

DIAGNOSTYKA ROZPYLACZY OPRYSKIWACZA POLOWEGO W CZASIE RZECZYWISTYM

Jerzy Langman, Norbert Pedryc

Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. Rosnące wymagania ekologiczne oraz redukcja kosztów wytwarzania w produkcji roślinnej wymuszają optymalizację procesów produkcji. Jednym z ważniejszych zabiegów jest ochrona i nawożenie roślin. W celu zwiększenia precyzji dawkowania maszyny stosowane w rolnictwie wyposażane są w komputery pokładowe. Spełniają one funkcję nadzoru nad procesem roboczym. Sterowanie opiera się na odczycie parametrów pracy i ich korekty do nastaw zadeklarowanych przez operatora. Oznacza to, że mimo precyzyjnego sterowania zabieg może być wykonany wadliwie. Rozszerzenie systemu komputerów pokładowych o moduły wnioskowania diagnostycznego umożliwi zwiększenie precyzyjności dawkowania cieczy roboczej przez opryskiwacze polowe. W celu realizacji wnioskowania diagnostycznego zostały wyodrębnione sygnały diagnostyczne, które należy poddać analizie w celu uzyskania identyfikacji stanu obiektu. W pracy przedstawiono propozycję adaptacji korpusów rozpylaczy do pozyskania sygnału diagnostycznego za pomocą pomiaru pośredniego.

Słowa kluczowe: diagnostyka, ochrona roślin, opryskiwacz polowy, rozpylacze, komputer pokładowy

Wstęp

Ochrona środowiska oraz tendencja zmian w kierunku rolnictwa precyzyjnego i ekologicznego wymagają dużej dokładności przy stosowaniu środków ochrony roślin oraz nawożeniu. Najczęściej stosowaną maszyną do aplikacji środków ochrony roślin jak również coraz częściej nawozów jest opryskiwacz rolniczy. Aby zabieg był wykonany prawidłowo należy przestrzegać zaleceń producentów oraz pracować sprawną maszyną. Równomierność dawkowania cieczy jest najważniejszym parametrem określającym jakość wykonanej pracy. Aspekt ekologiczny znalazł swoje unormowanie w ustawie z dnia 12.VII.1995 o ochronie roślin uprawnych (Tekst jednolity: Dz.U. z 2008 r. Nr 133, poz. 849), które nakłada obowiązek wykonywania atestacji opryskiwaczy. Najwięcej usterek występujących w opryskiwaczach polowych identyfikowanych podczas okresowych inspekcji związana jest z rozpylaczami. Usterki dotyczą zarówno rozkładu poprzecznego strugi jak również zmiany wydatku całkowitego. Nowe konstrukcje opryskiwaczy wyposażane są w komputery pokładowe, które zwiększają tzw. bezpieczeństwo ekologiczne. Komputery pokładowe stosowane w opryskiwaczach polowych pełnią rolę kontrolno-sterującą w odniesieniu do procesu roboczego. Odciążają operatora oraz sterują zaworami regulacyjnymi korygując dawkę w zależności od rzeczywistej prędkości poruszania się

agregatu. Przy wprowadzeniu map zasobności gleby korekta będzie obejmowała również ten parametr. Brak metod wnioskowania diagnostycznego w komputerach pokładowych sprawia, że mimo precyzyjnego sterowania procesem zabieg opryskiwania roślin może być nieprawidłowo wykonany.

W Katedrze Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki UR w Krakowie podjęto badania mające na celu opracowanie metody wnioskowania diagnostycznego, która pozwoli określić stan najważniejszych podzespołów opryskiwaczy w trakcie pracy maszyny (w czasie rzeczywistym).

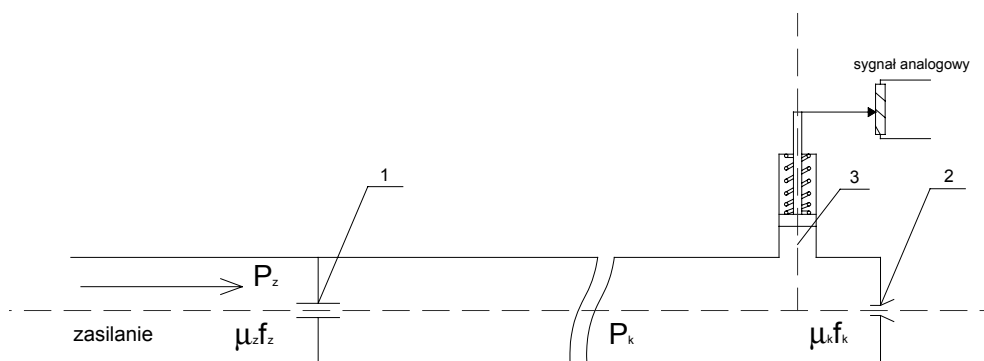
W celu wyodrębnienia sygnałów diagnostycznych potrzebnych do określenia stanu opryskiwacza w dwustanowej diagnostyce został stworzony uniwersalny model funkcjonalny. Na jego podstawie wyznaczona została tabela stanów a następnie macierz Boole'a w celu wyznaczenia testu sprawności obiektu. Określenie stanu możliwe jest przy pomiarze dwóch sygnałów diagnostycznych, którymi są:

- ciśnienie na rozdzielaczu cieczy roboczej,
- wydatek cieczy z pojedynczego rozpylacza.

Określenie stanu wszystkich rozpylaczy w opryskiwaczu wymaga zastosowania dużej liczby czujników mierzących natężenie przepływu. Z powodu braku na rynku czujników, które łączyłyby w sobie prostotę wykonania oraz satysfakcjonującą dokładność, konieczne było podjęcie badań nad opracowaniem koncepcji czujnika pomiarowego.

Koncepcja czujnika pomiarowego

Czujnik składa się z dwóch komór (rys.1) przedzielonych zwężką pomiarową o określonej średnicy i znanym współczynniku wypływu ($\mu_z f_z$). Na końcu czujnika znajduje się rozpylacz o współczynniku wypływu ($\mu_k f_k$) przy czym $\mu_z f_z \gg \mu_k f_k$.



Rys. 1 Schemat czujnika pomiarowego: 1 – zwężka pomiarowa, 2 – rozpylacz, 3 – czujnik pomiaru ciśnienia przed rozpylaczem

Fig. 1. Diagram of measuring sensor: 1 – metering orifice, 2 – sprayer, 3 – pressure measuring sensor before sprayer

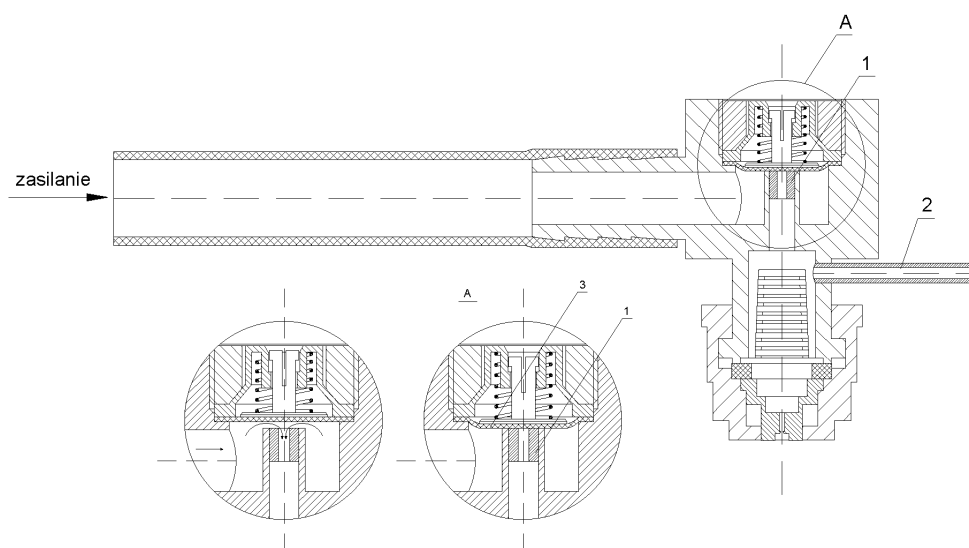
Przy prawidłowej pracy rozpylacza przed zwężką pomiarową panuje ciśnienie zasilania (p_z) natomiast w komorze pomiędzy kryzą a rozpylaczem (komorze pomiarowej) ciśnienie (p_k). Ciśnienie p_k jest niższe od ciśnienia p_z . Różnica pomiędzy ciśnieniami zależy od współczynników wypływu rozpylacza ($\mu_k f_k$) oraz zwężki pomiarowej ($\mu_z f_z$). Zmiana ciśnienia w komorze pomiędzy zwężką a rozpylaczem zależy od wartości ciśnienia zasilania (p_z), współczynnika wypływu ($\mu_z f_z$) zwężki pomiarowej, oraz współczynnika wypływu ($\mu_k f_k$) z rozpylacza zgodnie z zależnością (1).

$$Q_k = \mu_k \cdot f_k \sqrt{\frac{2g \cdot \Delta p}{\gamma}} \quad (1)$$

gdzie:

- Q – wydatek rozpylacza,
- $\mu_k f_k$ – współczynnik wypływu rozpylacza,
- Δp – nadciśnienie panujące w komorze p_k ,
- γ – ciężar właściwy cieczy,
- g – przyspieszenie ziemskie.

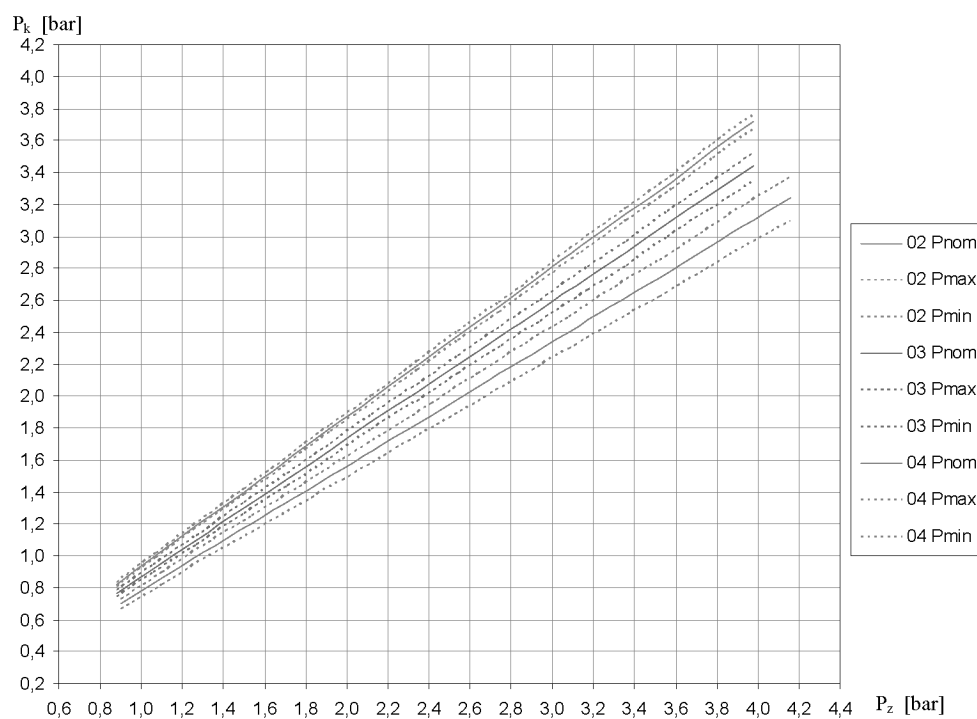
Realizując koncepcję konstrukcyjną założono umieszczenie zwężki pomiarowej w korpusie rozpylacza poniżej membrany zaworu kropłowego (rys. 2). Pomiar ciśnienia w komorze pomiarowej możliwy jest po zamontowaniu króćca pomiarowego w korpusie.



Rys. 2. Sposób mocowania zwężki pomiarowej w głowicy rozpylacza: 1 – zwężka pomiarowa, 2 – króciec pomiaru ciśnienia, 3 – membrana zaworu kropłowego

Fig. 2. Method allowing to fix metering orifice in sprayer head: 1 – metering orifice, 2 – pressure measuring stub, 3 – drop valve membrane

Określenie związków pomiędzy ciśnieniem zasilania zwężki pomiarowej a spadkiem ciśnienia w komorze pomiarowej pozwoliło na interpretację stanu rozpylacza za pomocą pomiaru ciśnień. Badania laboratoryjne miały na celu wyznaczenie zależności pomiędzy ciśnieniami p_z oraz p_k w funkcji zwężki pomiarowej i rozpylacza. Wyznaczone zależności umożliwiły określenie maksymalnych zmian ciśnienia p_k po przekroczeniu którego wydatek rozpylacza przekroczy dopuszczalną odchyłkę dla sprawnych rozpylaczy. Na rys. 3 przedstawiono przykładowe charakterystyki zmiany ciśnienia $p_k=f(p_z)$ dla różnych rozpylaczy. Linie ciągłe wyznaczają nominalne spadki ciśnienia, linie kreskowane wyznaczają graniczne odchyłki ciśnienia p_k . Przekroczenie wartości granicznej świadczy o zmianie wydatku rozpylacza większej niż $\pm 10\%$ wydatku całkowitego. Informacja o przekroczeniu stanu granicznego będzie podana operatorowi przez komputer pokładowy ze wskazaniem rodzaju usterki (rozpylacz rozkalibrowany lub rozpylacz przytkany).



Rys. 3. Różnica ciśnień przed i za zwężką pomiarową o średnicy 1,7 mm przy zastosowaniu rozpylaczy tego samego producenta XR11002, XR11003, XR11004 wraz z zaznaczonymi ciśnieniami granicznymi

Fig. 3. Differential pressure before and after 1.7 mm-diameter metering orifice, using sprayers from one manufacturer: XR11002, XR11003, XR11004, with marked boundary pressure values

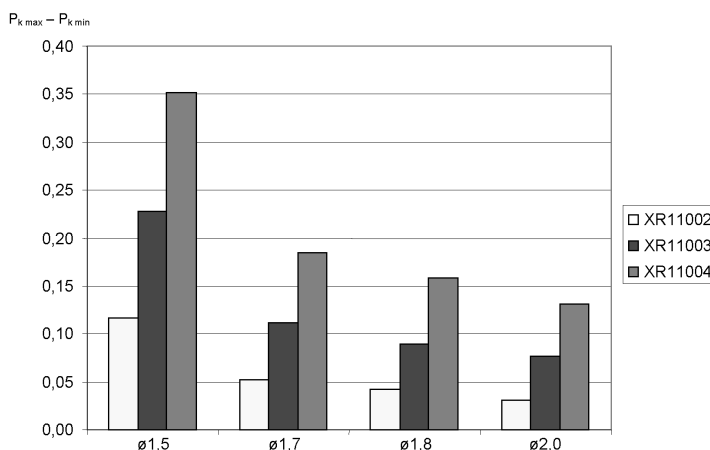
Uzyskane wyniki (rys. 3) określające funkcję zmienności $p_k=f(p_z)$ wykorzystane zostały do wyliczenia współczynników określających wypływ dla zwężki pomiarowej ($\mu_z f_z$) oraz rozpylacza ($\mu_k f_k$) za pomocą równania (1). Znając nominalne współczynniki wypływu została wyliczona graniczna zmienność wydatku całkowitego dla poszczególnych typów rozpylaczy. Graniczne wydatki rozpylaczy zostały przeliczone w celu poznania granicznych współczynników wypływu rozpylacza ($\mu_z' f_z'$, $\mu_z'' f_z''$) stosując przekształcone równanie (1). Posiadane dane wykorzystane zostały do obliczenia granicznych ciśnień (p_{kmin} , p_{kmax}) za pomocą równania (2). Określają one przedziały zmian ciśnienia zasilania rozpylacza (p_k) w zależności od zastosowanej zwężki pomiarowej oraz ciśnienia (p_z). Punkty powstałe z obliczeń granicznych zmian ciśnienia opisują przedział prawidłowej pracy danego typu rozpylacza.

$$p_k = \frac{\mu_z'^2 \cdot f_z'^2 \cdot p_z}{\mu_z'^2 \cdot f_z'^2 + \mu_k^2 \cdot f_k^2} \quad (2)$$

gdzie:

- $\mu_k f_k$ - współczynnik wypływu rozpylacza,
- $\mu_z f_z$ - współczynnik wypływu zwężki pomiarowej,
- p_z - ciśnienie przed zwężką pomiarową,
- p_k - ciśnienie zasilania rozpylacza (za zwężką pomiarową).

Aby określić optymalną średnicę zwężki pomiarowej, która będzie spełniała wymagania stawiane sygnałom diagnostycznym poddano analizie rozpiętość (szerokość) pola tolerancji zmienności ciśnienia zasilania rozpylacza (p_k) w funkcji stałego ciśnienia. Wyniki zostały przedstawione na rys. 4.



Rys. 4. Różnica $p_{kmax} - p_{kmin}$ dla różnych rozpylaczy i średnic zwężek pomiarowych, ciśnienie zasilania rozpylacza 0,28 MPa

Fig. 4. The difference $p_{kmax} - p_{kmin}$ for various sprayers and metering orifice diameters, sprayer feeding pressure 0.28 MPa

Analizując wykres można wyodrębnić optymalną średnicę otworu w zwężce pomiarowej. Największą wartość różnicy ciśnień uzyskujemy dla zwężki o średnicy otworu 1,5 mm, jednocześnie charakteryzuje się ona dużym spadkiem ciśnienia za zwężką co powoduje konieczność jej odrzucenia. Optymalną wersją jest zwężka 1,7 mm ponieważ posiada wystarczająco szeroki zakres prawidłowej zmienności ciśnienia p_k umożliwiającą pozyskanie sygnału diagnostycznego oraz nie powoduje drastycznych spadków ciśnienia zasilania rozpylacza (p_k). Zwężki o średnicach 1,8 oraz 2,0 posiadają zbyt mały zakres zmienności ciśnienia (p_k) co powoduje konieczność stosowania bardzo dokładnych czujników.

Wyniki badań

Zastosowanie zwężki pomiarowej w korpusie rozpylacza (rys. 2) o średnicy 1,7 mm spowodowało spadek ciśnienia w komorze (p_k) w stosunku do ciśnienia zasilania p_z zgodnie z charakterystykami przedstawionymi na rys. 3. Przerwanymi liniami zostały zaznaczone maksymalne zmiany ciśnienia w granicach, których rozpylacz uznawany jest za sprawny. Przekroczenie omawianego zakresu świadczyło będzie o stanie niezdatności rozpylacza do prawidłowego wykonania zabiegu oprysku. Rys.4 przedstawia zakres pola zmienności prawidłowych ciśnień dla trzech podstawowych rozpylaczy płaskostrumieniowych poddawanych badaniom z wykorzystaniem różnych średnic zwężek pomiarowych. Z przedstawionego wykresu należało wybrać optymalną średnicę zwężki pomiarowej dla której istnieje wystarczająco szeroki poziom zmienności sygnału diagnostycznego a równocześnie nie powoduje znacznych przyrostów energetycznych koniecznych do zapewnienia nominalnych ciśnień pracy rozpylacza. Najlepszą średnicą zwężki pomiarowej jest 1,7mm ponieważ posiada zmienność ciśnienia możliwą do pomiaru czujnikami o dokładnościach stosowanych w diagnostyce pokładowej a jednocześnie podniesienie ciśnienia zasilania p_z konieczne w celu uzyskania ciśnienia $p_k = 0,25$ MPa waha się w zakresie od 3,1% do 32,97%.

Wnioski

1. Przeprowadzona optymalizacja testów diagnostycznych metodą tablic Bool'a pozwoliła na ustalenie optymalnej ilości sprawdzeń celem określenia stanu sprawności diagnozowanego obiektu.
2. Opracowany model czujnika pozwala na określenie metodą pośrednią wydatku pojedynczych rozpylaczy poprzez analizę wielkości spadku ciśnienia na zwężce pomiarowej.
3. Badania czujnika wykazały jego pełną przydatność do diagnostyki on-line poszczególnych końcówek rozpylaczy podczas pracy opryskiwacza.
4. Pozyskany sygnał diagnostyczny jest parametrem wejściowym modułu wnioskowania diagnostycznego wykorzystującego SSN.

Bibliografia

- Basista G., Kaczorowski J., Langman J.** 2002. Charakterystyki hydrauliczne rozpylaczy płaskostrumieniowych jako parametr diagnostyczny. Inżynieria Rolnicza. Nr 6. s. 57-63.
- Basista G., Kaczorowski J., Langman J.** 2002. Stanowiskowa diagnostyka rozpylaczy płaskostrumieniowych. Inżynieria Rolnicza. Nr 2. s.15-22.
- Langman J., Pedryc N.** 2003. Ocena rozpylaczy płaskostrumieniowych na podstawie charakterystyki rozkładu poprzecznego cieczy. Inżynieria Rolnicza. Nr 10. s. 269-276.
- Langman J., Pedryc N.** 2005. Device for continuous monitoring of operatial quality of spray nozzles In agricultural sprayers. Praga s. 133-137.
- Langman J., Pedryc N.** 2006. Skaner do badania rozkładu poprzecznego strugi rozpylaczy płaskostrumieniowych. Inżynieria Rolnicza. Nr 13. s. 287-294.

DIAGNOSTICS OF FIELD SPRAYING MACHINE SPRAYERS IN REAL TIME

Abstract. Growing ecological requirements and reduction of plant production costs extort optimisation of production processes. Plant protection and fertilising belong to more important treatments. Today, machines used in agriculture are equipped with on-board computers in order to increase dosing accuracy. These computers oversee the working process. Control is based on reading of work parameters and correcting them to settings declared by operator. It means that the treatment may be executed defectively in spite of precise control. Adding diagnostic concluding modules to the on-board computer system will allow to increase the accuracy of working liquid dosing by field spraying machines. In order to execute diagnostic concluding those diagnostic signals were isolated, which need to be analysed to obtain an object condition identification. The paper presents proposal to adapt spraying machine body to obtaining diagnostic signals via indirect measurements.

Key words: diagnostics, plant protection, field spraying machine, sprayers, on-board computer

Adres do korespondencji:

Jerzy Langman; e-mail: rlangma@cyf-kr.edu.pl
katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
ul. Balicka 120
30-149 Kraków

