

Sterowanie zespołem elektrozaworów na podstawie sygnału z panelu nawigacyjnego Trimble CFX-750 z modułem Field-IQ

Streszczenie: W artykule przedstawiono zastosowanie sygnału z modułu Field-IQ współpracującego z panelem nawigacyjnym Trimble CFX-750 do sterowania zespołem elektrozaworów w opryskiwaczu polowym. Przeprowadzone badania umożliwiły dobranie odpowiedniego układu do zmiany parametrów sygnału sterującego elektrozaworami oraz wyznaczenie opóźnień przy ich włączaniu i wyłączaniu.

Abstract: The article describes the use of a signal from Module Field-IQ cooperating with navigation display Trimble CFX-750 to control the electrovalve in the field sprayer. The study allowed for selecting the appropriate system for changing the parameters of the electrovalve control signal and determining delays when switching on and off. (**Control of electrovalve assembly based on signal from Trimble CFX-750 navigation panel with Field-IQ module**)

Słowa kluczowe: elektrozawory, panel nawigacyjny, opryskiwacz, rolnictwo precyzyjne

Keywords: electrovalve, navigation display, sprayer, precision farming

Wstęp

Zastosowanie elektroniki, informatyki, automatyki oraz telekomunikacji najczęściej można spotkać w maszynach przystosowanych do technologii rolnictwa precyzyjnego, szczególnie w przypadku ochrony chemicznej i dokarmiania roślin [1,2,3,4]. Zabiegi ochrony roślin wymagają od operatora permanentnego skupienia uwagi i ciągłej kontroli pracy agregatu ciągnikowego. Bardzo pożądanym i dobrym rozwiązaniem z ergonomicznego oraz eksploatacyjnego punktu widzenia jest zastosowanie innowacyjnych rozwiązań sterowania pracą opryskiwacza [5]. Elektroniczna kontrola pracy i komputerowe sterowania parametrami i funkcjami opryskiwacza stają się coraz bardziej powszechne i technologicznie zaawansowane [3,5,6,7]. W przypadku zmiennego aplikowania środków ochrony roślin niezbędne jest szybkie wykonanie zmiany rodzaju końcówek rozpylających, które może być realizowane przy wykorzystaniu elektrozaworów lub zaworów pneumatycznych. Bardzo ważnym elementem w tym przypadku jest ograniczenie strat substancji czynnej związanych z wykonaniem w/w operacji w trakcie czynności ochrony chemicznej. Przedmiotowe straty wynikają z nakładania się sąsiednich powierzchni opryskanych cieczą roboczą na przejazdach równoległych, nawrotach, przeszkodach, krawędziach i klinach opryskiwanego pola [4,5]. Zastosowanie systemu do kontroli pracy sekcji belki polowej i zautomatyzowanego systemu dozowania cieczy roboczej przyczynia się zarówno do wzrostu wydajności i jakości wykonywanego procesu, jak też prowadzi do poprawy komfortu pracy operatora [3,8]. Precyzyjne zastosowanie środków ochrony roślin wymaga od układów sterujących pracą opryskiwacza minimalizacji wpływu błędów opóźnień. Błąd opóźnienia wynika z wielu czynników, a w przypadku układów elektronicznych sterowanych przez komputer jego wartość jest proporcjonalna do złożoności przetwarzania programowego [4,9,10]. Rozpowszechnienie satelitarnych systemów nawigacyjnych i ciągłe doskonalenie technik wyznaczenia pozycji umożliwia zastosowanie map aplikacyjnych jako źródła informacji do wykonania przestrzennie zmiennych zabiegów [3,9,11,12,13]. Aby zastosować takie rozwiązania często konieczne jest połączenie ze sobą dwóch komputerów, które nie zawsze kompatybilnych pod względem oprogramowania użytkowego. Bardzo często użytkownik staje przed dylematem związanym z koniecznością wymiany jednego z nich lub zastosowania dodatkowych

układów elektronicznych pozwalających na integrację systemu.

Dawkowanie cieczy roboczej

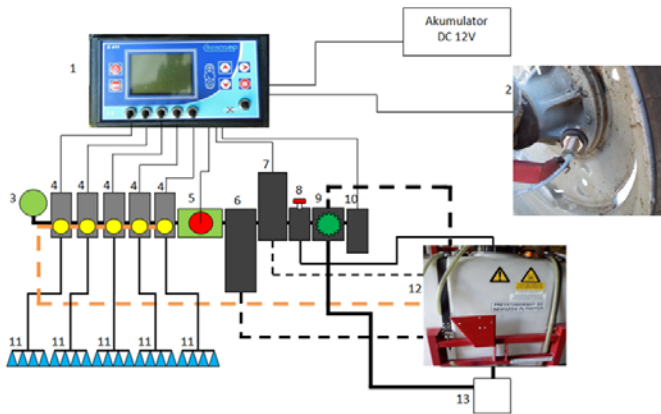
Obecnie w opryskiwaczach można spotkać kilka rozwiązań dotyczących sterowania sekcjami roboczymi [5]. Najprostsze i najtańsze rozwiązania umożliwiają wyłączenie całej szerokości roboczej za pomocą jednego elektrozaworu, w układach bardziej rozbudowanych stosuje się kilka sekcji roboczych sterowanych niezależnie przez elektrozawory (rys.1).

Zautomatyzowanie procesu dawkowania wymaga zastosowania komputera sterującego z głównym elektrozaworem odcinającym i elektrozaworem proporcjonalnym umożliwiającym utrzymanie stałej dawki cieczy na podstawie informacji z czujnika prędkości i czujnika przepływu cieczy roboczej (rys. 2) [6].



Rys. 1. Zestaw elektrozaworów sterujących poszczególnymi sekcjami belki polowej opryskiwacza

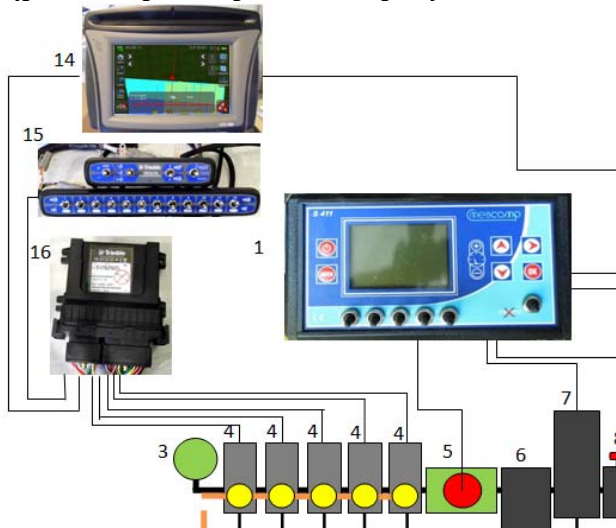
W przypadku najnowszych konstrukcji sterowane mogą być pojedyncze rozpylacze, co umożliwia wykonanie zabiegu chemicznego z dokładnością 0,5 m. W systemie precyzyjnego rolnictwa stosuje się rozwiązania pozwalające sterować pracą pojedynczego rozpylacza, gdzie sygnałem wymuszającym jest barwa roślin nad którymi dana dysza operuje [3]. Przy stosowaniu takich rozwiązań oszczędności mogą dochodzić do 10% w zależności od kształtu pola [14]. Należy zwrócić uwagę że największe opryskiwacze, realizują proces technologiczny z szerokością roboczą może dochodzącą do 42 m.



Rys. 2. Schemat połączeń układu automatycznego sterowania dozowaniem cieczy [6]: 1 - komputer sterujący Mescomp S 411, 2 - czujnik prędkości jazdy, 3 - manometr glicerynowy, 4 - kompensacyjny elektrozawór sekcji belki, 5 - przepływomierz turbinowy, 6 - filtr ciśnieniowy, 7 - elektrozawór proporcjonalny do automatycznej regulacji ciśnienia cieczy roboczej, 8 - zawór rozwadniacza, 9 - zawór regulacji ciśnienia cieczy, 10 - główny elektrozawór odcinający, 11 - sekcja belki polowej, 12 - zbiornik, 13 - pompa

Badania

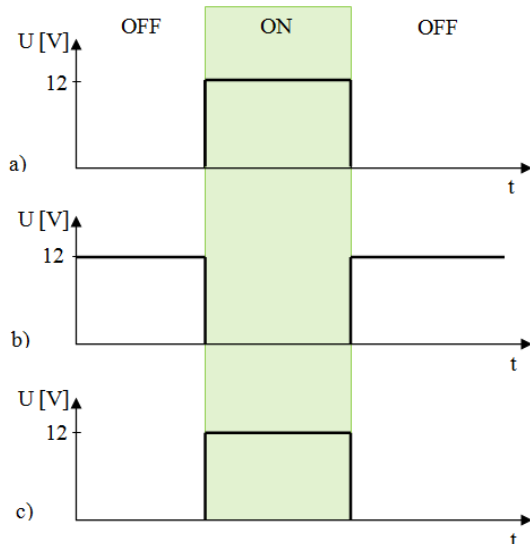
Modyfikację przeprowadzono dla opryskiwacza wyposażonego w zestaw elektrozaworów powalającego na kontrolę pracy belki polowej. Modyfikacja układu polegała na rozbudowaniu układu o sterowanie pracą poszczególnych sekcji opryskiwacza, która wymagała doposażenia zestawu bazowego o dodatkowe elementy umożliwiające realizację sterowania sekcjami na podstawie zapisanej informacji GPS o miejscach, gdzie został wykonany zabieg. Opracowanie przedstawia zastosowanie panelu nawigacyjnego Trimble CFX-750 wraz z systemem kontroli pracy sekcji Field-IQ (rys. 3). Pozycja geograficzna agregatu ciągnikowego była wyznaczona na podstawie sygnału GPS z uwzględnieniem poprawki RTK (RTN) przesyłanej przez sieć GPRS. Dokładność prowadzenia ciągnika i całego zabiegu chemicznego wynosiła 3 cm.



Rys. 3. Fragment schematu połączeń układu automatycznego sterowania dozowaniem cieczy [6]: 14 - Trimble CFX-750, 15 - Trimble Field-IQ - zestaw przelazników, 16 - moduł kontroli sekcji (Generic Section Control Only)

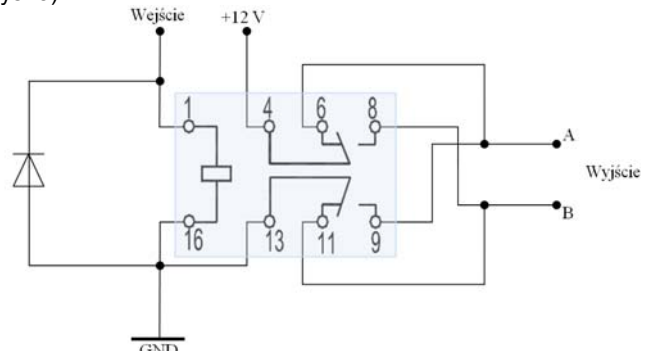
Problemem do rozwiązania była integracja w/w panelu nawigacyjnego z elektrozaworami. Pomiedzy modułem kontroli sekcji (Generic Section Control Only) a elektrozaworami zastosowano układ elektroniczny umożliwiając dopasowanie sygnału do systemu sterowania

elektrozaworami. Rozwiązanie powinno zapewnić bezpieczne połączenie dwóch systemów i uniknięcie zakłóceń powstających w elementach wykonawczych. Zastosowane elektrozawory w badanym opryskiwaczu posiadają układy rozłączające zasilanie po zamknięciu lub otwarciu przepływu i mają zabezpieczenie przed przepięciami wynikającymi z pracy silnika. Charakterystyki sygnału wyjściowego z modułu kontroli sekcji (Generic Section Control Only) i sygnału sterującego elektrozaworami w układzie zasilającym sekcje rozpylaczy na belce polowej opryskiwacza (rys. 4).



Rys. 4. Charakterystyka sygnału: a) wyjściowego z modułu kontroli sekcji (Trimble Field-IQ), b) na wejściu A elektrozaworu, c) na wejściu B elektrozaworu.

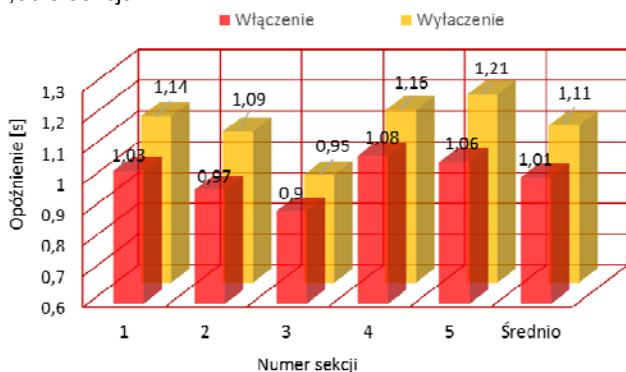
Analizując przedstawione na rysunku 4 charakterystyki można zauważyć, że bezpośrednie sterowanie elektrozaworami za pomocą sygnału z modułu kontroli sekcji jest niemożliwe. W związku z powyższym pomiędzy modułem kontroli sekcji a elektrozaworami zastosowano układ elektroniczny umożliwiający dopasowanie sygnału do sterowania elektrozaworami. Konwerter sygnału został zbudowany na podstawie pięciu przekaźników elektromagnetycznych JRC-19F-12VDC-0.2W oraz diod 1N4148 zabezpieczających wyjście modułu kontroli sekcji przed przepięciami pochodzącym od cewki przekaźnika (rys. 5).



Rys. 5. Schemat konwertera sygnału dla jednego elektrozaworu

Wykonanie układów zabezpieczających po stronie wyjściowej nie było konieczne ponieważ zastosowane elektrozawory mają takie układy. Po podłączeniu modułu kontroli sekcji poprzez konwerter z elektrozaworami pozostała kwestia wyznaczenia opóźnienia. Konieczne było określenie czasu pomiędzy pojawieniem się sygnału przesterowania stanu elektrozaworów a wyłączeniem lub

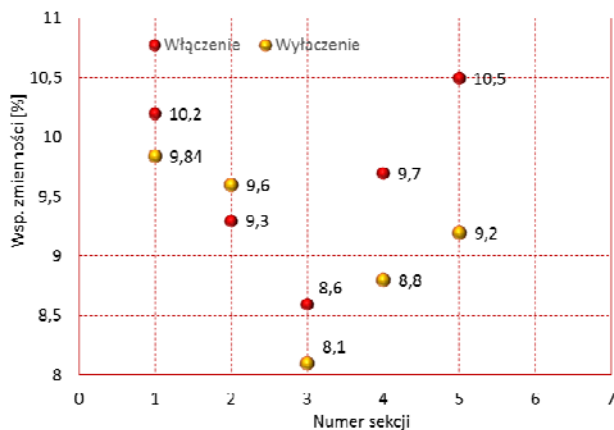
włączeniem rozpylaczy na belce polowej opryskiwacza. Pomiary zostały wykonane dla rozpylaczy standardowych o strumieniu płaskim firmy TeeJet TP8003VS przy ciśnieniu roboczym 2,5 bar. Na podstawie przeprowadzonych badań składających się z 10 testów zamykania i otwierania każdej sekcji zostały wyznaczone średnie czasy opóźnienia (rys.6) i współczynnik zmienności (rys.7). W przypadku wyłączenia wartość średnia opóźnienia dla wszystkich sekcji wynosiła 1,01 s. Najkrótszym czasem opóźnienia charakteryzowała się sekcja nr 3, natomiast najdłuższym, bo wynoszącym 1,06 s sekcja nr 4.



Rys. 6. Czas opóźnienia

Analizując czas opóźnienia w przypadku włączania najdłuższym czasem opóźnienia charakteryzowała się sekcja opryskiwacza nr 5 a najkrótszym sekcja nr 3. Wartość średnia czasu opóźnienia dla wszystkich sekcji opryskiwacza wynosiła 1,01 s.

Zakres zmienności czasów opóźnienia przy włączaniu i wyłączeniu poszczególnych sekcji opryskiwacza przedstawiono na rysunku 7. Zakres oscylacji zróżnicowania w obrębie sekcji roboczych opryskiwacz w przypadku czasu opóźnienia przy włączaniu wynosił 1,9 jednostek współczynnika zmienności, natomiast przy operacji wyłączenia wynosił 1,74 jednostki.



Rys. 7. Zróżnicowanie czasu opóźnienia

Wartość opóźnienia włączenia i wyłączenia sekcji zostały uśrednione ponieważ do panelu nawigacyjnego Trimble CFX-750 w ustawieniach dotyczących tzw. „zwłoki” (rys. 8) nie można wyselekcjonować oddzielnych parametrów dla każdej z sekcji realizacja operacji implementacji czasu opóźnienia włączenia i wyłączenia dotyczy wszystkich sekcji roboczych jednocześnie (całej belki roboczej).

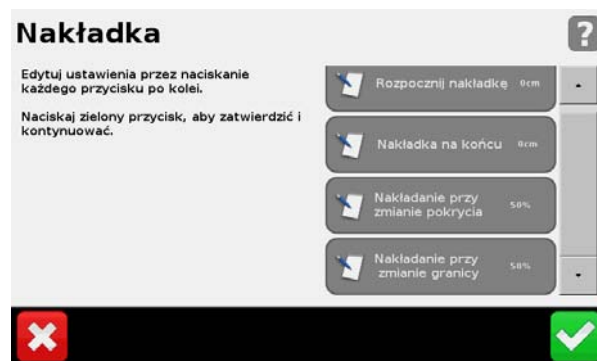
Po wprowadzeniu czasu opóźnienia koniecznością jest wprowadzenie parametrów dotyczących inicjacji działania systemu w przypadku rozpoczynania pracy i dezaktywacji działania systemu w przypadku kończenia pracy.

Ustawienia te są również wykorzystywane w przypadku manewrowania maszyną w obrębie poligonu pracy realizując proces pracy rozpylaczy opryskiwacza w czasie dojazdu do granic poligonu, przerwach technologicznych i dojazdu do miejsc w których wcześniej przerwano pracę w celu jej precyzyjnego rozpoczęcia.



Rys. 8. Interfejs użytkownika dotyczący ustawień opóźnienia

Wprowadzenie w ustawieniach programu wielkości tzw. „nakładek” na poziomie 50% (rys. 9) pozwalało ograniczyć podwójną aplikację środka chemicznego w miejscach niesymetrycznego najazdu na wcześniej wykonany przejazd.



Rys. 9. Interfejs ustawienie parametrów pracy sterownika

Działanie poszczególnych sekcji było wizualizowane w oknie graficznym programu użytkowego na dole ekranu panelu nawigacyjnego w postaci zielonej linii z zielonymi trójkątami symbolizującymi działające sekcje robocze (rys. 10, 11). Na rysunku 10 przedstawiono wizualizację początku pracy opryskiwacza, którego aktualna szerokość robocza sygnalizowana jest w czasie rzeczywistym stosownie do postępu procesu.



Rys. 10. Ekran panelu nawigacyjnego w czasie rozpoczynania pracy sekcji opryskiwacza

Dodatkowo wyświetlany jest poligon na którym operuje opryskiwacz z identyfikacją jego granic oraz postępu prac

(ślad koloru oliwkowego). Na rysunku 11 przedstawiono widok ekranu użytkownika w czasie kończenia pierwszego przejazdu roboczego.



Rys. 11. Ekran panelu nawigacyjnego w czasie kończenia pracy sekcji opryskiwacza przy pierwszym przejeździe

Błąd pracy lub wyłączenie z sekcji sygnalizowane jest zmianą koloru zabarwienia przedmiotowej sekcji na kolor czerwony. Na rysunku 12 przedstawiono interfejs użytkownika w czasie realizacji automatycznego wyłączenia sekcji opryskiwacza przy najechaniu na obszar gdzie dokonano już zabiegu chemicznego.



Rys. 12. Wynik pracy układu sterującego sekcjami

Jeżeli linia na dole ekranu wyświetlana jest w kolorze żółtym (rys. 12) to nastąpiło automatyczne wyłączenie przez moduł kontroli sekcji z powodu zbyt niskiej prędkości lub najechania na opryskany obszar.

Podsumowanie

Przedstawione rozwiązanie sterowania zespołem elektrozaworów na podstawie sygnału przesyłanego z systemu nawigacji równoległej wyposażonej w moduł kontroli sekcji Field-IQ umożliwia dopasowanie charakterystyki sygnału do wymogów związanych z przesterowaniem elektrozaworów i zabezpieczeniem układu przed przepięciami. Dla uruchomionego układu zostały określone opóźnienia, które mają istotny wpływ na poprawne wykonanie zabiegu oprysku szczególnie w przypadku stosowania technologii rolnictwa precyzyjnego. Poprawnie ustawiona nawigacja umożliwia oprócz prowadzenia agregatu ciągnikowego po liniach równoległych z dokładnością 3 cm, na precyzyjne pokrycie powierzchni pola cieczą roboczą z nakładkami mniejszymi niż 6 cm. Zastosowanie sterowania poszczególnymi sekcjami roboczymi pozwala na oszczędność cieczy roboczej tym większą im mniejsza jest szerokość jednej sekcji. Największe oszczędności i precyzję wykonania zabiegu na klinach i uwrociach można uzyskać w

przypadku stosowania opryskiwaczy, gdzie sterowanie realizowane jest dla każdego rozpylacza na belce polowej.

Autorzy: dr inż. Mirosław ZAGÓRDA, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, E-mail: Miroslaw.Zagorda@urk.edu.pl, prof. dr hab. inż. Tadeusz Juliszewski, E-mail: Tadeusz.Juliszewski@urk.edu.pl, dr hab. inż. Paweł KIEŁBASA, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, E-mail: Pawel.Kielbasa@urk.edu.pl, dr inż. Piotr NAWARA, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, E-mail: Piotr.Nawara@urk.edu.pl, dr inż. Tomasz DRÓŹDŹ, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, E-mail: Tomasz.Drozd@ur.krakow.pl, dr inż. Karolina TRZYNIĘC, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, E-mail: Karolina.Trzyniec@urk.edu.pl.

LITERATURA

- [1] Doruchowski G. 2013. Faktyczne i potencjalne innowacje w technice ochrony upraw sadowniczych. Współczesna inżynieria rolnicza - osiągnięcia i nowe wyzwania. Monografia. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, 2013, t. I, 97-125. ISBN 978-83-935020-4-2.
- [2] Gozdowski D., Samborski S., Sioma S. 2007. Rolnictwo precyzyjne. SGGW. Warszawa. ISBN 978-83-7244-858-3
- [3] 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.
- [4] Baum R., Wojszczyk K., Wawrzynowicz J. 2012. Miejsce i rola rolnictwa precyzyjnego w koncepcji zrównoważonego rozwoju gospodarstw rolnych. *Ekonomia i Środowisko*. Nr 1 (41). s. 71 – 83.
- [5] Szewczyk A. 2013. Technika opryskiwania płaskich upraw polowych. Współczesna inżynieria rolnicza - osiągnięcia i nowe wyzwania. Monografia. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, 2013, t. I, 345-383. ISBN 978-83-935020-2-8
- [6] Zagórda M., Walczykova M. 2015. Techniczne i ekonomiczne aspekty dostosowania opryskiwacza polowego do celów rolnictwa precyzyjnego. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, nr 6, 2015, ss. 18-22.
- [7] Kielbasa P. 2011. Zintegrowana metoda oceny nakładów energetycznych na uprawę podstawową w aspekcie mozaikowości gleby. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 3(128).
- [8] Zagórda M., Walczykova M. 2006. *Aspekty metodyczne sporządzania map aplikacyjnych zlokalizowanego nawożenia mineralnego*, *Inżynieria Rolnicza* Nr 2 (90). s. 317-325.
- [9] Marcin TOMASIK, Stanisław LIS, Krzysztof NĘCKA, Maciej OZIEMBŁOWSKI, Paweł KIEŁBASA, Tomasz DRÓŹDŹ, Piotr NAWARA, Marek OSTAFIN. 2016. Sterowanie piecem indukcyjnym do laboratoryjnego spalania biomasy. *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 12, S. 173-177.
- [10] Wymysł M. 2016. Badanie związków między błędami opóźnień a innymi błędami w systemie pomiarowo-sterującym w oparciu o definicję współczynnika korelacji. *Przegląd Elektrotechniczny*. 92. Nr 12/2016: 217–220.
- [11] Zagórda M., Walczykova M. 2006. *Application of iPAQ GuideMate/Invicta 100 System for tractor parallel guidance under field operations*. Proceedings of Int. Conf., „Agricultural machinery usage and its current problems”, Český Krumlov 1-2.06.2006, s. 25 – 30.
- [12] Stanisław LIS, Marcin TOMASIK, Krzysztof NĘCKA, Maciej OZIEMBŁOWSKI, Paweł KIEŁBASA, Piotr NAWARA, Marek OSTAFIN, Tomasz DRÓŹDŹ 2016. Analiza wpływu sygnału zakłócającego na jakość klasycznego i neuronowo-rozmytego sterowania piecem indukcyjnym. *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 12, S. 89-93.
- [13] Sałat R. 2013. Układy mikroprocesorowe i sensory w maszynach rolniczych. Współczesna inżynieria rolnicza - osiągnięcia i nowe wyzwania. Monografia. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, 2013, t. I, 263-285. ISBN 978-83-935020-3-5.
- [14] Plocki K. 2017. Postawili na dokładność oprysku, *Rolniczy Przegląd Techniczny* Nr 6 (220), s. 48 – 50. ISSN 1507-8701.