

ZASTOSOWANIE METODY ELEKTROSTATYCZNEJ DO ANALIZY PRACY ROZPYLACZA

Marek Kuna-Broniowski, Dariusz Plichta
Akademia Rolnicza w Lublinie

Streszczenie: Celem pracy było zastosowanie elektrostatycznej metody pomiaru liczby kropli do dokonania analizy pracy rozpylaczy opryskiwaczy rolniczych. Badania rozpylaczy polegały na pomiarze liczby kropli w płaszczyźnie padania rozpylonej strugi i dokonane zostały elektrostatyczną metodą pomiaru wielkości kropli. Przeprowadzono badania pod kątem parametrów makroskopowych takich, jak powierzchnia pokrycia rozpylonej strugi cieczy. Polegały one na skanowaniu pola powierzchni padania sondą pomiarową. Zastosowana metoda pozwoliła na wyznaczenie pola powierzchni pokrycia oraz parametrów geometrycznych stożka rozpylonej strugi. Poza tym wyznaczono ilościowy rozkład padania kropli.

Słowa kluczowe: pomiar kropli, dysze opryskiwaczy, opryskiwacze

WSTĘP

Rozpylanie cieczy stosowane jest obecnie na szeroką skalę w przemyśle, budownictwie, lakiernictwie, rolnictwie, przemyśle rolno-spożywczym [Orzechowski i Prywer 1994]. W przemyśle rolno-spożywczym atomizacja cieczy wykorzystywana jest do suszenia rozpyłowego [Peroń i in. 2001]. Atomizacja cieczy w rolnictwie niezastąpiona jest szczególnie w przypadku ochrony roślin czy nawożenia.

We wspomnianych zastosowaniach jednym z podstawowych warunków prawidłowego przebiegu procesu technologicznego jest uzyskiwanie podczas rozpylania kropli o wielkościach ściśle zdefiniowanych wymogami technologicznymi. Jednak proces formowania kropli cieczy przez rozpylacz jest bardzo złożony i uzależniony od właściwości samej cieczy, takich jak lepkość, napięcie powierzchniowe, oraz od aparatury rozpylającej, tzn. ciśnienia, kształtu i stanu dysz rozpylających. Wzajemne oddziaływanie tych czynników powoduje bardzo duże zmiany spektrum kropli uzyskiwanych w czasie rozpylania. Proces pomiaru wielkości, objętości oraz rozkładu kropli wydobywających się z dysz rozpylających jest bardzo trudny, zwłaszcza wówczas, gdy chcemy

Adres do korespondencji – Corresponding author: Marek Kuna-Broniowski, Zakład Elektrotechniki i Systemów Pomiarowych, Katedra Podstaw Techniki, Akademia Rolnicza w Lublinie, ul. Doświadczalna 50 A, 20-280 Lublin, tel. 461-00-61, e-mail: marek.kuna-broniowski@ar.lublin.pl

dokonać tego pomiaru nie w specjalnym laboratorium, lecz w badaniach laboratoryjnych.

Elektrostatyczna metoda pomiaru wielkości kropli. Metoda ta wykorzystuje zdolność cieczy naładowanej ładunkiem elektrycznym do unoszenia go na dość znaczne odległości. Wielkość tego ładunku jest w szerokim zakresie odległości pokonywanych przez naładowane krople, proporcjonalna do ich masy [Geist i in. 1951, Kuna-Broniowski 1999].

Metoda pomiaru wielkości kropli polega na tym, że naładowana ciecz spada na elektrodę pomiarową. Spadająca kropla cieczy ma pewną, stałą pojemność, która zależy od właściwości cieczy oraz od wielkości kropli. Zakładając stałą wielkość i to, że właściwości cieczy w trakcie pomiaru nie zmieniają się, przyjmuje się, że każda kropla o tej samej wielkości ma tę samą pojemność.

$$q_a = C \cdot U \quad (1)$$

gdzie: q_a – ładunek kropli,
 C – pojemność kropli,
 U – wielkość napięcia elektryzującego.

Ładunek cieczy będzie więc zależał tylko od napięcia elektryzującego. Spadającą kroplę w atmosferze możemy przedstawić jako naładowany kondensator C z równoległą rezystancją R_a (rezystancja atmosfery), mającą wpływ przy dużych napięciach i małych ładunkach. W początkowej fazie spadania (około 2 cm) następuje gwałtowne rozładowanie kropli [Kuna-Broniowski 1999]. Na dalszych odległościach wpływ tej rezystancji jest już pomijalny.

Dopasowanie układu sonda-wzmacniacz z uwzględnieniem warunków pracy nie jest prostym zadaniem [Kuna-Broniowski i Plichta 2000]. Zastosowanie poszczególnych rozwiązań wynika z warunków, jakie zostały postawione poszczególnym aplikacjom – wielkość cząstek, sposób elektryzowania cząstek itd.

Do przeprowadzenia badań zbudowano sondę, z której sygnał pomiarowy był wzmacniany przez instrumentalny wzmacniacz różnicowy. Pozwolił on na wyeliminowanie zakłóceń pomiaru. Wzmacniacz umieszczony został bezpośrednio przy sondzie w celu zmniejszenia całkowitej pojemności układu wejściowego, co umożliwiła zwiększenie amplitudy generowanych sygnałów oraz zmniejsza czułość urządzenia na zakłócenia.

Obwód wejściowy wzmacniacza ma pewną rezystancję R_{we} i pojemność C_{we} [Kuna-Broniowski i Plichta 2001]. Gdy kropla uderzy w sondę pomiarową, następuje przekazanie ładunku i ładowanie pojemności wejściowej wzmacniacza. W tym momencie przepływie prąd przez rezystancję wejściową wzmacniacza, rozładowując pojemność:

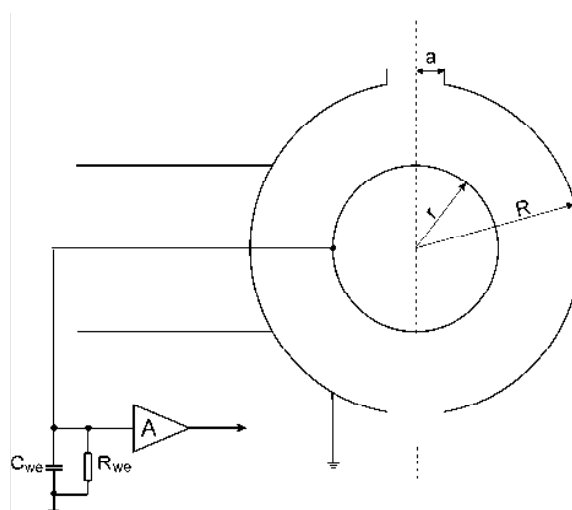
$$i(t) = \frac{dq}{dt} \quad (2)$$

gdzie: i – prąd płynący przez rezystancję wejściową wzmacniacza.

Po przekształceniach wartość ładunku elektrycznego q przenoszonego przez pojedynczą kroplę będzie równa [Kuna-Broniowski i in. 1995]:

$$q = \frac{1}{A \cdot R_{we}} \int_0^T u_1(t) dt \quad (3)$$

gdzie: A – wzmacnienie wzmacniacza,
 u_1 – napięcie na wyjściu wzmacniacza,
 T – czas rozładowania pojemności wejściowej wzmacniacza,
 R_{we} – rezystancja wejściowa wzmacniacza.



Rys. 1. Schemat sondy pomiarowej (A – wzmacniacz, C_{we} – pojemność wejściowa, R_{we} – rezystancja wejściowa, a – promień otworu wlotowego, r – promień kolektora, R – promień ekranu sferycznego)

Fig. 1. Schema of measurement detector (A – amplifier, C_{we} – input capacity, R_{we} – input resistor, a – radius of input gate, b – collector's radius, R – spherical screen radius).

Ta właściwość potwierdzona doświadczalnie [Kuna-Broniowski i in. 1994, 1995] umożliwia skonstruowanie urządzenia, które może szybko mierzyć wielkość i ilość kropli przechodzących przez obszar pomiarowy obejmowany przez sondę. Sprzężenie tej sondy z komputerowym systemem pomiarowym pozwala na bieżąco uzyskiwać informacje o rozkładzie spektrum kropli w czasie pomiaru. Dzięki temu można w sposób ciągły kontrolować jakość rozpylania oraz podejmować zabiegi do uzyskania wymaganych parametrów procesu rozprysku.

METODYKA BADAŃ

Przeprowadzono szereg badań rozpylaczy opryskiwaczy rolniczych. Polegały one na pomiarze liczby kropli w płaszczyźnie padania rozpylonej strugi i dokonane zostały elektrostatyczną metodą pomiaru wielkości kropli.

Pomiar poszczególnych rozpylaczy polegał na skanowaniu pola powierzchni padania sondą pomiarową. Przemieszczanie sondy pomiarowej odbywało się na płaszczyźnie prostopadłej do osi rozpylacza w obu kierunkach, ze skokiem 15 mm. Sygnały z sondy wzmocnione przez różnicowy wzmacniacz pomiarowy były klasyfikowane przez urządzenie komparatorowe, z którego dane przesyłane były do komputera i zapisywane na dysku.

Rozpylacze, które przebadano, pochodziły z produkcji krajowej. Były to rozpylacze wirowe o średnicach otworu wylotowego 1,0 mm, 1,5 mm, 2,0 mm i 2,5 mm oraz rozpylacze szczelinowe typu RS110/02, RS110/03, RS110/04.

Pomiary rozkładu kropli wykonano dla różnych ciśnień: 0,06 MPa, 0,10 MPa, 0,20 MPa, 0,30 MPa. Dla każdego z tych ciśnień wykonano po trzy powtórzenia.

Otrzymane wyniki były bezpośrednio analizowane przez zaprojektowaną aplikację komputerową oraz wizualizowane na monitorze.

ANALIZA WYNIKÓW

Przeprowadzone badania dały możliwość oceny pola pokrycia powierzchni rozpyloną strugą. W analizie zostały pominięte przypadki, gdzie nastąpiło wykroczenie stożka rozpylonej strugi poza zakres skanowania.

Tabela 1. Liczba punktów pomiarowych, gdzie zarejestrowano krople
Table 1. Pixel's number where detected drops

Ciśnienie Pressure MPa	Rodzaj rozpylacza – Nozzle type						
	φ 1,0 mm	φ 1,5 mm	φ 2,0 mm	φ 2,5 mm	RS 110/02	RS 110/03	RS 110/04
0,06	150	235	370	401	261	241	251
0,10	158	323	x	x	305	276	285
0,20	195	403	x	x	x	x	x
0,30	216	x	x	x	x	x	x

x – przekroczony zakres obszaru skanowania
x – out of scan surface

Wraz ze wzrostem średnicy otworu rozpylacza wirowego wzrasta liczba punktów, w których zarejestrowano padanie kropli. Przy ciśnieniu 0,06 MPa dla rozpylacza o średnicy 1,0 mm wynosiła 150, a dla rozpylacza o średnicy 2,5 mm aż 401 (tab. 1).

Należy również zauważyć, że wzrost liczba punktów, w których zarejestrowano obecność kropli, następuje podczas wzrostu ciśnienia cieczy (rys. 3). Dla rozpylacza o średnicy 1,0 mm przy ciśnieniu 0,06 MPa liczba punktów wynosiła 150, natomiast dla tego samego rozpylacza przy wzroście ciśnienia cieczy do 0,30 MPa liczba punktów wzrosła o 44% i wynosiła 216.

W celu dokładniejszej analizy i wyeliminowania błędów pomiarowych spowodowanych przypadkowym zaliczaniem pojedynczych impulsów dokonano „filtracji” danych. W tym celu zliczono tylko punkty pomiarowe, w których zarejestrowano co najmniej 10

impulsów, a więc padanie kropli było intensywne i nie było przypadkowe. W tych przypadkach różnice pomiędzy poszczególnymi rozpylaczami były podobne, jednocześnie różnice w każdym z powtórzeń dla danego rozpylacza i ciśnienia roboczego okazały się mniej zróżnicowane.

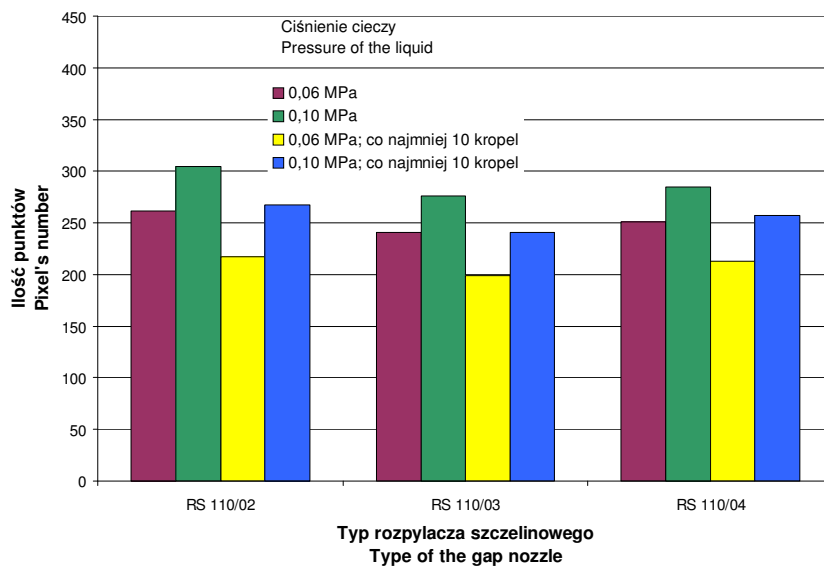
Liczba punktów przy ciśnieniu cieczy 0,06 MPa dla rozpylacza 1,0 mm wyniosła 113, a dla rozpylacza 2,5 mm odpowiednio 344 (tab. 2).

W przypadku rozpylacza 1,0 mm przy wzroście ciśnienia do 0,30 MPa liczba punktów wzrosła o 60% i wyniosła 181.

Tabela 2. Liczba punktów pomiarowych, gdzie zarejestrowano co najmniej 10 kropli
Table 2. Pixel's number where detected moor then 10 drops

Ciśnienie Pressure MPa	Rodzaj rozpylacza – Nozzle type						
	φ 1,0 mm	φ 1,5 mm	φ 2,0 mm	φ 2,5 mm	RS 110/02	RS 110/03	RS 110/04
0,06	113	163	286	344	217	199	213
0,10	115	256	x	x	267	241	257
0,20	156	361	x	x	x	x	x
0,30	181	x	x	x	x	x	x

x – przekroczony zakres obszaru skanowania
x – out of scan surface



Rys. 2. Liczba punktów, w których zarejestrowano padanie kropli – rozpylacz szczelinowy
Fig. 2. Pixel's number where detected drops – gap nozzle

W przypadku rozpylaczy szczelinowych można zauważyć, że dla ciśnień cieczy od 0,10 MPa liczba punktów, gdzie padały krople, jest bardzo podobna i waha się w granicach od 241 dla rozpylacza RS 110/03 do 305 dla rozpylacza RS 110/02. W przypadku rozpylaczy szczelinowych po tzw. „odfiltrowaniu” danych (zliczanie punktów, gdzie zarejestrowano co najmniej 10 kropli) liczba zliczonych punktów pomiarowych jeszcze mniej się różni i wynosi od 199 do 267.

Wyraźny wpływ na liczbę punktów pomiarowych, a tym samym pole padania kropli, ma ciśnienie cieczy (rys. 2). Przy wzroście ciśnienia cieczy z 0,06 MPa do 0,10 MPa dla rozpylacza RS 110/02 wzrosła odpowiednio liczba punktów z 261 do 305. Podobne wzrosty zanotowano również w przypadku pozostałych badanych rozpylaczy szczelinowych.

Przy znanej liczbie punktów na płaszczyźnie, gdzie zarejestrowano krople, określono wielkość koła – zasięgu – padania kropli na powierzchnię. Wyznaczono również promień podstawy stożka rozpylonej strugi i przy znanej wysokości wyznaczono kąt rozpylonej strugi α . Z zależności (4) wyznaczono pole powierzchni, gdzie zarejestrowano obecność kropli.

$$S = a \cdot b^2 \quad (4)$$

gdzie: S – pole powierzchni skanowania, gdzie zarejestrowano obecność kropli,
 a – ilość punktów, gdzie zarejestrowano obecność kropli,
 b – przesuw sondy pomiarowej

Następnie z pola powierzchni koła możemy wyznaczyć promień podstawy stożka:

$$r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad (5)$$

gdzie: r – promień koła – podstawy stożka rozpylonej strugi.

Kąt rozpylonej strugi α wyznaczono z zależności:

$$\alpha = 2 \cdot \arctg \frac{r}{h} \quad (6)$$

gdzie: α – kąt stożka strugi,
 r – promień koła – podstawy stożka rozpylonej strugi,
 h – odległość od rozpylacza do płaszczyzny pomiaru średnicy strugi.

Należy jednak pamiętać, iż kąt α jest to kąt wyznaczony doświadczalnie. Kąt rozpylenia jest to kąt wierzchołkowy rozpylonej strugi [Orzechowski i Prywer 1991]. Podczas rozpylania w nieruchomym otoczeniu, struga zasysa otaczające gazy, co w konsekwencji powoduje jej zwężanie wraz ze wzrostem odległości od rozpylacza. Korzystając z zależności (6) wyznaczono kąt rozpylenia, który jest zależny od ciśnienia cieczy oraz odległości rozpylacza od powierzchni padania kropli.

Ocena ta jest jednak uproszczona, ponieważ należało założyć, że stożek rozpylonej strugi był wypełniony. W przypadku, gdyby stożek strugi był pusty, ocena byłaby obarczona dużym błędem – stosunkiem liczby „pustych” punktów wewnątrz stożka do liczby punktów, gdzie zarejestrowano obecność kropli.

W przypadku rozpylaczy szczelinowych wyznaczanie geometrii pola pokrycia oraz kąta stożka jest bardzo utrudnione, gdyż stożek ma podstawę w postaci elipsoidy, a nie koła.

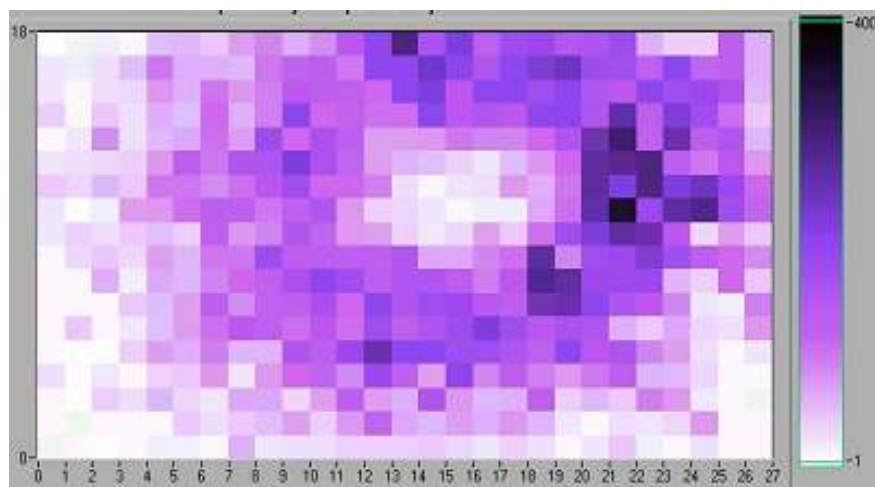
Tabela 3. Promień podstawy oraz kąty wierzchołkowe stożka rozpylonej strugi cieczy dla rozpylaczy wirowych

Table 3. Base radius and top angle of the cone drops stream for the rotation nozzle

Ciśnienie Pressure MPa	Średnica otworu rozpylacza – Nozzle diameter							
	φ 1,0 mm		φ 1,5 mm		φ 2,0 mm		φ 2,5 mm	
	r	α	r	α	r	α	r	α
0,06	0,104 m	38	0,130 m	47	0,163 m	57	0,169 m	59
0,10	0,106 m	39	0,152 m	54	x	x	x	x
0,20	0,118 m	43	0,170 m	59	x	x	x	x
0,30	0,124 m	45	x	x	x	x	x	x

x – przekroczony zakres obszaru skanowania

x – out of scan surface



Rys. 3. Rozkład padania kropli na powierzchnię skanowania

Fig. 3. Distribution of the drops on the scanning surface

W przypadku, gdzie promień przekroczył wartość 0,15 m, można stwierdzić, iż pomiar rozkładu widma przekroczył zakres skanowania sondą pomiarową. Zakres skanowania wynosi 420 mm na 300 mm i promienie podstawy większe od 150 mm spowodowały, że niektóre krople padały poza zakresem pomiarowym.

WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań wynika, że użycie elektrostatycznej metody pomiaru liczby kropli ma wiele zalet. W porównaniu z tradycyjnymi metodami polegającymi na wychwytywaniu kropli na różnego rodzaju podłoża stanowiące ekran pomiarowy, zastosowana metoda umożliwia pomiar znacznie większej liczby kropli. Stosowanie metod dających podobne wyniki jak metoda wykorzystana w pracy jest bardzo złożone i kosztowne.

Wykorzystana metoda może zastąpić pomiary rozkładu padania kropli dokonywane na stole rowkowym, które przeprowadza się dla opryskiwaczy rolniczych. Instrument pomiarowy umożliwia przedstawianie rozmieszczenia kropli w sposób intuicyjny na ekranie komputera bezpośrednio po pomiarze. Pozwala również na bezpośrednie dokonanie analizy statystycznej, wykorzystując możliwości programów komputerowych.

PIŚMIENNICTWO

- Geist J. M., York J. L., Brown G. G., 1951. Electronic spray analyzer for electrically conducting particles. *Industr. Eng. Chemistry* 43, 6.
- Kuna-Broniowski M., Ścibisz M., 1994. Measuring the currents of the drops to record the kinetic energy of rain splash. *International Conference on Agricultural Engineering, Milano*, 29.08-01.09. s. 83.
- Kuna-Broniowski M., Ścibisz M., Zdzioch J., 1995. High voltage application to measure the mass of water drop. *Ninth International Symposium on High Voltage Engineering, Graz*, 29.08-01.09. s. 7893-1-2-3.
- Kuna-Broniowski M., 1999. Nowe metody prognozowania i wczesnego wykrywania chorób roślin. *Rozpr. Nauk. Akademii Rolniczej w Lublinie* 223, Lublin.
- Kuna-Broniowski M., Plichta D., 2000. Pomiar wielkości kropli cieczy metodą elektrostatyczną – porównanie całkowitego ładunku i amplitudy sygnału. *Inż. Roln.* 7(18).
- Kuna-Broniowski M., Plichta D., 2001. Optymalizacja obwodów wejściowych w systemie pomiaru wielkości kropli metodą elektrostatyczną. *Inż. Roln.* 2(22).
- Orzechowski Z., Prywer J., 1994. Rozpylanie cieczy w urządzeniach energetycznych. WNT. Warszawa.
- Peroń S., Kramkowski R., Figiel A., Stępień B., Błażewicz J., 2001. Wpływ wybranych parametrów na proces suszenia rozpyłowego roztworu koncentratu brzożki słodowej. *Inż. Roln.* 13(31).

APPLICATION OF THE ELECTROSTATIC METHOD TO ANALYSIS OF THE STREAM SPRAY OF THE AGRICULTURAL NOZZLES

Abstract: In the paper presented the investigation on the drops distribution using the electrostatic method. The investigation concentrated on the measuring the drops numbers touching the measuring surface. The electrostatic method during the scanning the determined surface by the small electrostatic sensor, give the possibility to determine the number of drops each small region of the surface called "pixel". The method give the possibility to determine the geometric parameter cone of the sprayer drops and the distribution of the zap on the determined surface.

Key words: sprayers, drop measurement, nozzle

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 30.05.2007