

## Analiza przestrzennego zróżnicowania przewodności elektrycznej gleby w zależności od warunków mikroklimatycznych

**Streszczenie.** Celem badań było porównanie wyników pomiarów przewodności elektrycznej wykonanej na 2 polach charakteryzujących się różnymi warunkami mikroklimatycznymi. Pole oznaczone symbolem P1 znajduje się na Nizinie Śląskiej w południowej części województwa opolskiego. Natomiast pole oznaczone symbolem P2 znajduje się u wylotu Doliny Będkowskiej w Rowie Krzeszowickim w województwie małopolskim. Odległość w linii prostej pomiędzy tymi polami wynosi 125 km. Porównanie pomiarów przewodności elektromagnetycznej na 2 polach wykazało podobną zmienność zarówno w przypadku analizy danych punktowych jak również w przypadku wykonania analiz przestrzennych. Stwierdzono istotny wpływ wilgotności gleby na rozkład zmienności zróżnicowania przestrzennego przewodności elektrycznej gleby.

**Abstract.** The aim of the research was to compare the results of electrical conductivity measurements carried out on two fields characterized by different microclimatic conditions. The field marked with P1 is located on the Silesian Lowland in the southern part of the Opole province. The field marked with the symbol P2 is located at the outlet of the Będkowska Valley in the Krzeszowicki Gulch in the Małopolska province. The distance in a straight line between these fields is 125 km. The comparison of electromagnetic conductivity measurements in two fields showed similar variability both in the case of point data analysis as well as in the case of spatial analysis. A significant effect of soil moisture on values on the distribution of variation in the spatial diversity of soil electrical conductivity was found. (**Analysis of spatial diversity of soil electrical conductivity depending on microclimatic conditions**).

**Słowa kluczowe:** system pomiarowy, automatyzacja, GPS, rolnictwo precyzyjne

**Keywords:** measuring system, automation, GPS, precision agriculture

### Wstęp

Zróżnicowanie klimatyczne ma istotny wpływ na warunki siedliskowe roślin i w znacznym stopniu determinuje stosunki powietrzno-wodne w glebie, ale również ilość materii organicznej. Powiązane to jest więc bezpośrednio z dostępnością składników pokarmowych i w konsekwencji z możliwością generowania wysokich plonów [1,2]. W przypadku pól uprawnych, szczególnie o zróżnicowanej rzeźbie terenu, zmiany mikroklimatu mogą występować w obrębie jednego pola i przyczyniać się do zróżnicowania plonu [2]. Wykonanie map przestrzennej zmienności gleby wynikającej z jej składu granulometrycznego czy wilgotności umożliwia w technologii rolnictwa precyzyjnego szczegółową analizę przestrzeni produkcyjnej i jest podstawą do przeprowadzania zmiennych zabiegów agrotechnicznych [1,3,4]. Zmiana warunków glebowych może być wykryta przy wykorzystaniu własności elektrycznych [5,6] lub pomiarów pośrednich przy użyciu różnego rodzaju czujników elektrycznych [6,7].

Najczęściej w tym celu wykorzystuje się konduktometr przewodności elektromagnetycznej EM38. Uzyskiwane wartości ECa i ER nie są bezpośrednim miernikiem którejsz z właściwości gleby, ale najczęściej są wypadkową kombinacji kilku właściwości gleby i przedstawiają ich kompleksową współzależność. Wiele badań było ukierunkowanych na określenie zależności pomiędzy różnymi właściwościami gleby, a chwilową przewodnością elektryczną. Uzyskane wyniki są bardzo zróżnicowane, co świadczy o tym, że właściwości gleby oddziałują na oporność/przewodność gleby w sposób złożony [8].

Pomiary własności elektrycznych gleby bazują na trzech zjawiskach: opór elektryczny, indukcja elektromagnetyczna i reflektometria TDR, ADR i FDR. W przypadku wykonywania pomiarów oporu elektrycznego gleby i reflektometrii wymagany jest stały kontakt elektrod z badanym materiałem, 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 [9]. Poza tym, na większość wyżej wymienionych właściwości wpływa pogoda i pomiary ECa są zmienne również w czasie. Czasowo-przestrzenne skanowanie ECa stanowi najlepiej dopasowaną ocenę trendu zmian z roku na rok [9], która może być pomocna w doborze metod zarządzania obszarowego w ramach rolnictwa precyzyjnego. Rodriguez i in. [10] podają, że jeśli gleby nie są zasolone, wówczas ECa reaguje głównie na zawartość  $\text{H}_2\text{O}$  i wilgotność. W badaniach Suddutha i in. [11] przewodność ECa była najwyższej skorelowana z zawartością części ilastych i pojemnością kompleksu sorpcyjnego. 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 [12,13,14]. Wyniki pomiaru są ściśle powiązane z podstawowymi cechami gleby (skład granulometryczny, zawartość wody i substancji organicznej) i mogą służyć do wyznaczania obszarów charakterystycznych w obrębie danego pola. Dodatkową trudnością jest zmienność wilgotności gleby, już w obrębie danego pola, zróżnicowanie pomiędzy polami, ale również pomiędzy warstwami profilu glebowego w danym miejscu pola.

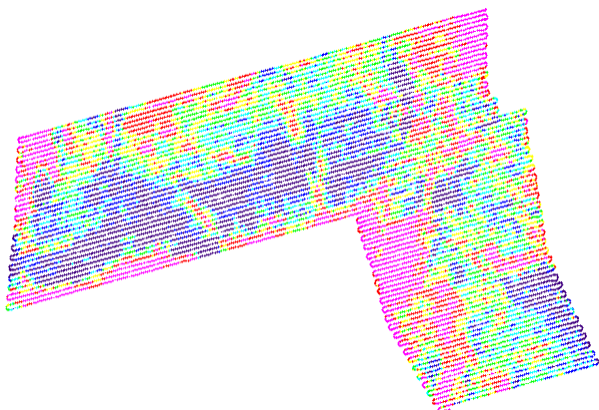
## Cel, zakres i metodyka badań

Celem badań było porównanie wyników pomiarów przewodności elektrycznej wykonanej na 2 polach charakteryzujących się różnymi warunkami mikroklimatycznymi (rys.1). Pole oznaczone symbolem P1 znajduje się na Nizinie Śląskiej w południowej części województwa opolskiego. Natomiast pole oznaczone symbolem P2 znajduje się u wylotu Doliny Będkowskiej w Rowie Krzeszowickim w województwie małopolskim. Odległość w linii prostej pomiędzy tymi polami wynosi 125 km.



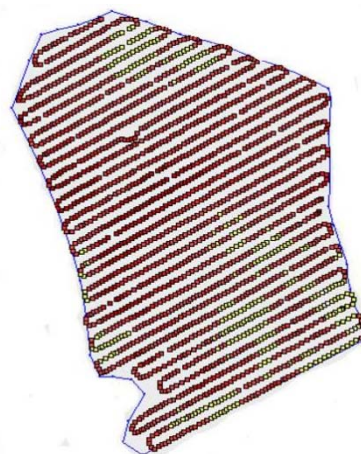
Rys.1. Poligony doświadczalne: a) pole P1, b) pole P2

Dane zostały zarejestrowane przy użyciu tej samej sondy EM38 na obydwu polach. Przejazdy w przypadku pola P1 były wykonywane w odstępach co 12 m, natomiast w przypadku pola P2 zwiększono odstęp do 20 m (rys. 2,3). Zastosowanie różnych odstępów pomiędzy przejazdami pomiarowymi wynikało z zastosowanych technologii uprawy i rozstawu ścieżek technologicznych, które w przypadku pola P1 wynosiły 36 m, natomiast dla pola P2 wynosiły 20 m.



Rys.2. Ślady pomiaru przewodności elektrycznej sondą EM38 na poligonie doświadczalnym P1

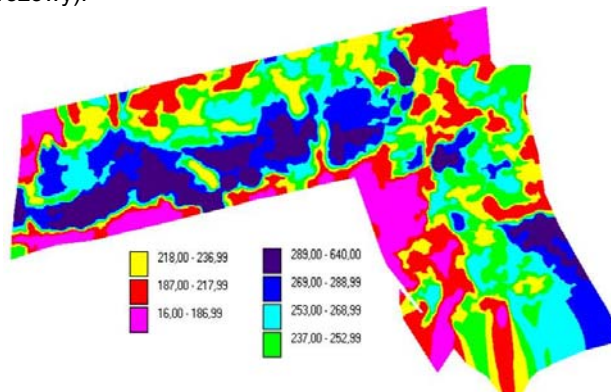
Do interpolacji mierzonych wielkości traktowanych jako zmienne deterministyczne wykorzystano najprostszą, szybką i niewymagającą modelowania metodę odwrotnych odległości IDW (Inverse Distance Weighted). Do interpolacji danych punktowych, wizualizacji map wektorowych i rastrowych, wykonania stosownych 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 [15]. Podczas badań zarejestrowano ponad 13000 punktów na polu P1 i ponad 4000 punktów na polu P2 (rys. 2,3). W trakcie pomiarów dostosowano się do zaleceń przedstawionych w [16,17].



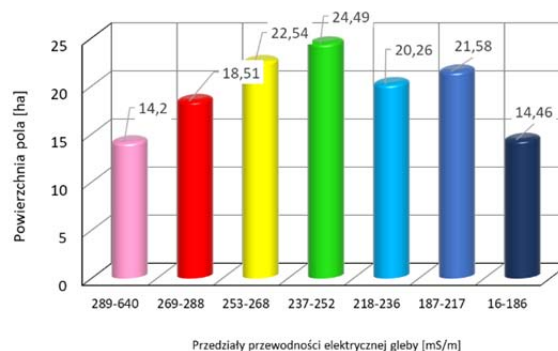
Rys.3. Ślady pomiaru przewodności elektrycznej sondą EM38 na poligonie doświadczalnym P2

## Wyniki badań

Zróżnicowane przestrzenne przewodności elektrycznej na polu P1 oscylowało w granicach od  $16 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$  do  $280,9 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ , co świadczy o istotnym z punktu widzenia produkcyjnego zróżnicowaniu właściwości gleby, które determinują jej przewodność elektryczną. Na rysunku 4 przedstawiono przestrzenną wizualizację zróżnicowania przewodności elektrycznej, gdzie można wyodrębnić zwarte obszary o jednakowej przewodności. Wyraźnie widać, że najwyższe wartości przewodności umiejscowione były głównie w środkowej części pola (kolor niebieski i granatowy), natomiast najniższe wartości przewodności elektrycznej zaobserwowano na jego obrzeżach (kolor różowy).



Rys.4. Mapa przestrzennej zmienności przewodności elektrycznej gleby poligonu doświadczalnego P1

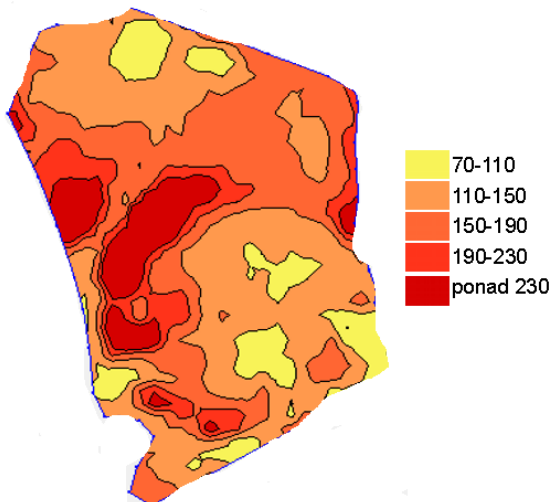


Rys.5. Struktura przewodności elektrycznej gleby poligonu doświadczalnego P1

Sposób umiejscowienia obszarów o najniższych wartościach przewodności elektrycznej gleby (od  $16 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$  do  $186 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) na obrzeżach pola wskazuje, że jest to

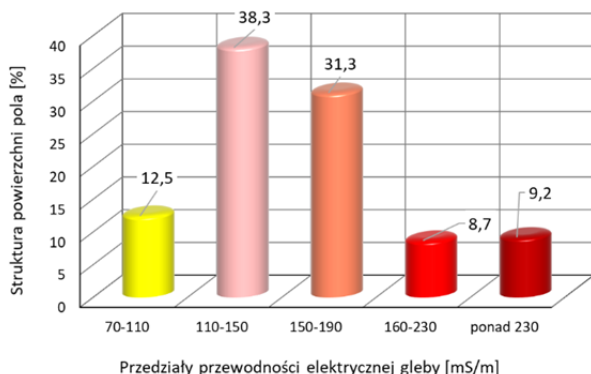
wynik nadmiernego jej ugniecenia, które prawdopodobnie było skutkiem czynności pomocniczych wykonywanych wielokrotnie w ciągu kilku lat. Należy zaznaczyć, że powierzchnia o najniższych wartościach przewodności elektrycznej zajmuje powierzchnię 14,2 ha, co stanowi ok 10% areалу (rys. 5). Obszary o wysokiej przewodności elektrycznej gleby przekraczającej 252  $\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$ , zajmowały sumarycznie powierzchnię wynoszącą 55,2 ha, co stanowiło ponad 40% powierzchni całkowitej pola.

Na rysunku 6 przedstawiono przestrzenne zróżnicowanie przewodności elektrycznej gleby pola P2, której zakres mieścił się w przedziale od 70  $\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$  do ponad 230  $\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$ . Najwyższe wartości przewodności elektrycznej gleby stwierdzono w środkowo zachodniej części pola a najniższe miały charakter incydentalny i usytuowane były w kilku miejscach pola zajmując sumarycznie 12,5% powierzchni pola (rys. 7).



Rys.6. Mapa przestrzennej zmienności przewodności elektrycznej gleby poligonu doświadczalnego P2

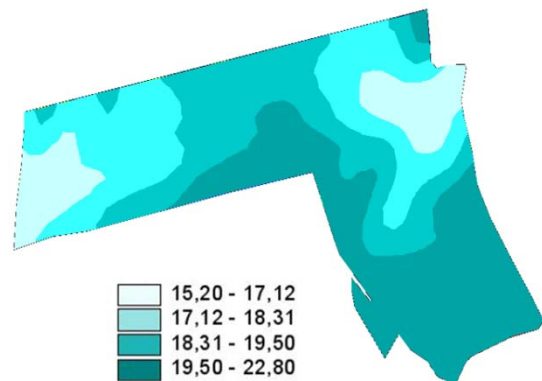
Najwyższe wartości przewodności elektrycznej gleby przekraczające 160  $\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$  były charakterystyczne dla 17,9% powierzchni pola. Pomimo stwierdzonego zróżnicowania należy zaznaczyć, że na ok 70% powierzchni pola przewodność elektryczna gleby mieściła się przedziale od 110  $\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$  do 190  $\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$ .



Rys.7. Struktura przewodności elektrycznej gleby poligonu doświadczalnego P2

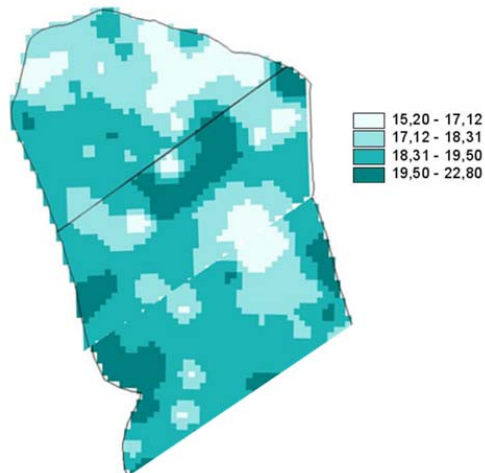
Przedstawiona struktura przewodności elektrycznej gleby (rys. 7) świadczy o niewielkim zróżnicowaniu mierzonej wielkości w odniesieniu do całkowitej powierzchni pola. Istotnym czynnikiem w przypadku klasyfikacji gleby pod względem przewodności elektrycznej jest jej wilgotność, która jest wielkością zmienną w czasie i

przestrzeni pola. Na rysunku 8 przedstawiono przestrzenny rozkład wilgotności poligonu doświadczalnego P1, której zakres zmienności mieścił się w przedziale od 15,2% (kolor jasnoniebieski) do 22,8% (kolor ciemnoniebieski).



Rys.8. Mapa przestrzennej wilgotności gleby poligonu doświadczalnego nr P1

Najniższe wartości wilgotności skoncentrowane w dwóch obszarach poligonu doświadczalnego południowo zachodniej i północno zachodniej jego części. Natomiast obszar o największej wilgotności stanowił jedna całość zajmująca południową część poligonu doświadczalnego. Nieco inną strukturą zmienności wilgotności charakteryzował się poligon doświadczalny P2 (rys.9), gdzie wyraźnie widać duże zróżnicowanie wilgotności w obrębie analizowanej powierzchni. Obszary o najniższej wilgotności występowały na całej powierzchni poligonu doświadczalnego P2, podobne stwierdzenie dotyczy obszarów o najwyższej wilgotności.



Rys.9. Mapa przestrzennej wilgotności gleby poligonu doświadczalnego nr P2

Należy zaznaczyć, że podobnie jak w przypadku poligonu doświadczalnego P1, również w przypadku poligonu P2 wilgotność z przedziału od 18% do 20% występowała na przeważającej części powierzchni porównywanych poligonów.

#### Podsumowanie

Analiza przewodności elektrycznej badanych pól, stanowiących poligony doświadczalne P1 i P2 pozwala stwierdzić, że pomimo zachowania podobnych warunków wilgotnościowych wartości bezwzględne przewodności elektrycznej gleby były różne. Odnotowano, że w obrębie poszczególnych poligonów doświadczalnych głównym czynnikiem determinującym charakterystykę zróżnicowania



przewodności elektrycznej gleby była jej wilgotność. Porównując przewodność elektryczną gleb obu poligonów doświadczanych należy zaznaczyć, że jej struktura w dużym stopniu zależała od wilgotności gleby i przypadku poligonu P1 była bardziej uporządkowana przestrzennie, natomiast w przypadku pola P2 miała bardziej chaotyczny charakter pomimo zastosowania mniejszej ilości przedziałów przewodności elektrycznej. Pomimo porównywalnej wilgotności gleby obu poligonów wartości bezwzględne przewodności elektrycznej były różne, co wymusza indywidualną charakterystykę wymagań technologicznych.

**Autorzy:** 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 inż. Tomasz Drózdź, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, e-mail: tomasz.drozd@office.urk.edu.pl; mgr inż. Anna Miernik, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, e-mail: miernikanna07@gmail.com; mgr inż. Ernest Popardowski, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, e-mail: ernest.popardowski@urk.edu.pl; dr inż. Karolina Trzyniec, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, e-mail: karolina.trzyniec@urk.edu.pl; dr inż. Piotr Nawara, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, e-mail: rtnawara@cyf-kr.edu.pl; prof. dr hab. inż. Tadeusz Juliszewski, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, e-mail: tadeusz.juliszewski@urk.edu.pl; mgr inż. Marek Oblicki, Kombinat Rolny Kietrz, e-mail: krk.oblicki@poczta.onet.pl; Assoc. Prof. Ph.D. Eng Oleksandra Kovalyshyn, Lviv National Agrarian University, Dubliany, Ukraine, e-mail: kovalyshynlesya@ukr.net

#### LITERATURA

- [1] Walczykova M., Zagórda M. Analiza właściwości gleby dla potrzeb rolnictwa precyzyjnego. *Zesz. Naukowe UP we Wrocławiu* (2007) VI, 552, 35-40.
- [2] Walczyk M., Zagórda M. Korelacja wybranych właściwości gleby z plonami. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* (2009), 543, 377-385.
- [3] Zagórda M., Juliszewski T., Kielbasa P., Nawara P., Drózdź T., Trzyniec K. Control of electrovalve assembly based on signal from trimble cfx-750 navigation panel with field-iq module. *Przegląd Elektrotechniczny* (2017), nr 12, s. 199-203.
- [4] Kielbasa P. Zintegrowana metoda oceny nakładów energetycznych na uprawę podstawową w aspekcie mozaikowości gleby. Rozprawy habilitacyjne Nr 33. *Inżynieria Rolnicza* (2011), 3(128).
- [5] Drózdź Tomasz, Gąsiorowski Aleksander, Posyłek Zdzisław: Wykorzystanie fal elektromagnetycznych do określania wilgotności biosurowców nieżywnościowych metodą falowodową: monografia, *Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej* (2016), ISBN 978-83-64377-17-4, 134 s.
- [6] Bah A., Balasundram S.K., Husni M.H.A. Sensor technologies for precision soil nutrient management and monitoring. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* (2012), 7, 1, 43-49.
- [7] Kielbasa P., Drózdź 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.
- [8] Allred B.J., Groom D., Ehsani M.R., Daniels J.J. 2008. Resistivity methods. W: Allred B.J., Ehsani M.R., Daniels J.J. (Ed.). *Handbook of Agricultural Geophysics*, CRC Press, (2008), 5, 85-108.
- [9] Samborski S. Rolnictwo precyzyjne. Wydawnictwo Naukowe PWN (2018), ISBN:978-83-01-19898-5, 522 s
- [10] Rodriguez D., Fitzgerald G.J., Belford R., Christensen L.K. Detection of nitrogen deficiency in wheat from spectral reflectance indices and basic crop eco-physiological concepts. *Australian Journal of Agricultural Research*, (2006), 57, 781-789.
- [11] Sudduth K.A., Kitchen N.R., Wiebold W.J., Batchelor W.D., Bollero G.A., Bullock D.G., Clay D.E., Palm H.L., Pierce F.J., Schuler R.T., Thelen K.D. Relating apparent electrical conductivity top soil properties across the North-Central USA. *Computers and Electronics in Agriculture* (2005) 46, 263-283.
- [12] Tomisław Gołębiowski, Tadeusz Juliszewski, Paweł Kielbasa, Sylwia Tomecka-Suchoń, Tadeusz Uhl. 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.
- [13] Ryszard Tadeusiewicz, Paweł Tylek, Florian Adamczyk, Paweł Kielbasa, Mirosław Jabłoński, Zbigniew Bubliski, Joanna Grabska-Chrzastowska, Zdzisław Kaliniewicz, Józef Walczyk, Jan Szczepaniak, Tadeusz Juliszewski, Michał Szaroleta. Assessment of selected parameters of the automatic scarification device as an example of a device for sustainable forest management. *Sustainability* (2017) nr. 9(12), 2370 s.1-17; doi:10.3390/su9122370
- [14] Ryszard Tadeusiewicz, Paweł Tylek, Florian Adamczyk, Paweł Kielbasa, Mirosław Jabłoński, Piotr Pawlik, Adam Piłat, Józef Walczyk, Jan Szczepaniak, Tadeusz Juliszewski, Michał Szaroleta. Automation of the Acorn Scarification Process as a Contribution to Sustainable Forest Management. *Sustainability* (2017) nr. 9(12), 2276 s.1-17; doi:10.3390/su9122276
- [15] 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.
- [16] Szczesny A., Korzeniewska E.: Dobór metody do pomiaru rezystancji uziemienia *Przegląd Elektrotechniczny* 2018, 94(12), pp. 178-181
- [17] 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