

TECHNICZNE I EKONOMICZNE ASPEKTY DOSTOSOWANIA OPRYSKIWACZA POLOWEGO DO CELÓW ROLNICTWA PRECYZYJNEGO

Streszczenie

Przedstawiono zakres, sposób i koszty przykładowego dostosowania opryskiwacza Pilmet 310 do kontroli wielkości dawki cieczy opryskowej, do automatycznego włączania i wyłączania poszczególnych sekcji opryskujących na nawrotach, przeszkodach i klinach opryskiwanego oraz hipotetycznie również do wykonania przestrzennie zmiennej aplikacji ciekłych chemikaliów na podstawie mapy aplikacyjnej. Doposażenie opryskiwacza w dodatkowe elementy innowacyjne poszerzają jego funkcjonalność oraz zmniejszają ilość zużytej cieczy opryskowej.

Słowa kluczowe: rolnictwo precyzyjne, opryskiwacz, modernizacja, kontrola pracy sekcji, panel nawigacyjny

Wstęp

Znaczący postęp w obszarze stosowania elektroniki, informatyki, telekomunikacji i automatyki jest w produkcji rolniczej najbardziej widoczny w rolnictwie precyzyjnym, m.in. w odniesieniu do ochrony upraw polowych [2]. Wiadomo, że zabiegi ochrony roślin wymagają znacznego skupienia uwagi i ciągłej kontroli pracy ciągnika i opryskiwacza. Przez zastosowanie innowacyjnych rozwiązań sterowania pracą opryskiwacza możliwe jest częściowe wyłączenie operatora z tych funkcji. Zastosowanie elektronicznej kontroli i komputerowego sterowania parametrami, jak też funkcjami roboczymi opryskiwacza staje się coraz bardziej powszechne [1, 6]. Ważną kwestią jest zmniejszenie strat cieczy roboczej, co przekłada się zarówno na pozytywny efekt środowiskowy, jak też na konkretne korzyści finansowe [7]. Jest to możliwe m.in. przez zmniejszenie nakładania się sąsiednich przejazdów, automatyczne włączanie i wyłączanie poszczególnych sekcji belki polowej na nawrotach, przeszkodach, krawędziach i klinach opryskiwanego pola [3, 4]. Zastosowanie kontrolera pracy sekcji belki polowej do zautomatyzowania dozowania cieczy przyczynia się zarówno do wzrostu wydajności, jak też poprawy komfortu pracy operatora [5].

Dostosowanie opryskiwacza polowego do celów rolnictwa precyzyjnego

W ramach dotacji na specjalność Mechatronika na kierunku studiów Technika Rolnicza i Leśna, doposażono posiadany opryskiwacz zawieszany Pilmet 310 (rys. 1, szerokość robocza 10 m, dwie sekcje opryskujące) w elementy umożliwiające:

- automatyczną kontrolę wielkości dawki dozowanej cieczy (Wariant I),
- automatyczne włączanie i wyłączanie poszczególnych sekcji na nawrotach, przeszkodach, krawędziach i klinach (Wariant II).

Przyjęto hipotetycznie również opcję wykonania przestrzennie zmiennego oprysku na podstawie mapy aplikacyjnej użycianej, np. z drona (Wariant III).

W artykule przedstawiono zakres, sposób i koszty wykonanych prac dla każdego rozpatrywanego wariantu.

Wariant I

Modernizacja opryskiwacza wiązała się z koniecznością wymiany niektórych podzespołów na nowe oraz uzupełnienia

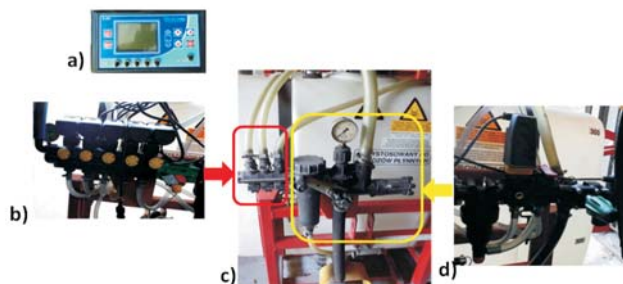


Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 1. Widok opryskiwacza Pilmet 310 od strony zaworu sterującego

Fig. 1. Sprayer Pilmet 310 from the control valve side

w elementy niezbędne do realizacji automatycznej kontroli wielkości dawki przez komputer sterujący. Aby sterowanie pracą poszczególnych sekcji w Wariacie II było bardziej skuteczne (jak najmniejszy podwójny oprysk) [4], zmieniono również instalację na belce polowej opryskiwacza, dokonując podziału na 5 sekcji, zamiast istniejących dwóch.



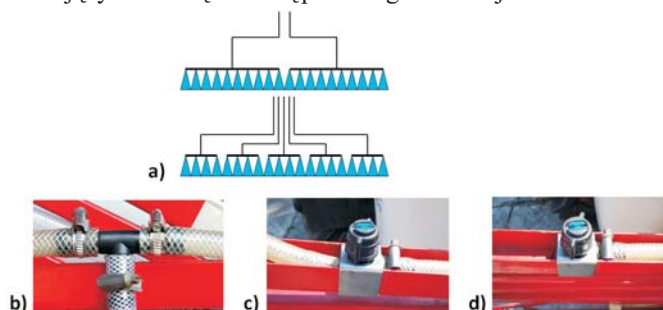
Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 2. Elementy opryskiwacza podlegające wymianie i uzupełnieniu: a) komputer sterujący Mescomp S 411, b) elektrozawory kompensacyjne sekcji belki polowej, c) zawór 3-sekcyjny, d) główny elektrozawór odcinający i elektrozawór proporcjonalny do automatycznej regulacji ciśnienia cieczy roboczej

Fig. 2. Components of the sprayer replaced and supplemented: a) Mescomp S 411 controlling computer, b) compensation electrovalves of the spray boom sections, c) three-section control valve, d) main cut-off electrovalve and proportional electrovalve for automatic control of the sprayer liquid pressure

W miejsce zdemontowanego zaworu 3-sekcyjnego, filtra samooczyszczającego i manometru (rys. 2c) założono nowe elementy (rys. 2b, d).

Wyposażenie opryskiwacza w 5 kompensujących elektrozaworów sterujących dopływem cieczy do sekcji opryskujących (rys. 2b) wymagało zmodyfikowania połączeń pomiędzy oprawami rozpylaczy i utworzenia 5 sekcji po 4 rozpylacze (rys. 3a). W związku z tym na belce połowej wymieniono 6 opraw rozpylaczy z przelotowych (rys. 3c) na krańcowe (rys. 3d) i zamontowano 3 trójniki (rys. 3b) z przewodami zasilającymi cieczą roboczą poszczególne sekcje.

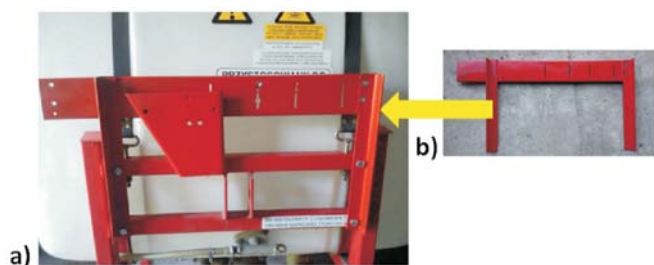


Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 3. Modernizacja belki opryskowej polegająca na zmianie liczby sekcji opryskujących z dwóch na pięć: a) schemat zasilania sekcji cieczą, b) widok trójnika, c) widok oprawy przelotowej, d) widok oprawy krańcowej

Fig. 3. Modernization of the boom involves changing the number of sections from two to five: a) diagram of the sections supplied by liquid, b) T-pipe, c) the through holder of the nozzle, d) the end holder of the nozzle

Również rama opryskiwacza została zmodyfikowana w miejscu mocowania nowych elementów sterowania dystrybucją cieczy. Montaż zmodyfikowanej listwy, do której zamocowano zestaw elektrozaworów i filtr przedstawia rys. 4.



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 4. Widok opryskiwacza przygotowanego do założenia nowych elementów (a) wraz z dodatkowym uchwytem mocowania zespołu elektrozaworów sekcyjnych (b)

Fig. 4. The sprayer prepared for the installation of new components (a) together with the extra grip made holding electrovalves

Pomiar prędkości w prezentowanym rozwiązaniu odbywa się za pomocą czujnika zliczającego impulsy generowane przez metalowe elementy (np. śruby mocujące obręcz koła). W celu poprawienia dokładności pomiaru prędkości jazdy, na tylnym kole ciągnika zamocowano obręcz z 24 śrubami, a uchwyt czujnika przymocowano do obudowy półosi. Czujnik prędkości jazdy wymaga kalibracji na podłożu, na którym opryskiwacz będzie pracować. Na podstawie informacji o prędkości jazdy komputer steruje otwarciem elektrozaworu proporcjonalnego, co zmienia ciśnienie cieczy roboczej i utrzymuje wielkość dawki oprysku na stałym poziomie. Wykaz elementów, użytych do przystosowania opryskiwacza do automatycznego utrzymania nastawionej wielkości dawki

cieczy opryskowej, podano w tab. 1. Zastosowany komputer sterujący Mescomp S411 produkcji polskiej spełnia wymagania zarówno pod względem funkcjonalności, jak też ceny.

Tab. 1. Elementy wyposażenia do Wariantu I

Table 1. Components used to prepare the sprayer for work in Option I

Zakupione elementy	Cena brutto (PLN)
Elektrozawory kompensacyjne na 5 sekcji	2289,79
Elektrozawór główny i proporcjonalny	1105,88
Komputer sterujący Mescomp S 411	4059,00
Czujnik prędkości jazdy	246,00
Przepływomierz turbinowy	1403,24
Manometr	74,96
Przewód 25 mm - 2 mb	21,00
Przewód 19 mm - 1 mb	5,50
Przewód 13 mm - 15 mb	42,00
Trójnik 3 szt.	9,00
Oprawy krańcowe 6 szt.	30,00
Opaska zaciskowa metalowa 10 szt.	7,00
Końcówka 25 mm	11,50
Koszty elementów ogółem (bez kosztów pracy)	9304,87
Nakłady pracy we własnym zakresie	15 rbg

Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 5 przedstawia widok opryskiwacza po zamontowaniu nowych elementów.



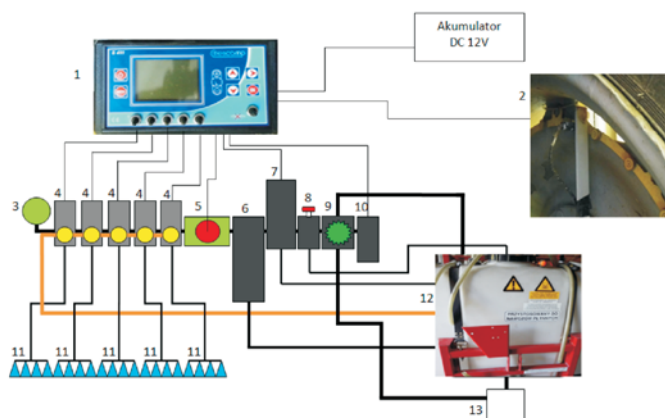
Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 5. Opryskiwacz z nowymi elementami: manometr (1), elektrozawory kompensacyjne (2), przepływomierz turbinowy (3), filtr ciśnieniowy (4), elektrozawór proporcjonalny do automatycznej regulacji ciśnienia cieczy roboczej (5), ręczny zawór rozwadniacza (6), ręczny zawór regulacji ciśnienia cieczy roboczej (7), główny elektrozawór odcinający (8)

Fig. 5. The sprayer with new components: pressure gauge (1), electrovalves (2), flow meter (3), filter (4), proportional electrovalve for automatic control of the sprayer liquid pressure (5), manual valve of the diluter (6), manual control valve (7), main cut-off electrovalve (8)

Schemat połączeń wszystkich zastosowanych nowych elementów zmodernizowanego opryskiwacza Pilmet 310 przedstawia rys. 6. Komputer (DC 12V) był zasilany z akumulatora ciągnika. Przed rozpoczęciem oprysku w komputerze sterującym (rys. 6, poz. 1) określa się dawkę cieczy opryskowej, minimalną i maksymalną wartość prędkości roboczej oraz włącza się elektrozawory kompensacyjne za pomocą

przełączników na komputerze sterującym (rys. 6, poz. 4) i główny elektrozawór odcinający (rys. 6, poz. 10). Opryskiwanie rozpocznie się w chwili uzyskania zadanej minimalnej prędkości roboczej.

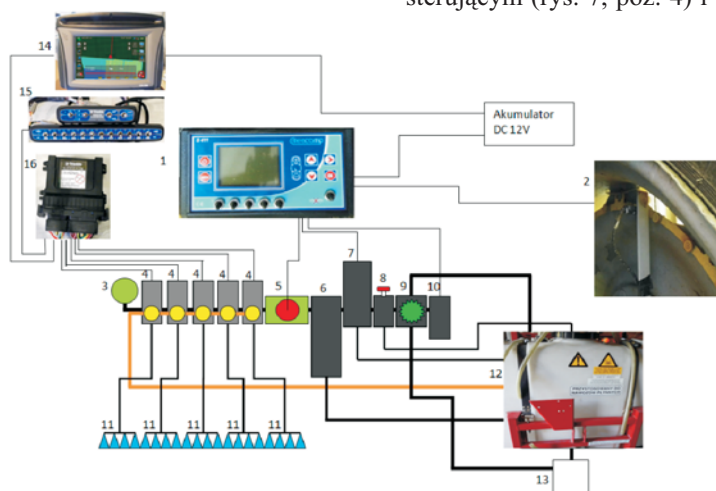


Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 6. Schemat połączeń układu automatycznego sterowania dozowaniem cieczy dla Wariantu I: 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
Fig. 6. Diagram of the complete system for sprayer control in Option I

Wariant II

Wariant II to rozbudowany o sterowanie pracą poszczególnych sekcji Wariant I. Wymagało to doposażenia poprzedniego zestawu tak, aby możliwe było automatyczne zamykanie wypływu cieczy z sekcji belki na uwrociach, klinach, przeszkodach lub obszarach wyłączonych z aplikacji. W tym celu opryskiwacz wyposażono w panel nawigacyjny Trimble CFX-750 wraz z systemem kontroli pracy sekcji Field-IQ (tab. 2). Połączenie poszczególnych elementów układu przedstawia rys. 7.



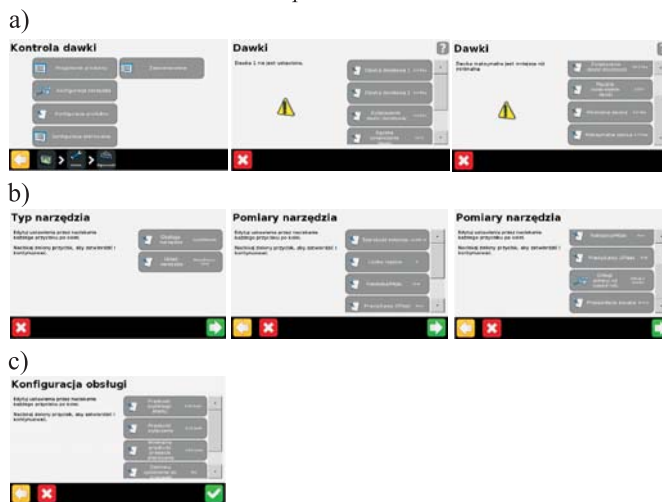
Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 7. Schemat połączeń układu sterowania opryskiwaczem dla Wariantu II: 1 - komputer sterujący Mescomp S 411; 2 - czujnik prędkości, 3 - manometr, 4 - kompensacyjny elektrozawór sekcji belki, 5 - przepływomierz turbinowy, 6 - filtr; 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, 14 - Trimble CFX-750, 15 - Trimble Field-IQ - zestaw przełączników, 16 - moduł kontroli sekcji (Generic Section Control Only)
Fig. 7. Diagram of the complete system for sprayer control in Option II

Tab. 2. Elementy wyposażenia do Wariantu II
Table 2. Components used to prepare the sprayer for work in Option II

Zakupione elementy	Cena brutto (PLN)
Trimble CFX-750	14753,85
Trimble Field-IQ (zespół przełączników + okablowanie)	2992,10
Moduł kontroli sekcji Field IQ (Generic Section Control Only)	3444,00
Koszty elementów ogółem (bez kosztów pracy)	21189,95
Nakłady pracy	3 rbg

Źródło: opracowanie własne / Source: own work



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 8. Widok ekranu panelu Trimble CFX-750 dla ustawień dawki cieczy opryskowej (a), narzędzia (b) i obsługi (c)
Fig. 8. View of the Trimble CFX-750 display panel for setting the rate of liquid (a), equipment (b) and service (c)

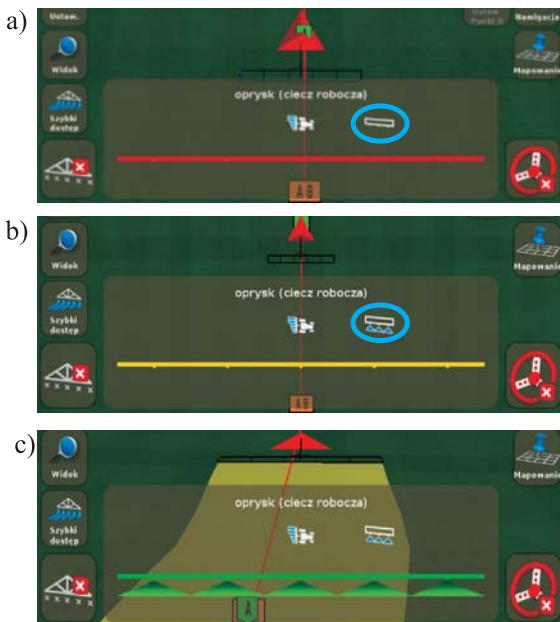
Podobnie jak w Wariacie I, przed rozpoczęciem opryskiwania w komputerze sterującym (rys. 7, poz. 1) określa się dawkę cieczy opryskowej, minimalną i maksymalną wartość prędkości roboczej oraz włącza się elektrozawory kompensacyjne za pomocą przełączników na komputerze sterującym (rys. 7, poz. 4) i główny elektrozawór odcinający

(rys. 7, poz. 10). Sterowanie poszczególnymi sekcjami będzie się odbywało się przy użyciu przełączników Field-IQ oraz na podstawie informacji z panelu nawigacyjnego CFX-750.

Stan wyłączonej sekcji jest wyświetlany w postaci czerwonej linii w dolnej części ekranu oraz ikony belki sekcji bez czynnych rozpylaczy (rys. 9 a).

Stan włączenia sekcji, sygnalizowany linią koloru żółtego oraz ikony belki z czynnymi rozpylaczami (rys. 9b), uzyskuje się po włączeniu przełączników Field-IQ (rys. 7, poz. 15).

Po uzyskaniu prędkości minimalnej, w podanym przypadku $2,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, określonej w komputerze sterującym (rys.7, poz. 1) oraz w panelu nawigacyjnym (rys. 7, poz. 14) w opcji *Konfiguracja obsługi* (rys. 8 c), zasilanie sekcji belki cieczą zostają uruchomione (rys. 9 c). Jest to sygnalizowane na dole ekranu w postaci zielonej linii, z zielonymi trójkątami symbolizującymi aktualnie działające sekcje belki połowej. Jednocześnie na ekranie wizualizowany jest aktualnie opryskany pas pola (rys. 9 c, 10 b). Na ekranie (rys. 10 c) kolorem żółtozielonym zaznaczony jest obszar jednokrotnie opryskanyadaną dawką, kolorem żółtym wyróżnione są miejsca podwójnie opryskane, zaś nieopryskane powierzchnie są w kolorze ciemnozielonym.



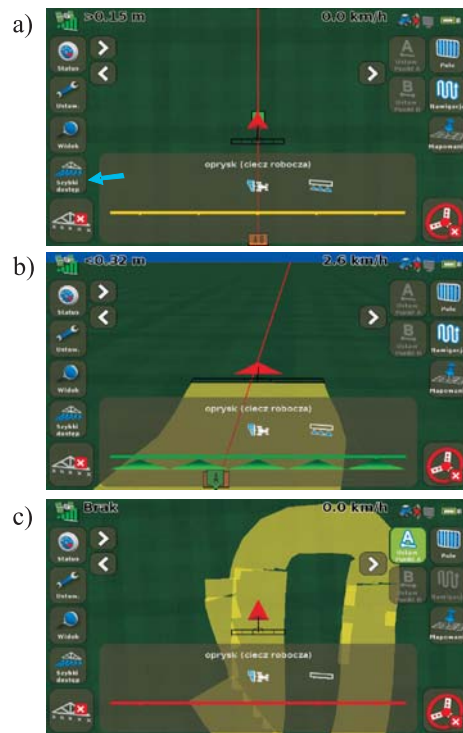
Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 9. Widok z ekranu panelu Trimble CFX-750 z Field-IQ: a) sekcje opryskiwacza wyłączone, b) sekcje opryskiwacza włączone (prędkość $0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), c) sekcje opryskiwacza włączone (prędkość $2,6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$)

Fig. 9. View of the Trimble CFX -750 display panel with the Field-IQ section controller: a) sections of the sprayer are switched off, b) sections of the sprayer are switched on (speed $0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), c) the sections of the sprayer are switched on (speed $2.6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$)

Prawidłowe wykonanie aplikacji cieczy przy użyciu systemu do automatycznego zamykania sekcji jest w znacznym stopniu uzależnione od poprawnych ustawień nakładki w panelu CFX-750 (rys. 11). Uzyskanie ekranu dostępu do opcji wprowadzenia parametrów otrzymuje się klikając na ekranie ikonę *Szybki dostęp* (rys. 10 a). Zakres zmian wartości podwójnego pokrycia waha się od 1 do 99% (rys. 11).

Na rys. 12 przedstawiono trzy zarejestrowane przejazdy opryskiwacza z różnymi wariantami podwójnego oprysku. Ciemnozielone obszary to miejsca nieopryskane, zaś żółty kolor oznacza podwójne pokrycie.



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 10. Widok z ekranu panelu Trimble CFX-750 z Field-IQ podczas pracy: a) opryskiwacz włączony, b) rejestracja parametrów pracy opryskiwacza, c) zapisany wynik pracy opryskiwacza

Fig. 10. View of the Trimble CFX -750 display panel with the Field-IQ section controller at work: a) the sprayer is switched on, b) recording the area being sprayed, c) saving the result of the sprayer's work



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 11. Ustawienia nakładki dla trzech wariantów podwójnego pokrycia: a) 1%, b) 50%, c) 99%

Fig. 11. Overlay settings for three variants of the overlap: a) 1%, b) 50%, c) 99%

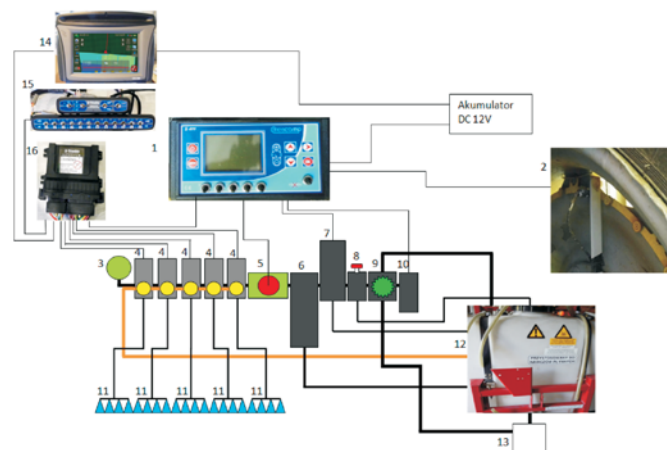


Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 12. Wizualizacja wyników pracy dla trzech wariantów podwójnego pokrycia: a) 1%, b) 50%, c) 99%
Fig. 12. The results of the sprayer's work for three variants of the overlap: a) 1%, b) 50%, c) 99%

Wariant III

Jeśli opryskiwacz ma być rozbudowany do wariantu z funkcją wykonania aplikacji o lokalnie zmiennej dawce cieczy na podstawie np. mapy aplikacyjnej, wówczas w porównaniu z Wariantem II (tab. 2) należy wyposażyć go w inny (droższy) kontroler sekcji Field-IQ (tab. 3). Stosowanie funkcji umożliwiającej lokalnie zmienną dawkę cieczy opryskowej wymaga też dodatkowo wykupienia kodu umożliwiającego korzystanie z funkcji VRA w panelu Trimble CFX-750 (tab. 3). Koszty doposażenia do Wariantu III, czyli zestaw do kontroli sekcji i aplikacji cieczy roboczej z lokalnie zmienną dawką, zawarto w tab. 3 i jest on wyższy o ok. 27% w porównaniu do kosztów Wariantu II.



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 13. Schemat połączeń całego układu sterowania pracą opryskiwacza dla Wariantu III: 1 - komputer sterujący Mescomp S 411, 2 - czujnik prędkości, 3 - manometr, 4 - kompensacyjny elektrozawór sekcji belki, 5 - przepływomierz turbino-owy, 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, 14 - Trimble CFX-750, 15 - Trimble Field-IQ -zestaw przełączników, 16 - moduł kontroli dawki cieczy roboczej i sekcji Field-IQ (RTSC- Rate and Section Control Module)

Fig. 13. Diagram of the complete system for sprayer control in Option III

Tab. 3. Elementy doposażenia do Wariantu III

Table 3. Components used to prepare the sprayer for work in Option III

Zakupione elementy	Kontrola sekcji	Kontrola sekcji i VRA
	cena brutto (PLN)	cena brutto (PLN)
Trimble CFX-750	14753,85	14753,85
Trimble Field-IQ (zespół przełączników + okablowanie)	2992,10	2992,10
Moduł kontroli dawki cieczy roboczej I sekcji Field-IQ (Rate and Section Control Module - (RTSC)	5599,45	5599,45
Odblokowanie VRA	-	3677,70
Koszty elementów ogółem (bez kosztów pracy)	23345,40	27023,10
Nakłady pracy	3 rbg	3 rbg

Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Podsumowanie

Nowoczesne opryskiwacze już standardowo posiadają wyposażenie wchodzące w skład Wariantu I. Doposażenie w dodatkowe elementy innowacyjne poszerzające funkcjonalność opryskiwacza bądź już użytkowanego, bądź będącego w planie zakupów, stanowi znaczną inwestycję, ale przyczynia się do zmniejszenia ilości zużytej cieczy opryskowej, jak też do spełnienia oczekiwań w zakresie ochrony środowiska.

Bibliografia

- [1] Bujak T.: GPS rządzi opryskiem. Rolniczy Przegląd Techniczny, 2012, nr 6, 64-69. ISSN 1507-8701.
- [2] Doruchowski G.: *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.
- [3] Fulton J., Mullenix D., Brooke A., Sharda A., Winstead A.: Automatic section control technology (ASC) for agricultural sprayers. <http://www.alabamaprecisionagonline.com>
- [4] Luck J.: Agricultural sprayer automatic section control (ASC) systems: extensionpublications.unl.edu/assets/pdf/ec718.pdf
- [5] Sałat R.: *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.
- [6] Szewczyk A.: *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
- [7] Towpik T.: Przełącznik daje 10%. Rolniczy Przegląd Techniczny, 2012, nr 6, 52-55. ISSN 1507-8701.
- [8] www.mescomp.com/mescomp01.html

TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECTS OF FIELD SPRAYER ADAPTATION FOR THE PURPOSE OF PRECISION AGRICULTURE

Summary

This paper presents the scope, method and costs of adapting the Pilmet 310 sprayer to control the spraying rate, to automatically turn on and off individual sections on headlands, obstacles and wedges, and also hypothetically to implement spatially variable spraying based on application maps. Fitting the sprayer with additional innovative elements, thus expanding its functionality and reducing the amount of used liquid.

Key words: sprayer, modernization, section control, navigation panel