

Ocena możliwości wykorzystania map przewodności elektrycznej gleby do szacowania zróżnicowania potencjalnego plonu roślin

Streszczenie: Artykuł przedstawia wyniki badań, których celem było określenie związku między przestrzennym zróżnicowaniem przewodności elektrycznej gleby, a zmiennością wartości zebranych plonów w ciągu ostatnich siedmiu lat. Przewodność elektryczna gleby została zmierzona przy użyciu sondy EM38. Porównanie map przestrzennej zmienności przewodności elektrycznej gleby i średnich plonów z wielolecia wykazało zgodność wyznaczonych obszarów. Dlatego zastosowanie tych pomiarów jako alternatywnej podstawy do podejmowania decyzji technologicznych przy braku informacji o plonowaniu jest możliwe i pozwala zidentyfikować różnorodność produktywności na danym polu.

Abstract: The article presents the results of research aimed at determining the relationship between the spatial differentiation of soil electrical conductivity and the variability of harvested crop from the last seven years. Soil electrical conductivity was measured using an EM38 probe. Comparison of maps of the spatial variability of soil electrical conductivity and average yields over many years showed compliance of designated areas. Therefore, the use of these measurements as an alternative basis for making technological decisions in the absence of information on yielding is possible and allows to identify the diversity of productivity in a given field. (Evaluation of the possibility of using soil electrical conductivity maps to estimate the diversity of potential crop yields)

Słowa kluczowe: przewodność elektryczna gleby, mapy przestrzennej zmienności, plonowanie roślin, GPS, rolnictwo precyzyjne
Keywords: soil electrical conductivity, maps of spatial variability, yielding plants, GPS, precision farming

Wstęp

Rozwój współczesnego rolnictwa wymaga zastosowania zaawansowanych metod do określenia produktywności przestrzeni rolnej, które prowadzą do identyfikacji i optymalizacji rozwiązań w zakresie mechanizacji [1-4]. Wzrost powierzchni uprawy w ramach jednego pola powoduje, że na wielkość plonu ma wpływ duża liczba czynników [4-6]. Wyznaczenie prawidłowego postępowania podczas uprawy roślin, szczególnie w przypadku technologii rolnictwa precyzyjnego, wymaga pozyskania informacji o czynnikach limitujących plon i uwzględnienie ich podczas siewu, nawożenia, nawadniania, ochrony roślin oraz zbioru kombajnowego [7]. Podstawową informacją o produktywności jest wielkość plonu [4-7]. Cyfryzacja procesów technologicznych w rolnictwie i możliwość analizy dużej ilości danych oraz możliwość precyzyjnego określenia ich umiejscowienia w przestrzeni pola dały możliwość powiązania wielu informacji m.in. o wielkości plonu w postaci monitoringu plonu [4]. Zastosowanie programów do analiz przestrzennych zmiennych determinujących plon i zmienności właściwości gleb umożliwia wyznaczenie strategii postępowania w procesie technologicznym i optymalizację produkcji. Warunkiem koniecznym jest m.in. monitorowanie plonu, które musi być wykonywane przez kilka lat [6]. Wykorzystanie wyników do przygotowania map przestrzennej zmienności wymaga wyznaczenia pozycji na polu i w tym celu dołączany jest komputer polowy z odbiornikiem GPS lub GNSS [8-10]. Pozyskanie informacji o zmienności przestrzennej gleby w stosunkowo krótkim czasie umożliwia zastosowanie czujników mierzących własności elektryczne [4, 11-14]. Pomiary własności elektrycznych gleby bazują na trzech zjawiskach: opór elektryczny, indukcja elektromagnetyczna i reflektometria TDR, ADR i FDR [15]. W przypadku wykonywania pomiarów oporu elektrycznego gleby i reflektometrii wymagany jest stały kontakt elektrod z badanym materiałem [15], co stwarza wiele problemów w przypadku skanowania dużych obszarów. Wykonywanie pomiarów przy użyciu metod kontaktowych wymaga zastosowania jednakowej prędkości przemieszczania się po polu i

zastosowania dociążenia uzależnionego od warunków terenowych. Kamienie, które mogą zawierać w swym składzie gleby, przyczyniają się do powstawania błędów pomiarowych, a czasami uniemożliwiają wykonanie pomiarów w sposób kontaktowy [15]. Takie problemy nie występują w przypadku urządzeń bezkontaktowych, które dzięki zastosowaniu par cewek wykonują pomiar na podstawie indukcji elektromagnetycznej. W badaniach gleby popularnym urządzeniem z tej grupy jest konduktometr EM38 (rys. 1a). Konduktometr EM38 pozwala na pomiary do głębokości 1.5 m w układzie pionowych dipoli oraz do 0.75 m w układzie poziomych dipoli (pionowych anten) [16]. Pomiary konduktometrem najczęściej są wykonywane podczas przejazdów pojazdem terenowym po badanej powierzchni z umieszczonym konduktometrem w pojemniku na sianach z tworzywa sztucznego (rys. 1b).



Rys. 1. Konduktometr EM38 (a) i sposób jego transportowania podczas pomiarów na polu (b)

Nowoczesne rozwiązania systemów pomiarowo-sterowniczych wykorzystujące zjawisko indukcji elektromagnetycznej zawierają po kilka cewek pomiarowych umożliwiających określenie własności gleby na różnych głębokościach. Dzięki temu wyniki pomiarów przewodności elektromagnetycznej gleby pozwalają na

zastosowanie technologii zmiennej uprawy podczas wykonywania zabiegów agrotechnicznych, bez konieczności przygotowywania wcześniej mapy aplikacyjnej (rys. 2).



Rys. 2. Zmienna uprawa gleby na podstawie wskazań urządzenia Top Soil Mapper: a) skaner Top Soil Mapper, b) panel sterujący głębokością pracy narzędzia

Cel i zakres badań

Celem badań było określenie wzajemnych relacji pomiędzy przestrzennym zróżnicowaniem przewodności elektrycznej gleby a zróżnicowaniem wybranych właściwości zbieranego plonu mierzonego w siedmioletnim interwale czasu.

Metodyka

Badania przeprowadzono na polu o powierzchni 26 ha (rys. 3). Gleba na tym polu charakteryzowała się dużą ilością pyłów i części sypawych co klasyfikowało ją do gleb z gatunku pyłu ilastego (tab. 1). Gleby takie zaliczane są do gleb ciężkich i trudnych w uprawie, dlatego bardzo istotne staje się ich monitorowanie.

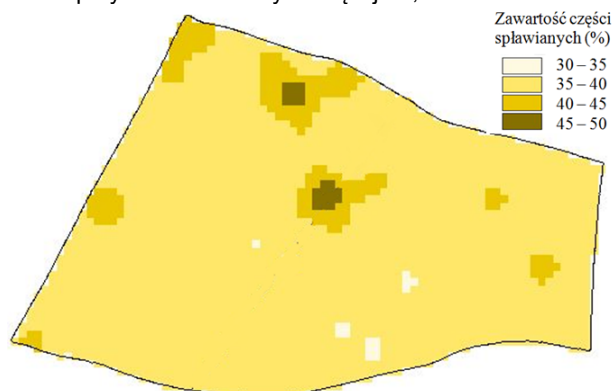
Tabela 1. Skład granulometryczny gleby na badanym polu

Zawartość frakcji [%]			Gatunek gleby wg BN-78/9180-11
piasek	pył	części sypawalne	
1,0 - 0,1	0,1 - 0,02	<0,02	pył ilasty (pti)
1,2	60,5	38,3	

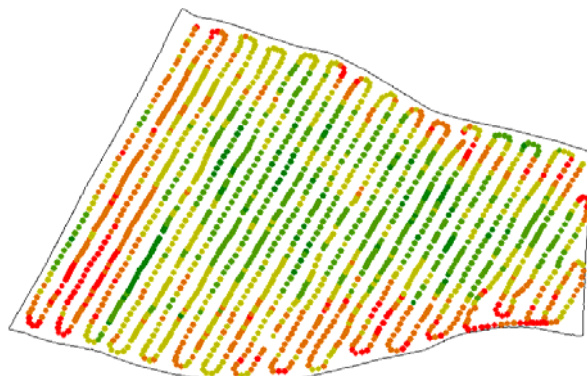
Poligon, na którym prowadzono doświadczenie został tak dobrany, aby zróżnicowanie gatunku gleby było minimalne i mało charakter incydentalny. Niewielkie zróżnicowanie gatunku gleby pozwala na eliminację wpływu tego czynnika na charakterystykę plonu a identyfikacja przestrzenna powierzchni o innej ilości części sypawych pozwala na szczegółową analizę i uwzględnienie tego czynnika w generowaniu wniosków i działań technologicznych wynikających z wartości przewodności elektrycznej danego obszaru.

Przewodność elektryczna gleby zmierzono sondą EM38 (rys. 1) realizując pomiar w przejazdach równoległych co 20 m (rys. 4). Na powierzchni badanego pola zarejestrowano łącznie 1735 punktów pomiaru. Średnia wartość obliczona z danych punktowych (rys. 4) wynosiła 103,33 mS·m⁻¹, przy

współczynnikiem zmienności na poziomie 18,9%. Średnia prędkość podczas wykonywania pomiarów wynosiła 16,48 km·h⁻¹ przy zmienności wynoszącej 19,3%.



Rys. 3. Przestrzenne rozmieszczenie obszarów o różnej zawartości części sypawych



Rys. 4. Linia graniczna i zarejestrowane punkty pomiaru przewodności elektromagnetycznej gleby na polu o powierzchni 26 ha

Wielkość plonu pszenicy ozimej, rzepaku ozimego i kukurydzy na ziarno, zbieranych w kolejnych siedmiu latach, była mierzona w czasie rzeczywistym poprzez zastosowanie optycznego systemu monitoringu plonu na kombajnie Claas Lexion 430 (rys. 5). Pozwoliło to umiejscowić przestrzenie w obrębie badanego pola wartość plonu, co umożliwiło obserwację jego zróżnicowania przestrzennego. Dane o wysokości plonu były w systemie rejestrowane co 5 s., natomiast pomiar wilgotności ziarna czujnikiem pojemnościowym (rys. 5) przeprowadzany był co 20 s. Wyniki wilgotności były przypisywane do wartości plonów, aż do kolejnego pomiaru wilgotności. Dzięki informacji o wilgotności zbieranego ziarna wyniki były korygowane i przedstawione jako wartość plonu przy wilgotności 14% w przypadku pszenicy ozimej i kukurydzy na ziarno oraz 9% dla rzepaku ozimego. Są to wartości maksymalne przy okresie przechowywania do 6 miesięcy i obowiązujące przy sprzedaży.

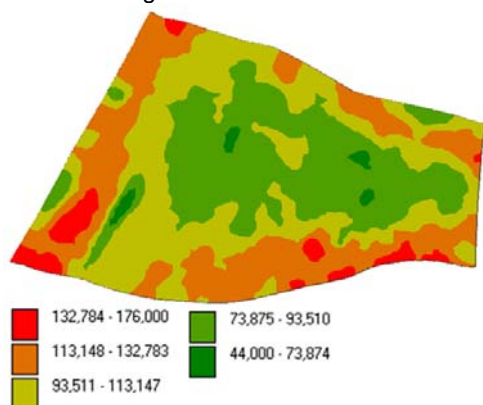
Do interpolacji zmierzonych wielkości plonu wybrano metodę odwrotnych odległości IDW (Inverse Distance Weighted). Dane plonowe przetwarzano w programie ArcView GIS 3.3, natomiast dane ze skanera przetwarzano w oprogramowaniu Farm Works Office. W obydwu przypadkach podczas interpolacji przyjęto wielkość pikseli 10 m. Po wyznaczeniu mapy plonowania konieczne było dokonanie standaryzacji wyników otrzymanych dla różnych roślin. Standaryzacja polegała na określeniu wartości plonu w poszczególnych pikselach mapy jako ich stosunku do średniej wysokości plonu, uzyskanego na polu w danym roku.



Rys. 5. Monitoring plonu zainstalowany na kombajnie Claas Lexion 430

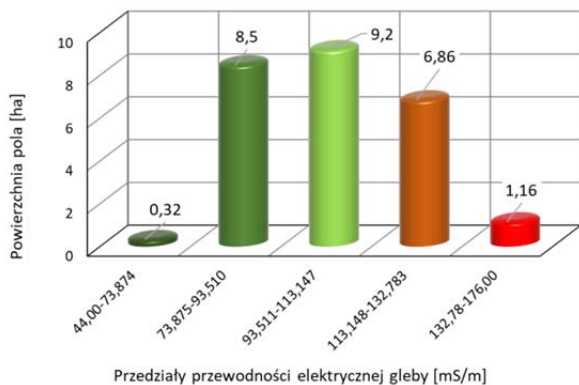
Wyniki badań

Wyniki badań przedstawiono w postaci map i tabeli zawierającej wartości średniego plonu dla różnych uprawianych roślin. Na rysunku 6 przedstawiono zróżnicowanie przewodności elektrycznej gleby w obrębie pola doświadczalnego.



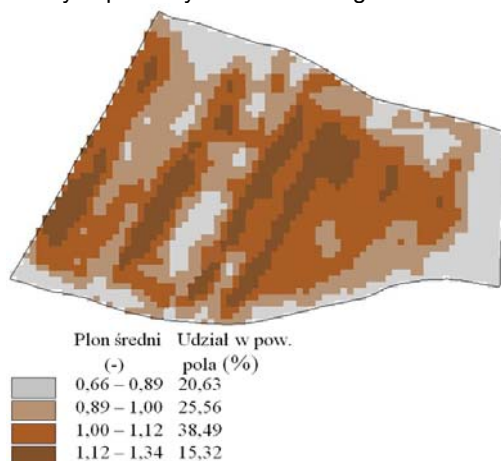
Rys. 6. Wyniki pomiaru przewodności elektrycznej gleby

Stwierdzono, że średnia wartość przewodności elektrycznej gleby, wyznaczona z mapy po interpolacji danych punktowych, wynosiła $103,44 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$, przy czym skupiona była pod względem wartości w dwóch przedziałach tzn. na ponad 69,2% obszaru pola w/w przewodność oscylowała między $44 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ i $113,147 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$, a na 30,8% obszaru pola doświadczalnego przewodność elektryczna wynosiła od $113,147 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ do $176 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$. Przeważająca część pola, bo 67,9% powierzchni zajmowały obszary o wartościach z przedziału $73,87$ do $113,147 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ (rys.7).



Rys. 7. Struktura przewodności elektrycznej gleby na powierzchni poligonu doświadczalnego

Połączenie za pomocą oprogramowania GIS przestrzennych informacji o plonie i właściwościach gleby pozwala określić najważniejsze czynniki wpływu na plon, co jest podstawą w stosowaniu strategii rolnictwa precyzyjnego. Mapa plonu zasadniczo łączy w sobie wpływy klimatyczne oraz decyzji podjętych przez rolnika podczas procesu produkcji. Monitoring wysokości plonów musi być jednak długotrwały, aby można było na jego podstawie podejmować decyzje [6]. Uśrednioną mapę zróżnicowania plonowania z siedmioletniego interwału czasu (rys. 8) wykonano na podstawie map plonów rejestrowanych przez system monitoringu.



Rys. 8. Mapa średniego plonu standardowego z wielolecia

Plon roślin wahał się w przedziale od $3,44$ do $7,72 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (tab. 2). Najniższe wartości występowały w przypadku rzepaku ozimego ($3,44 - 3,70 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) i też w jego przypadku zmienność plonu była na poziomie $18,6 - 23,0\%$ (tab. 2). Plon kukurydzy na ziarno i pszenicy po skorygowaniu go do wilgotności 14%, był na podobnym poziomie i zawierał się w przedziale $5,9 - 7,72 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (tab. 2). Współczynnik zmienności plonu w przypadku tych roślin był niższy i wahał się w przedziale od $9,28$ do $15,95\%$. Należy zaznaczyć, że zmienne do generowania wynikowej mapy plonów były standaryzowane.

Tabela 2. Wysokość plonów i ich zmienność w badanym okresie

Rok badań	Roślina	Plon średni [$\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Współczynnik zmienności V [%]
1	pszenica	7,52	15,95
2	rzepak	3,44	18,60
3	pszenica	5,90	10,50
4	kukurydza	7,72	10,23
5	pszenica	7,56	9,28
6	rzepak	3,70	23,03
7	kukurydza	6,94	12,19

Po nałożeniu standaryzowanych map plonu z siedmiu lat powstała mapa przedstawiająca średni plon standardowy (rys. 8). Współczynnik zmienności średniego plonu standardowego był na poziomie 14%. Najwyższe plony odnotowano w środkowej części pola i zajmowały one 53,81% całej powierzchni. Obrys tego obszaru pokrywał się z przewodnością elektryczną gleby z przedziału między $44 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ i $113,147 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$. Podobną relację zauważono dla najmniejszego plonu, który występował w skrajnej części pola i w znacznym stopniu obszar jego występowania pokrywał się obszarem, na którym przewodność elektryczna gleby była wyższa od $113,147 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$.

Podsumowanie

Porównanie map przestrzennej zmienności przewodności elektromagnetycznej i średnich plonów z wielolecia wykazało zgodność wyznaczonych obszarów w przypadku plonów i przewodności elektrycznej. Zatem zastosowanie przewodności elektrycznej gleby jako alternatywnej podstawy do podejmowania decyzji technologicznych w przypadku braku informacji o plonowaniu roślin, jest możliwe i pozwala zidentyfikować zróżnicowanie produktywności w przestrzeni danego arealu.

Autorzy: dr inż. Mirosław Zagórda, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Katedra Eksploatacji Maszyn Ergonomii i Procesów Produkcyjnych, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, E-mail: Miroslaw.Zagorda@urk.edu.pl; dr hab. inż. Paweł Kielbasa prof. UR, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Katedra Eksploatacji Maszyn Ergonomii i Procesów Produkcyjnych, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, E-mail: Pawel.Kielbasa@urk.edu.pl; prof. h.c. prof. Ing. Pavol Findura, PhD. Department of Machines and Production Biosystems Nitra, Slovakia, E-mail: pavol.findura@uniag.sk; doc., Ing., Miroslav Žitňák PhD., Department of Building Equipment and Technology Safety, Faculty of Engineering, SUA Nitra, Tr. A. Hlinku 2, 949 76, Nitra, Slovakia, E-mail: Miroslav.Zitnak@uniag.sk;

LITERATURA

- [1] Boling A.A., Tuong T.P., van Keulen H., Bouman B.A.M., Suganda H. and Spiertz J.H.J. 2010. Yield gap of rainfed rice in farmers' fields in Central Java, Indonesia. *Agricultural Systems*. June 2010. Volume 103. Issue 5. s. 307-315.
- [2] Bah A., Balasundram S.K., Husni M.H.A. 2012. Sensor technologies for precision soil nutrient management and monitoring. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 7, 1, 43-49.
- [3] Adamchuk V.I. 2010. Precision Agriculture: Does it make sense? *Better Crops* 94, 3, 4-6.
- [4] Walczykova M, Kielbasa P., Zagórda M. 2016. Pozyskanie i wykorzystanie informacji w rolnictwie precyzyjnym. Monografia. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej. ISBN 978-83-64377-03-7.
- [5] Zalewski P. 2000. Problemy rolnictwa precyzyjnego. *Inżynieria Rolnicza*, 8 (19), s. 15- 23.
- [6] Berry J.K. 1999. Precision farming primer [online]. [dostęp 22-08-2016]. Dostępny w Internecie: <http://www.innovativegis.com/basis/pfprimer/Default.html>.
- [7] Munack A. 2004. Rolnictwo w trzecim tysiącleciu- bieżące trendy i nowe wyzwania w inżynierii rolniczej. *Postępy Nauk Rolniczych*. 5, s. 3-12.
- [8] Walczykova M. Zagórda M. 2007. Analiza właściwości gleby dla potrzeb rolnictwa precyzyjnego. *Zesz. Naukowe UP we Wrocławiu*, VI, 552, 35-40.
- [9] Walczyk M., Zagórda M. 2009. Korelacja wybranych właściwości gleby z plonami. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 543, 377-385.
- [10] Kielbasa P., Drózd T., Zagórda M. Kurpasaka S., Posyłek Z. Wykorzystanie tensometrii oporowej do przestrzennej identyfikacji zróżnicowania wybranych właściwości gruntu. *Przegląd Elektrotechniczny* (2019), nr 1, s. 53-56.
- [11] Drózd Tomasz, Gąsiorowski Aleksander, Posyłek Zdzisław: Wykorzystanie fal elektromagnetycznych do określania wilgotności biosurowców nieżywnościowych metodą falowodową: monografia, 2016, Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, ISBN 978-83-64377-17-4, 134 s.
- [12] Bah A., Balasundram S.K., Husni M.H.A. 2012. Sensor technologies for precision soil nutrient management and monitoring. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 7, 1, 43-49.
- [13] Szczęsny A., Korzeniewska E.: Dobór metody do pomiaru rezystancji uziemia. *Przegląd Elektrotechniczny* 2018, 94(12), pp. 178-181
- [14] Szczęsny 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
- [15] Samborski S. 2018. Rolnictwo precyzyjne. Wydawnictwo Naukowe PWN SA, ISBN:978-83-01-19898-5, 522 s.
- [16] <http://www.geomar.com/pl/html/urzadzenia/em38.html>