zróżnicowanie mierzonego parametru (rys. 3). Odnotowano liniowy wzrost wartości zwięzłości do głębokości warstwy gleby wynoszącej 0,3 m, gdzie osiągała wielkość ok 4 MPa. Należy zaznaczyć, że odcinek ten charakteryzował się niewielkim zróżnicowaniem.



Rys. 4. Zwięzłość poszczególnych warstw profilu gleby w obrębie poligonu doświadczalnego

Następne warstwy gleby między 0,3 m - 0,6 m charakteryzowały się podobną zwięzłością wynoszącą ok 4,5 MPa, ale znacznie wyższą zmiennością zwięzłości w stosunku do płytszych warstw profilu. W przypadku głębszych warstw gleby odnotowano znacznie wyższy jednostkowy przyrost zwięzłości oraz dużą zmienność jej wartości. Znacznie bardziej stabilne wyniki uzyskano przy pomiarze przewodności elektrycznej gleby (rys. 5), gdzie wyraźnie wyodrębniono cztery jednorodne grupy wartości przewodności elektrycznej. Najmniejszą średnią wartość przewodności elektrycznej wynoszącą 14,85 mS·m<sup>-1</sup> odnotowano dla układu ECar1, natomiast najwyższą dla cewki ECar4, gdzie wynosiła 29,85 mS·m<sup>-1</sup>. Należy

zaznaczyć, że wyniki przewodności elektrycznej uzyskanej na różnych poziomach głębokości były istotnie różne, co świadczyłoby o zróżnicowaniu niektórych cech profilu glebowego, bardzo zróżnicowanego pod względem składu granulometrycznego (patrz rys. 2b). W tabeli 1 przedstawiono współczynniki korelacji między wartościami przewodności elektrycznej profilu glebowego a zwężnością jego warstw na głębokości, gdzie przedmiotowy współczynnik był istotny statystycznie.



Rys. 5. Przewodność elektryczna profilu glebowego mierzonego urządzeniem Topsoil Mapper

Stwierdzono, że najwyższe wartości współczynników korelacji między zwężnością a przewodnością elektryczną odnotowano na głębokości profilu glebowego wynoszącego 0,1 m, dotyczy to wszystkich zastosowanych w doświadczeniu cewek. Należy zwrócić uwagę, że związki korelacyjne między mierzonymi wielkościami odnotowywano do głębokości profilu glebowego wynoszącego 0,18 m.

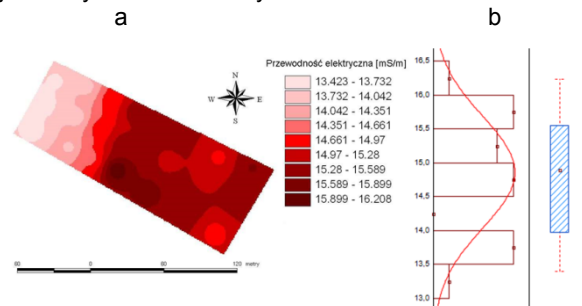
Tab. 1. Współczynniki korelacji między przewodnością elektryczną profilu glebowego mierzonego urządzeniem Topsoil Mapper a zwężnością określaną metodą penetrometryczną ( $p=0,05$ )

Głębokość profilu glebowego [cm]	Cewki układu pomiarowego			
	ECaR1	ECaR2	ECaR3	ECaR4
10	-0,628	-0,661	-0,612	-0,598
11	-0,593	-0,627	-0,584	-0,583
12	-0,535	-0,565	-0,521	-0,531
13	-0,529	-0,549	-0,505	-0,514
14	-0,571	-0,587	-0,547	-0,554
15	-0,531	-0,547	-0,502	-0,509
16	-0,517	-0,535	-0,483	-0,481
17	-0,480	-0,507	-0,445	-0,449
18	-0,437	-0,467	-0,395	-0,395

Pomimo zróżnicowania wartości bezwzględnych przewodności elektrycznej gleby nie zaobserwowano zróżnicowania w relacjach między zwężnością gleby a jej pojemnością elektryczną. Natomiast we wszystkich przypadkach współczynniki korelacji mają wartość ujemną, co świadczy ze wzrost zwężności gleby zmniejsza jej przewodność elektryczną.

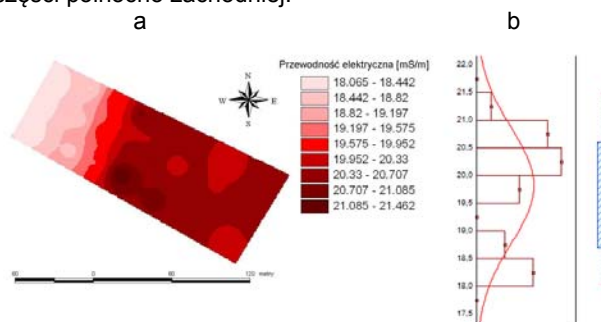
Praktyczne wykorzystanie wyników badań jest możliwe dopiero po identyfikacji przestrzennego zróżnicowania przewodności elektrycznej profilu glebowego w obrębie poligonu doświadczalnego, gdyż dopiero taka struktura wyników może być przełożona na sterowanie pracą maszyn i modyfikację technologii produkcji w systemie rolnictwa precyzyjnego. Na rysunku 6a przedstawiono przestrzenny rozkład przewodności elektrycznej gleby mierzony cewką ECar1. Odchylenie standardowe przewodności elektrycznej wynosiło  $0,82 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ . Najwyższe wartości przewodności

elektrycznej odnotowywane były w południowo-wschodniej części poligonu doświadczalnego (kolor ciemniejszy – rys.6a), natomiast najniższe wartości skoncentrowane były w północno zachodniej części poligonu stanowiąc sumarycznie znacznie mniejszy obszar. Charakterystykę rozkładu wartości przewodności elektrycznej dla cewki ECar1 przedstawiono na rysunku 6b. odnotowano dwa wyraźne obszary o niższej przewodności elektrycznej we wschodniej części pola, ale ich charakter był incydentalny, a zajmowany obszar znikomy.



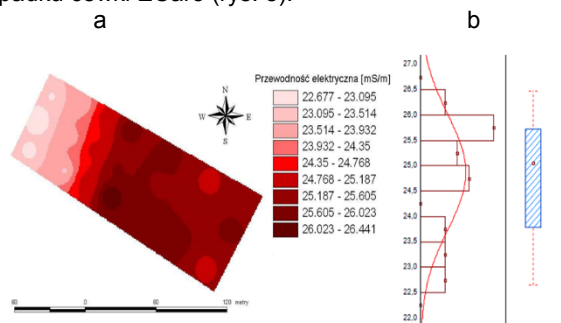
Rys. 6. Przewodność elektryczna profilu glebowego: a – różnicowanie przestrzenne, b – struktura zbioru danych

Na rysunku 7 przedstawiono przestrzenny rozkład przewodności elektrycznej gleby (7a) oraz strukturę zmierzonych wartości przewodności (7b) cewki ECar2. Podobnie jak w/w opisywanym przypadku najwyższe wartości przewodności elektrycznej odnotowano w południowo wschodniej części poligonu a najniższe w części północno zachodniej.



Rys. 7. Przewodność elektryczna profilu glebowego: a – różnicowanie przestrzenne, b – struktura zbioru danych

Należy jednak zaznaczyć, że wartości przewodności elektrycznej ECar2 były wyższe w stosunku do cewki ECar1 na całej powierzchni pola. Bardzo podobną strukturą zmiennością w obrębie poligonu doświadczalnego charakteryzowała się przewodność elektryczna gleby w przypadku cewki ECar3 (rys. 8).



Rys. 8. Przewodność elektryczna profilu glebowego: a – różnicowanie przestrzenne, b – struktura zbioru danych

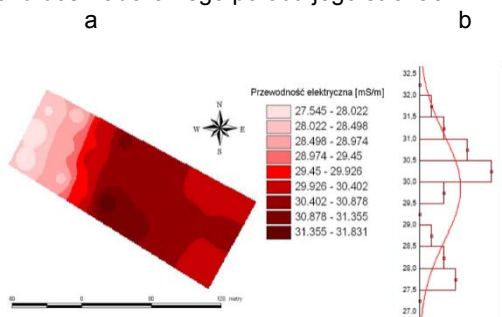
Najwyższe wartości przewodności elektrycznej odnotowano dla profilu gleby usytuowanego w południowo



zachodniej części poligonu doświadczalnego (kolor ciemnoczerwony – rys. 8), natomiast najniższe wartości przewodności elektrycznej gleby wynoszące od 22 mS·m<sup>-1</sup> do 24 mS·m<sup>-1</sup> charakteryzowały się obszary w zachodnio-północnej części poligonu.

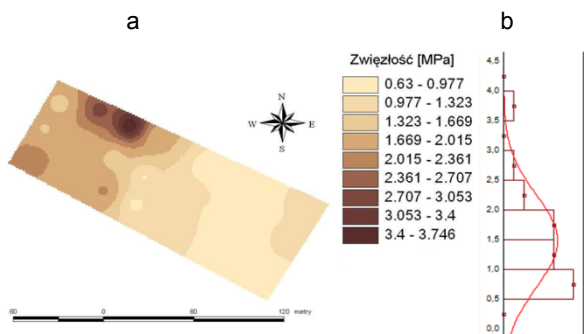
Należy zaznaczyć, że przestrzeń poligonu doświadczalnego charakteryzuje się wyraźnym trendem pod względem wartości południowej tzn. najwyższe wartości na południu a najniższe na jego północnej części. Natomiast nie stwierdzono istotnej mozaikowości pod względem przewodności elektrycznej gleby w obrębie przestrzeni poligonu.

Analizując przestrzenny rozkład czwartej cewki (rys. 9) odnotowano, że najwyższymi wartościami przewodności elektrycznej gleby charakteryzowała się środkowo-zachodnia część poligonu doświadczalnego (kolor ciemnoczerwony). Zidentyfikowano również dwa obszary o mniejszej przewodności elektrycznej we wschodniej części poligonu doświadczalnego po obu jego stronach.



Rys. 9. Przewodność elektryczna profilu glebowego: a – zróżnicowanie przestrzenne, b – struktura zbioru danych

Najniższe wartości przewodności odnotowano w północno zachodniej części poligonu doświadczalnego. Zróżnicowanie przewodności elektrycznej w profilu glebowym w obrębie przestrzeni produkcyjnej pozwala na modyfikację technologii. Istotnym czynnikiem jest parametryzacja w/w zróżnicowania przewodności w odniesieniu do glebowych czynników produkcyjnych. Przeprowadzana analiza relacji między przewodnością elektryczną a zwięzłością gleby pozwoliła określić istotne statystycznie współczynniki korelacji uwzględniające przestrzenną zmienność obu wielkości (patrz tab. 1).

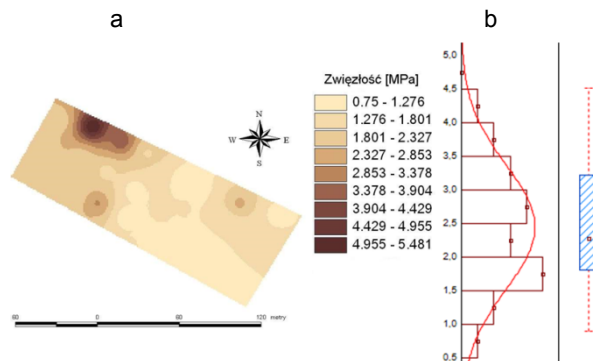


Rys. 10. Zwięzłość gleby na głębokości 0,1 m: a – zróżnicowanie przestrzenne, b – struktura zbioru danych

Na rysunku 10 przedstawiono zróżnicowanie zwięzłości gleby w przestrzeni poligonu doświadczalnego na głębokości 0,1 m. Odnotowano znaczącą zbieżność między strukturami przestrzennymi zróżnicowania zwięzłości i przewodności elektrycznej. Zaobserwowano, że obszary poligonu doświadczalnego o niższej wartości zwięzłości charakteryzowały się większą przewodnością elektryczną (południowe części poligonu), natomiast obszary o wyższej

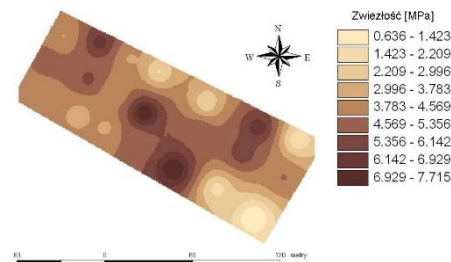
wartości zwięzłości (powyżej 2 MPa) charakteryzowały się mniejszą przewodnością elektryczną (północne części pola). Obserwacja ta jest charakterystyczna dla przedziału głębokości profilu glebowego od 0,1 m do 0,2 m (rys. 11) a następnie przedmiotowe relacje słabną (rys. 12).

W przypadku zwięzłości na głębokości 0,2 m struktura zmienności przestrzennej jest zachowana, ale odwzorowanie powierzchniowe znacznie mniejsze.



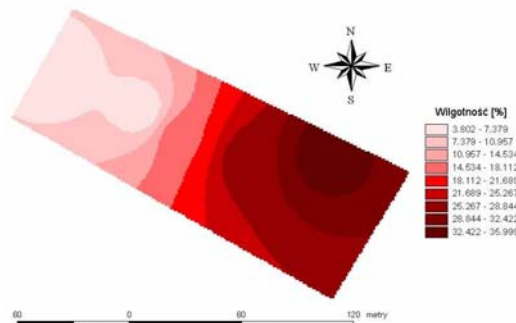
Rys. 11. Zwięzłość gleby na głębokości 0,2 m: a – zróżnicowanie przestrzenne, b – struktura zbioru danych

Natomiast na głębokości profilu glebowego wynoszącego 0,4 m, czyli tej głębokości, na której może dochodzić do nadmiernego zagęszczenia wskutek ugniatania przez maszyny w czasie procesu produkcyjnego nie stwierdzono statystycznie istotnej relacji między przewodnością gleby a jej zwięzłością (rys. 12).



Rys. 12. Zróżnicowanie przestrzenne zwięzłości gleby na głębokości 0,4 m

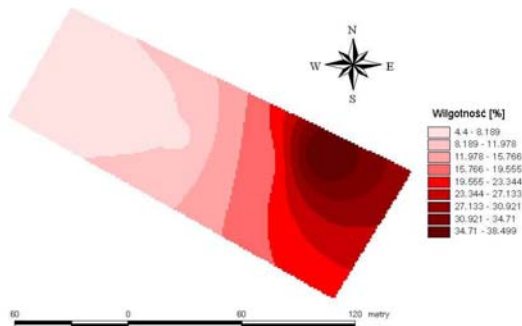
Bardzo istotnym parametrem jest wilgotność gleby która jest silnie skorelowana z przewodnością elektryczną danej warstwy gleby. Na rysunku 13 przedstawiono zróżnicowanie wilgotności gleby w obrębie poligonu doświadczalnego, która zmierzono punktowo na głębokości 0,1 m.



Rys. 13. Zróżnicowanie przestrzenne wilgotności gleby na głębokości 0,1 m

Odnotowano bardzo znaczącą zbieżność między obszarami o wysokiej wilgotności gdzie zmierzono dużą przewodność elektryczną oraz obszarami o niższej

wilgotności i odnotowywanymi mniejszymi wartościami przewodności elektrycznej bez względu na numer cewki. Podobne spostrzerzenie dotyczy wilgotności zmierzonej na głębokości 0,2 m, której przestrzenny rozkład przedstawiono na rysunku 14. Należy zaznaczyć że współczynniki korelacji uwzględniające strukturę zmienności przestrzennej w analizowanych przypadkach były wysokie i wynosły odpowiedni dla warstwy gleby na głębokości 0,1 m - 0,85, natomiast dla warstwy 0,2 m - 0,81.



Rys. 14. Zróżnicowanie przestrzenne wilgotności gleby na głębokości 0,2 m

### Podsumowanie

Przeprowadzone badania w warunkach rzeczywistych potwierdziły przydatność systemu Topsoil Mapper do identyfikacji anomalii w wybranych właściwościach różnych warstw gleby. System w sposób zadowalający identyfikuje zwiążłość gleby w przedziale głębokości od 0,1 m do 0,2 m pozwalając na precyzyjną uprawę oraz generując dane o miejscach na polu, które wymagają szczególnej uwagi. Odnotowano istotną relację między wilgotnością gleby, a jej przewodnością elektryczną, co wymaga prawdopodobnie wygenerowania współczynnika kalibracyjnego, który zminimalizuje wpływ czynnika wilgotności na interpretację danych i ekstrahowanie innych istotnych z punktu widzenia produkcyjnego informacji o glebie.

### Autorzy:

dr hab. inż. Paweł Kielbasa, prof. UR, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, e-mail: pawel.kielbasa@urk.edu.pl, dr inż. Mirosław Zagórda, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, e-mail: Miroslaw.Zagorda@urk.edu.pl, dr hab. inż. Paweł Jabłoński prof. PCz, Politechnika Częstochowska, Katedra Automatyki, Elektrotechniki i Optoelektroniki, al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, E-mail: pawel.jablonski@pcz.pl; mgr inż. Jerzy Koronczok, Agrocom Polska, Strzelecka 47, 47-120 Żędowice, e-mail: koronczok@agrocompolska.pl

### LITERATURA

- [1] Johnson C.K., Doran J.W., Duke H.R., Weinhold B.J., Eskridge K.M., Shanahan J.F. Field-scale electrical conductivity mapping for delineating soil condition. *Soil Sci. Soc. Am.* (2001), J. 65, 1829-1837.
- [2] Lebioda, M.; Rymaszewski, J.; Korzeniewska, E. Simulation of Thermal Processes in Superconducting Pancake Coils Cooled by GM Cryocooler. Conference: International Conference on Microtechnology and Thermal Problems in Electronics (MicroTherm) Location: Lodz, Poland Date: Jun 25-28, 2013. MicroTherm' 2013 - Microtechnology And Thermal Problems In

- Electronics Book Series: Journal of Physics Conference Series, (2014), vol. 494, n.012018.
- [3] Corwin D.L., Lesch S.M. Delineating site-specific management units with proximal sensors. W: *Geostatistical Applications for Precision Agriculture*, Oliver M. (Ed.) Springer Science+Business Media B.V., (2010), rozdz. 6, 139-165.
- [4] Gebbers R. Current crop and soil sensors for precision agriculture. (2014), [http://www.atbpotsdam.de/uploads/feupload/Gebbers\\_Sensors\\_PrecisionAgriculture\\_ConBAP2014\\_v04.pdf](http://www.atbpotsdam.de/uploads/feupload/Gebbers_Sensors_PrecisionAgriculture_ConBAP2014_v04.pdf) Dostępny w Internecie 03.04.2019
- [5] Corwin D.L., Lesch S.M. Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: theory, principles and guidelines. *Agronomy Journal*, (2003), 95, 3, 455-471.
- [6] Coventry R.J., Hughes J.R., McDonnell P.A. Operations manual for apparent soil electrical conductivity mapping: A guide to collecting, analyzing and interpreting soil ECa data in precision sugarcane agriculture. Technical Report, (2011) Soil Horizons, Townsville.
- [7] Rodrigues Jr. F. A., Bramley R.G.V., Gobbett D.L. Proximal soil sensing for precision agriculture: simultaneous use of electromagnetic induction and gamma radiometrics in contrasting soils. *Geoderma* (2015), 243-244, 183-195.
- [8] Walczykova M., Kielbasa P., Zagórda M.: Pozywanie i wykorzystanie informacji w rolnictwie precyzyjnym. *Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej* (2016). ISBN 978-83-64377-03-7.
- [9] Daniels J., Ehsani M.R., Allred B.J.. *Electromagnetic induction methods*. W: Allred B.J., Ehsani M.R., Daniels J.J. (Eds.). *Handbook of Agricultural Geophysics*, CRC Press, (2008), rozdz. 6, 109-128.
- [10] Gołębiowski T., Juliszewski T., Kielbasa P., Tomecka-Suchoń S., Uhl T.. Recent Advancement Approach For Precision Agriculture. In: Uhl T. (eds) *Advances in Mechanism and Machine Science*. IFToMM WC 2019. Mechanisms and Machine Science (2019), vol 73. Springer, Cham. DOI [https://doi.org/10.1007/978-3-030-20131-9\\_287](https://doi.org/10.1007/978-3-030-20131-9_287), Print ISBN 978-3-030-20130-2, Online ISBN 978-3-030-20131-9, eBook Packages Intelligent Technologies and Robotics.
- [11] Juliszewski T., Kielbasa P., Zagórda M., Tomecka S., Karczewski J., Akinniyi A.: Porównanie wyników badania zagęszczenia gleby uprawnej metodą penetrometryczną i georadarową. *Przegląd Elektrotechniczny*, (2019), nr 1, s. 12-16.
- [12] Akınunmade A., Tomecka-Suchoń S., Pysz P., Karczewski J., Juliszewski T., Zagórda M., Kielbasa P. Analysis of the possibility of identifying the rheological structure of soil by the Ground Penetrating Radar and EM conductivity methods. 29th Applications of Electromagnetics in Modern Engineering and Medicine, PTZE 2019; Janow Podlaski; Poland; 9 June 2019 through 12 Jun.
- [13] Tomecka-Suchoń S., Żogała B., Gołębiowski T., Dzik G., Dzik T., Jochymczyk K.: Application of electrical and electromagnetic methods to study sedimentary covers in high mountain areas. *Acta Geophysica*, (2017), 65(4), 743-755.
- [14] Szczesny A., Korzeniewska E.: Dobór metody do pomiaru rezystancji uziemienia *Przegląd Elektrotechniczny* 2018, 94(12), pp. 178-181
- [15] Szczesny A., Korzeniewska E.: Validation of the method for measuring the effectiveness of residual current protection 2019 Applications of Electromagnetics in Modern Engineering and Medicine, PTZE 2019, 8781686, pp. 237-240
- [16] Bajla J., Walczykova M., Štrba M., Benda I.. Ocena poziomego oporu gleby z wykorzystaniem teorii procesów stochastycznych. *Inżynieria Rolnicza*, (2005), nr 10(70). s. 13-21.
- [17] Walczykova M., Zagórda M. 2005. Preparation of yield maps in Agro-Map expert program. *Proceedings of Int. Conf., Slovak Agricultural University*. s. Dudince 2-3. 06.2005.