

Identyfikacja Zróznicowania Struktury Reologicznej Gruntu na Podstawie Map Przewodności Elektrycznej

Streszczenie: Gleba przewodzi prąd przez płynną frakcję (wodę), ciało stałe (minerały ilaste) i mieszane warstwy cząstek i roztworu glebowego. Wiele badań koncentrowało się na określeniu związku między różnymi właściwościami gleby a chwilowym przewodnictwem elektrycznym. Uzyskane wyniki są bardzo zróżnicowane, co wskazuje, że właściwości gleby w kompleksowy sposób wpływają na opór / przewodność gleby. Celem pracy było porównanie map zmienności przestrzennej przewodnictwa elektromagnetycznego i składu granulometrycznego na wybranym polu. Porównanie map przestrzennej zmienności przewodnictwa elektromagnetycznego z mapami składu granulometrycznego wykazało zgodność wyznaczonych obszarów. Aplikacja pomiarów przewodności elektrycznej gleby, przy braku informacji o składzie gleby, pozwala na określenie obszarów o zmiennych warunkach glebowych w nieinwazyjny i szybki sposób, co ma szczególne znaczenie w procesach produkcji rolnej. Uzyskane wartości EC i ER nie są bezpośrednią miarą jednej z właściwości gleby, ale najczęściej są wypadkową połączenie kilku właściwości gleby i ich wszechstronna współzależność.

Abstract: The soil conducts electricity through the liquid fraction (water), solid (clay minerals) and mixed layers of particles and soil solution. Many studies was focused on determining the relationship between different soil properties and instantaneous electrical conductivity. The results obtained are very diverse, which indicates that soil properties affect the resistance / conductivity of the soil in a complex way. The aim of the study was to compare the maps of the spatial diversity of electromagnetic conductivity and grain size distribution in the selected field. Comparison of maps of spatial variability of electromagnetic conductivity with particle size maps showed compliance of appointed areas. The application of measurements of soil electrical conductivity, in the absence of information on the soil grain composition, allows determination of areas with variable soil conditions in a non-invasive and fast manner, which has particular importance in agricultural production processes. The EC and ER values obtained are not a direct measure of one of the soil properties, but most often they are a resultant of a combination of several soil properties and present their comprehensive interdependence. (**Identification of diversification of soil rheological structure based on electrical conductivity maps**)

Słowa kluczowe: przewodność elektryczna gleby, mapy przestrzennej zmienności, GPS, rolnictwo precyzyjne

Keywords: soil electrical conductivity, maps of spatial variability, GPS, precision farming

Wstęp

Na fazę stałą gleby składają się cząstki mineralne, organiczne i organiczno mineralne, w różnym stopniu rozdrobnienia [1]. Stopień ten wpływa w istotny sposób na wiele właściwości gleby [1, 2]. Procentowy udział w glebie grup cząstek o określonych wielkościach nazywa się składem mechanicznym gleby [1]. Głównym czynnikiem wpływającym na wysokość uzyskiwanych plonów [2, 3, 4] jest rodzaj gleby i jej skład mechaniczny. Od składu mechanicznego (granulometrycznego) uzależniona jest zdolność gleby do magazynowania wody i składników pokarmowych niezbędnych do rozwoju roślin. Szczególnie ważną frakcją jaka występuje w glebie jest ta podlegająca szybkiemu wymywaniu z profilu glebowego i nosząca nazwę frakcji części sptawianych. Właśnie w tej frakcji następuje zatrzymanie składników pokarmowych i materii organicznej. Wzrost procentowego udziału tej frakcji w glebie znacząco poprawia jej właściwości sorpcyjne [5]. Dzięki temu możliwe jest zoptymalizowanie dawek nawozowych, które nie tylko dostarczą niezbędnych składników roślinom, ale również zwiększą zasobność gleby dla następnych roślin. Według niektórych autorów lepszym wskaźnikiem do zakwalifikowania danego pola do przestrzennie zmiennego nawożenia jest zmienność glebowa w aspekcie jej tekstury, określona na podstawie skanowania elektromagnetycznego [6, 7]. Jest to głównym wyzwaniem stawianym w przypadku technologii rolnictwa precyzyjnego [2, 3]. W przypadku tej technologii produkcji nieodzownym staje się wykorzystanie wyników z przeprowadzonych pomiarów konduktometrem przewodności elektrycznej EM38 do przygotowania map przestrzennej zmienności, na podstawie których wykonywane będą przestrzennie zmienne zabiegi nawożenia lub uprawy przy wykorzystaniu systemów nawigacyjnych z odbiornikiem GNSS [8-10]. Konduktometr EM38 kanadyjskiej firmy Geonics Limited pozwala na pomiary do głębokości 1.5 m w układzie pionowych dipoli

oraz do 0.75 m w układzie poziomych dipoli (pionowych anten) [11]. Niestety przy pomiarach przewodności istotny wpływ na wyniki ma wilgotność gleby i jej skład granulometryczny [12-14]. Ostatnio pojawiły się komercyjne rozwiązania pozwalające wyznaczyć właściwości gleby na podstawie pomiaru przewodności elektromagnetycznej, jednym z nich jest czujnik Topsoil Mapper austriackiej firmy GEOPROPECTORS. 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.

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.

Pomimo bardzo wielu badań, obecnie nie ma przygotowanych gotowych do zastosowania procedur umożliwiających przygotowanie np. map składu granulometrycznego na podstawie wyników pomiarów przewodności elektrycznej gleby [12]. Rozpoznanie istotnych z punktu widzenia cech produkcyjnych metodami nieinwazyjnymi jest istotne z punktu widzenia robotyzacji procesów technologicznych [15,16]

Istnieje zatem uzasadniona potrzeba prowadzenia badań związanych z dalszą parametryzacją nieinwazyjnych metod pomiarowych struktury podglebia, których wyniki przyczynia się do automatyzacji całego procesu produkcyjnego, ale także procesów rekultywacyjnych profilu glebowego.

Poza typowo produkcyjnymi korzyściami istnieją również korzyści ekologiczne związane z biologizacją gleby, którą w przypadku pełnego rozpoznania relacji przewodność

elektryczna a stan życia biologicznego w glebie będzie można realizować w racjonalny i precyzyjny.

Cel i zakres badań

Celem opracowania było porównanie map przestrzennego zróżnicowania przewodności elektrycznej gleby i jej składu granulometrycznego na wybranym polu stanowiącym poligon doświadczalny.

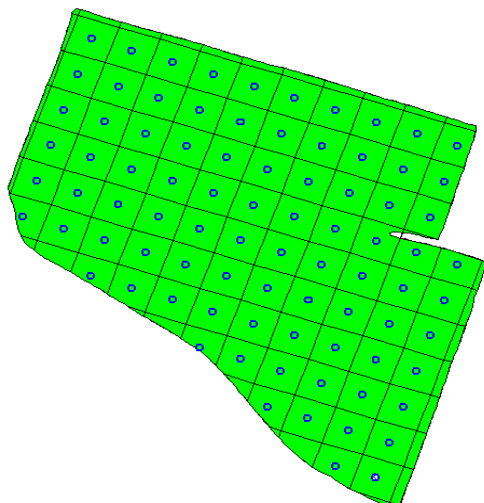
Metodyka

Badania przeprowadzono na polu o powierzchni 22,35 ha (rys. 1). Należy zaznaczyć, że jego południowa granica styka się z brzegiem rzeki Rudawa, co przekłada się niewątpliwie na skład granulometryczny podglebia tego fragmentu pola.



Rys. 1. Zdjęcie satelitarne badanego pola

Dla określenia parametrów reologicznych gleby na wykonaną mapę cyfrową pola została nałożona siatka punktów pomiarowych o boku 50x50 m, która wyznaczyła na powierzchni 82 punkty pomiarowe (rys. 2). Zapis przebiegu linii granicznej pola, nałożenie punktów pomiarowych i nawigacja do miejsc poboru próbek gleby były wykonane przy użyciu odbiornika GPS Trimble Nomad z oprogramowaniem Farm Works Mobile.

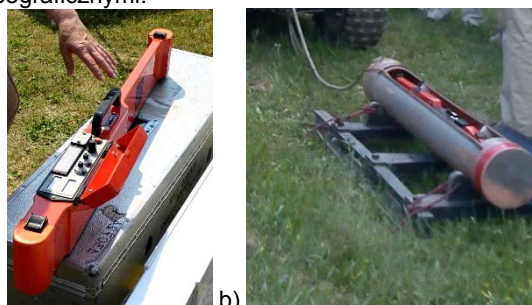


Rys. 2. Siatka punktów pomiarowych do określenia parametrów reologicznych gleby

Próbki gleby były pobierane z warstwy od 0-0,3 m zgodnie z normą PN-ISO 10381-2: 2007. Następnie były poddane analizie w akredytowanym laboratorium Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej (OSCHR) w

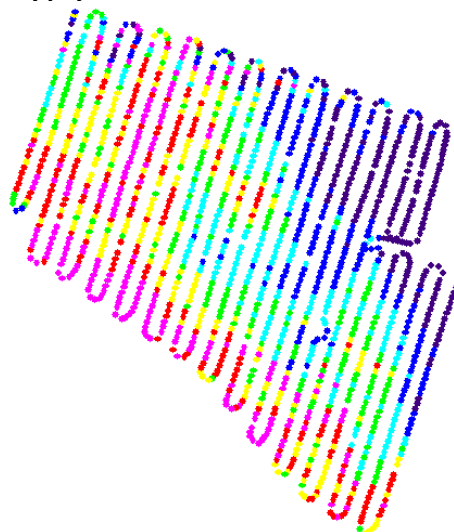
Krakowie. Badania próbek gleby w OSCHR były wykonane dwoma metodami: organoleptyczną oraz areometryczną. Metodykę oznaczania składu granulometrycznego gleb reguluje norma PN-04032 z 1998 roku. Zgodnie z normą w częściach ziemistych (<2 mm) metodą areometryczną oznaczana jest procentowa zawartość frakcji pyłu i łu, a procentowa zawartość poszczególnych podfrakcji piasku oznaczana jest metodą sitową. Wyniki przeprowadzonych analiz zostały przypisane do punktów pomiarowych (rys. 2) i na tej podstawie wykonano mapę składu granulometrycznego z uwzględnieniem zasobności gleby w frakcję części spławialnych.

Przewodność elektryczną gleby zmierzono sondą EM38 (rys. 3 a) realizując pomiar w przejazdach równoległych co 20 m (rys. 4). Konduktometr był ciągnięty za quadem na saniach z tworzywa sztucznego (rys. 3b), a dane były rejestrowane w komputerze łącznie ze współrzędnymi geograficznymi.



Rys. 3. Konduktometr EM38 (a) i sposób transportu podczas wykonywania pomiarów (b)

Na powierzchni badanego pola zarejestrowano łącznie 1608 punktów gdzie dokonano pomiaru. Średnia wartość przewodności elektrycznej gleby obliczona z danych punktowych (rys. 4) wynosiła $159,797 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$, przy współczynniku zmienności na poziomie 25,5%. Równa powierzchnia pola umożliwiła wykonanie pomiarów ze średnią prędkością $22,85 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ przy jej zmienności nie przekraczającej 11,1%.



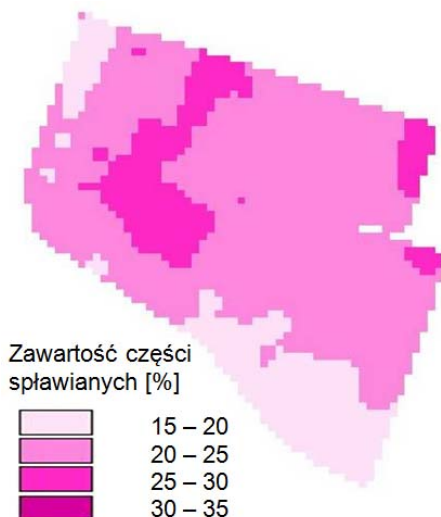
Rys. 5. Zarejestrowane punkty pomiaru przewodności elektromagnetycznej gleby na polu o powierzchni 22,35 ha

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, natomiast dane z pomiarów sondą EM38 przetwarzano w oprogramowaniu Farm Works Office. Przy wykonywaniu map przestrzennego zróżnicowania składu granulometrycznego i przewodności przyjęto wielkość pikseli 10 m. Przy wykonywaniu map przestrzennego zróżnicowania mierzonych wielkości przyjęto takie same parametry interpolacji, tj. wagę wynoszącą 2, natomiast jako liczbę sąsiadujących punktów przyjęto 12

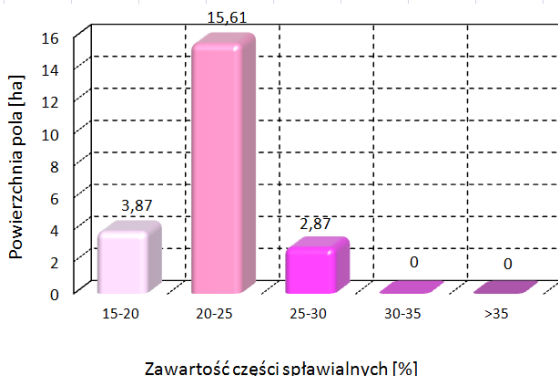
Wyniki badań

Na rysunku 5 przedstawiono przestrzenny rozkład zawartości części sypkanych w zidentyfikowanych metoda tradycyjną w obrębie pola doświadczalnego. Wyszczególniono w tym przypadku pięć przedziałów, co jest wystarczające dla tego typu analiz. Należy zaznaczyć, że wysoka zawartość części sypkanych daje potencjalnie większe możliwości produkcyjne a ich automatyczna identyfikacja pozwala na świadome modelowanie tej produktywności. Odnotowano niewielki stopień zróżnicowania przestrzeni pola w zawartości części sypkanych a zidentyfikowane obszary o skrajnych wartościach są skonsolidowane w autonomiczne zwarte powierzchnie.



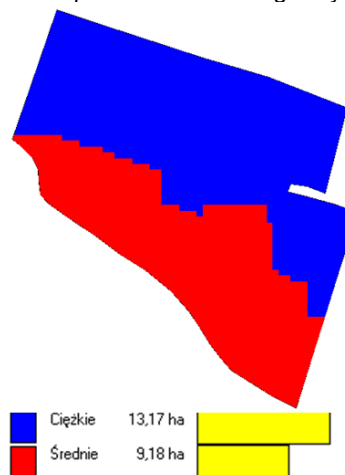
Rys. 5. Przestrzenne rozmieszczenie obszarów o różnej zawartości części sypkanych

Na rysunku 6 przedstawiono strukturę powierzchniową zawartości części sypkanych, gdzie ponad 15 ha powierzchni pola posiada zawartość części sypkanych w przedziale od 20% do 25%.



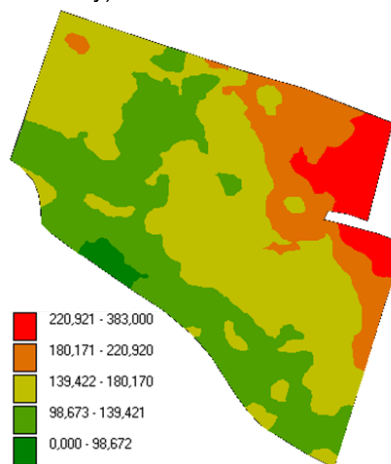
Rys. 6. Powierzchnie obszarów o różnej zawartości części sypkanych

Na podstawie przeprowadzonych analiz przypisano powierzchni pola doświadczalnego kategorie agronomiczną, co znacznie ułatwia podejmowanie decyzji produkcyjnych (rys.7). stwierdzono, że większość powierzchni pola (58,9%) posiada glebę ciężką, która choć potencjalnie żyzna, to bardzo trudną w uprawie. Natomiast na południowej części pola, stanowiącej 41,1% powierzchni, występowała gleba średnia (rys. 7). W konsekwencji powyższego struktura zmienności gleby w obrębie powierzchni pola ma charakter binarny, co znacznie ułatwia planowanie procesów technologicznych.



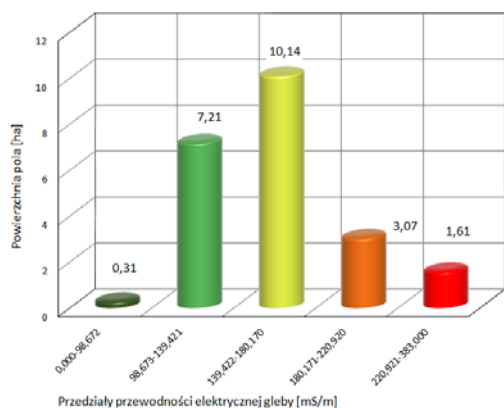
Rys. 7. Kategorie agronomiczne gleby na polu

Analizując zróżnicowanie przewodności elektrycznej gleby (rys.8) stwierdza wyraźne podobieństwo jej struktury przestrzennej do struktury zróżnicowania części sypkanych. Średnia wartość przewodności elektrycznej gleby, wyznaczona na podstawie mapy przewodności elektrycznej gleby po interpolacji danych punktowych, wynosiła $148,47 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$, przy współczynniku zmienności wynoszącym 23,4%. Obszary o najwyższej wartości przewodności elektrycznej gleby umiejscowione były w północno wschodniej części pola, natomiast najniższe wartości przewodności w środkowo zachodniej części pola (kolor ciemnozielony)



Rys. 8. Wyniki pomiaru przewodności elektrycznej gleby

Stwierdzono, że na ponad 77,6% obszaru pola przewodność elektryczna gleby oscylowała między $98,67 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ i $180,17 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ (rys. 9). Na 20,9% obszaru pola doświadczalnego przewodność elektryczna była powyżej $180,17 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$, a wartości najniższe przewodności elektrycznej (poniżej $98,673 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$) zajmowały zaledwie 1,3% powierzchni poligonu doświadczalnego (kolor ciemnozielony słupka, rys8).



Rys. 9. Powierzchnie obszarów na mapie przewodności elektrycznej gleby

Najwyższe wartości przewodności zajmowały 20,9% całej powierzchni pola a obrys tego obszaru pokrywał się częściowo z mapą przestrzennego rozmieszczenia części spławialnych z przedziału między 25 % i 35%. W przypadku obszarów o najniższych wartościach przewodności (rys. 8), zawartości części spławialnych (rys. 6) i kategorii agronomicznych (rys. 7) można zauważyć całkowitą zgodność wyznaczonych obszarów.

Podsumowanie

Porównanie map przestrzennej zmienności przewodności elektromagnetycznej z mapami składu granulometrycznego wykazało zgodność wyznaczonych obszarów. Zastosowanie pomiarów przewodności elektromagnetycznej, w przypadku braku informacji o składzie granulometrycznym gleby, umożliwia wyznaczenie obszarów o zmiennych warunkach glebowych na badanym polu, co ma swoje istotne konsekwencje technologiczne.

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: Mirosław.Zagorda@urk.edu.pl; prof. dr hab. inż. Sławomir Kurpaska, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Katedra Inżynierii Bioprocessów Energetyki i Automatykacji, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, E-mail: Sławomir.Kurpaska@urk.edu.pl; dr inż. Tomasz Drózd, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Katedra Eksploatacji Maszyn Ergonomii i Procesów Produkcyjnych, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, E-mail: Tomasz.Drozd@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; 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] Ryzak M., Bartmiński P., Bieganowski A. 2009. Metody wyznaczania rozkładu granulometrycznego gleb mineralnych. Monografia. Acta Agrophysica. 175, 2009(4). ISSN 1234-4125 ss. 84.
- [2] 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.
- [3] Zalewski P. 2000. Problemy rolnictwa precyzyjnego. Inżynieria Rolnicza, 8 (19), s. 15- 23.
- [4] Berry J.K. 1999. Precision farming primer [online]. [dostęp 22-08-2016]. Dostępny w Internecie: <http://www.innovativegis.com/basis/pfprimer/Default.html>
- [5] Andrzej Mocek (red.). 2015. Gleboznawstwo. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2015, ISBN: 978-83-01179-94-6. ss.465.
- [6] Earl R., Taylor J.C., Wood G.A., Bradley I., James I.T., Waite T., Welsh J.P., Godwin R.J., Knight S.M. 2003. Soil factors and their influence on within-field crop variability, part I: Field observation of soil variation. Biosystems Engineering 84 (4), s. 425-440.
- [7] Taylor J.C., Wood G. A., Earl R., Godwin R.J. 2003. Soil factors and their influence on within-field crop variability. Part II: Spatial analysis and determination of management zones. Biosystems Engineering 84 (4), s. 441-453.
- [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. [i in.] : Wykorzystanie tensometrii oporowej do przestrzennej identyfikacji zróżnicowania wybranych właściwości gruntu, w: Przegląd Elektrotechniczny, vol. 95, nr 1, 2019, ss. 53-56, DOI:10.15199/48.2019.01.14
- [11] <http://www.geomar.com/pl/html/urzedzenia/em38.html>
- [12] Samborski S. 2018. Rolnictwo precyzyjne. Wydawnictwo Naukowe PWN SA, ISBN:978-83-01-19898-5, 522 s.
- [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] 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. (2019), vol 73. Springer, Cham. DOI https://doi.org/10.1007/978-3-030-20131-9_287.
- [16] Tadeusiewicz R., Tylek P., Adamczyk F., Kielbasa P., Jabłoński M., Pawlik P., Piłat A., Walczyk J., Szczepaniak J., Juliszewski T., Szaroleta M.: 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