

THE USE OF PHOTOGRAPHY AND COMPUTER IMAGE ANALYSIS IN THE EVALUATION OF TRANSVERSE DISTRIBUTION OF SPRAYED LIQUID

Summary

This paper presents the use of photography and computer image analysis in the evaluation of transverse distribution of sprayed liquid on the surface characterized by means of the indicator of transverse non-uniformity. The primary purpose of the proposed method in researching spraying process and evaluation of its quality is to reduce the measurement time, to increase the accuracy and repeatability of the results obtained and the possibility of automation control and monitoring of studies. The essence of the proposed method consists in recording the memory of the measurement vessels taken with a digital camera of a high-resolution photo and then their treatment in order to determine the volume of liquid collected in each measurement vessel which in turn leads to a fundamental qualitative characteristics of the spray process. The research process using the proposed method is implemented on a laboratory automated test station using specialized computer software. Preliminary results confirmed the usefulness of the verification method described in the study and evaluation of the quality of the spray in the laboratory.

Key words: plant protection, spraying, digital photography, image processing, transverse distribution of sprayed liquid, computer image analysis, control, automation

WYKORZYSTANIE FOTOGRAFII I KOMPUTEROWEJ ANALIZY OBRAZU DO OCENY POPRZECZNEGO OPADU ROZPYLONEJ CIECZY

Streszczenie

Zaprezentowano wykorzystanie fotografii i komputerowej analizy obrazu w ocenie poprzecznego opadu rozpylonej cieczy na opryskiwanej powierzchni charakteryzowanej wskaźnikiem poprzecznej nierównomierności. Podstawowym celem zastosowania proponowanej metody w badaniach procesu oprysku i oceny jego jakości jest skrócenie czasu pomiarów, zwiększenie dokładności i powtarzalności uzyskiwanych wyników oraz możliwość automatyzacji sterowania i kontroli przebiegu badań. Istota proponowanej metody polega na rejestrowaniu w pamięci komputera obrazów naczyń pomiarowych wykonywanych cyfrowym aparatem fotograficznym o wysokiej rozdzielczości, a następnie ich obróbce w celu wyznaczenia objętości cieczy zgromadzonej w każdym naczyniu pomiarowym, co w konsekwencji prowadzi do uzyskania podstawowych charakterystyk jakościowych procesu oprysku. Proces badawczy z wykorzystaniem proponowanej metody realizowany jest na zautomatyzowanym stanowisku laboratoryjnym z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania komputerowego. Wyniki wstępnych badań weryfikacyjnych potwierdziły przydatność opisywanej metody w badaniach i ocenie jakości oprysku w warunkach laboratoryjnych.

Słowa kluczowe: ochrona roślin, opryskiwanie, poprzeczny opad rozpylonej cieczy, fotografia cyfrowa, komputerowa analiza obrazu, sterowanie, automatyzacja

1. Wprowadzenie

Metody chemicznej ochrony roślin są powszechnie stosowane w rolnictwie. Aplikowane środki chemiczne nie tylko zwalczają chwasty lub choroby roślin uprawnych, lecz także niekorzystnie wpływają na naturalne środowisko. Dlatego dąży się do zmniejszania dawki oprysku przy jednoczesnym zachowaniu jego skuteczności. Skuteczność zabiegów jest uwarunkowana odpowiednim rozłożeniem preparatu chemicznego na chwastach lub chronionych roślinach. Jednym z zalecanych do stosowania liczbowych wskaźników charakteryzujących jakość zabiegów ochrony roślin jest wskaźnik poprzecznej nierównomierności oprysku. Wyznaczany jest on na podstawie wyników pomiarów objętości cieczy zebranej w naczyniach pomiarowych umieszczonych odpowiednio pod każdą rynienką stołu pomiarowego, a metodykę prowadzenia badań oraz wykorzystywaną aparaturę regulują międzynarodowe i polskie nor-

my. Takie postępowanie jest czasochłonne ze względu na zakres i złożoność badań w przypadku serii pomiarowych o odpowiedniej liczbie powtórzeń. W najczęściej stosowanych metodach pomiaru odczyt objętości cieczy realizowany jest wizualnie z wykorzystaniem wyskalowanych naczyń pomiarowych, co w istotny sposób wpływa na dokładność otrzymywanych wyników. W nowoczesnych rozwiązaniach stołów pomiarowych stosuje się przetworniki wagowe umieszczane pod każdym naczyniem pomiarowym umożliwiające bezpośredni pomiar objętości cieczy. Rozwiązanie to jest jednak dość kosztowne, dlatego też znalazło zastosowanie tylko dla stołów krótkich o niewielkiej liczbie naczyń pomiarowych [1, 2, 3].

Analiza wymagań zawartych w międzynarodowych i polskich normach dotyczących metodyki badań ciśnieniowych rozpylaczy i opryskiwaczy polowych umożliwiła opracowanie konstrukcji oraz budowę zautomatyzowanego stanowiska pomiarowego, w którym wykorzystano metodę

fotografii i komputerową analizę obrazu do oceny poprzecznego opadu cieczy na opryskiwanej powierzchni [4, 5, 6, 7].

Celem pracy jest zaprezentowanie założeń, istoty wykorzystania oraz korzyści wynikających z zastosowania tej metody w wymienionym wyżej stanowisku.

2. Założenia wykorzystania fotografii i komputerowej analizy obrazu do oceny poprzecznego opadu cieczy

Sformułowano następujące założenia konstrukcyjne oraz funkcjonalne do opracowania wymienionej wyżej metody oceny poprzecznego opadu cieczy:

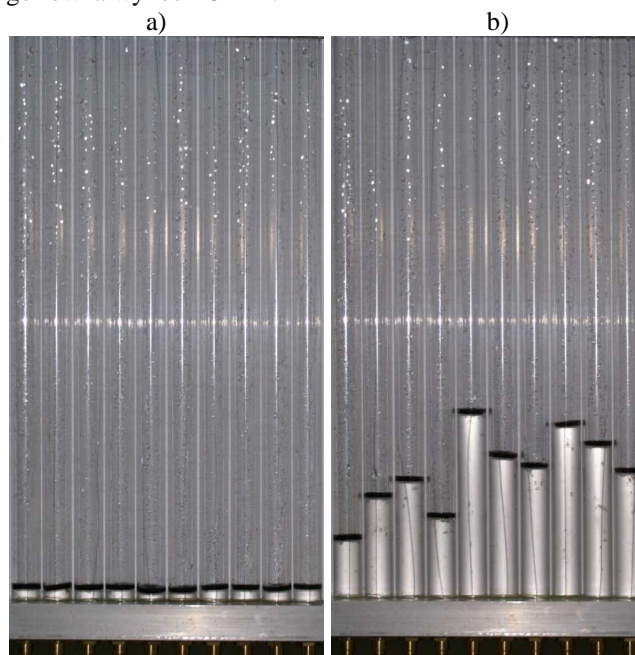
- znaczne skrócenie czasochłonności prowadzenia badań,
- zwiększenie dokładności i powtarzalności otrzymywanych wyników w porównaniu z wynikami wcześniejszych badań,
- dokładny pomiar opadu poprzecznego cieczy (błąd < 2%), a w szczególności podstawowej charakterystyki ilościowej oceny jakości oprysku (wskaźnika poprzecznej nierównomierności) uzyskiwanej z pojedynczego rozpylacza lub belki opryskowej,
- możliwość automatycznego sterowania pracą opróżniania cylindrów pomiarowych, odprowadzenia nadmiaru cieczy),
- możliwość automatycznego pomiaru i rejestrowania zmian wartości wyników ilościowej oceny jakości oprysku w czasie rzeczywistym,
- wykorzystanie opracowanej metody do realizacji badań według załadowanego tzw. „scenariusza badań” (serii pomiarów) z odpowiednio przygotowanego pliku tekstowego,
- rejestrowanie i archiwizacja zmian wartości ilościowej oceny jakości oprysku do postaci umożliwiającej ich dalszą obróbkę i analizę z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania komputerowego (Excel, MathCad, Statistica).

3. Istota wykorzystania fotografii i komputerowej analizy obrazu do oceny poprzecznego opadu cieczy

W opracowanej metodzie dokładnego pomiaru poprzecznego opadu cieczy zgromadzonej w cylindrach pomiarowych zdecydowano o zastosowaniu metody fotografowania cylindrów pomiarowych z cieczą przy pomocy aparatu cyfrowego. Dla każdego pomiaru rejestrowane są dwa obrazy (przed rozpoczęciem pomiaru i po jego zakończeniu) aparatem zamontowanym na statywie i sterowanym z komputera (rys. 1). Po wykonaniu wszystkich pomiarów obrazy przesyłane są na dysk komputera za pośrednictwem złącza USB. Na podstawie cyfrowej analizy zarejestrowanych par obrazów, automatycznie obliczane są wysokości słupów cieczy zgromadzonej w kolejnych cylindrach po-

miarowych. Maksymalny błąd odczytu wysokości słupa cieczy szacowany jest na ok. 0,5%.

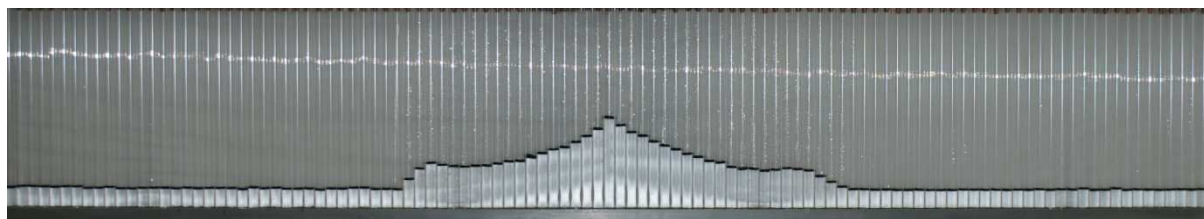
Obszar pomiarowy stanowi 109 cylindrów (naczyni), do których w czasie pomiarów spływa ciecz z kolejnych rowków stołu pomiarowego o poziomej płaszczyźnie wyznaczonej przez grzbiety tych rowków. Szerokość pojedynczego rowka wynosi 25 mm.



Źródło: opracowanie własne / Source: own study

Rys. 1. Widok części cylindrów pomiarowych: a) przed rozpoczęciem pomiaru, b) po zakończeniu pomiaru
Fig. 1. View of fragment of the measuring cylinder: a) before the start of the measurement, b) after measurement

Układ odprowadzający ciecz ze wszystkich cylindrów pomiarowych stanowi połączenie cylindrów z kolektorem zbiorczym i pompą opróżniającą. Poprzez zastosowanie w układzie odprowadzającym automatycznego sterowania położeniem kolektora zbiorczego uzyskano możliwość realizacji dwóch stanów napełnienia cylindrów cieczą. Pierwszy stan przed właściwym pomiarem dotyczy napełnienia wszystkich cylindrów pewną początkową wysokością słupa cieczy. Takie napełnienie rejestrowane jest w postaci obrazu i stanowi punkt odniesienia do analizy i wyznaczania wysokości zebranej cieczy z kolejnych rowków stołu w czasie eksperymentu pomiarowego. Drugi stan rejestrowany w postaci obrazu dotyczy cylindrów, które zostały dopełnione cieczą na skutek objęcia polem zraszania odpowiedniej liczby rowków stołu pomiarowego (rys. 2). Podczas komputerowej analizy zarejestrowanych obrazów obu stanów następuje ich „kadrowanie” do rozmiaru wynikającego z wysokości cylindrów pomiarowych i zajmowanej przez nie szerokości.



Źródło: opracowanie własne / Source: own study

Rys. 2. Widok wypełnionych cieczą cylindrów pomiarowych
Fig. 2. View of the measuring cylinders filled with liquid

W dalszej kolejności dla każdego cylindra pomiarowego w kilku płaszczyznach jednocześnie analizowane są kolory i jasność kolejnych pikseli obrazu. Różnica w kolorze i jasności przewyższająca ustaloną wartość uznawana jest za poziom wyznaczający wysokość słupa cieczy.

Uzupełnieniem opisywanej metody jest układ pomiarowo-sterujący. Został on wyposażony w komputer z odpowiednim oprogramowaniem, uniwersalną analogowo-cyfrową kartę pomiarowo-sterującą, panel kontrolny oraz interfejsy we-wy dopasowujące rodzaj i poziomy sygnałów pomiarowych i sterujących.

Program komputerowy umożliwiający sterowanie pracą stanowiska opracowano we własnym zakresie i zaimplementowano w języku programowania C++ i Visual Basic 6.0. Współpracuje on z zainstalowaną kartą pomiarowo-sterującą i umożliwia:

- sterowanie zmianą parametrów funkcjonalnych stanowiska,
- pełną kontrolę prowadzonego procesu pomiarowego,
- rejestrowanie obrazów oraz ich cyfrową obróbkę,
- wizualizację, archiwizację oraz eksport wyników do arkusza kalkulacyjnego Excel.

Na rys. 3 przedstawiono ekran główny programu.

Zaprezentowana metoda oceny poprzecznego opadu cieczy jest wykorzystywana na stanowisku pomiarowym, które umożliwia prowadzenie badań procesu oprysku w sposób zautomatyzowany za pośrednictwem wymienionego programu komputerowego, a wykonywane czynności sprowadzają się do:

- włączenia zasilania głównego i otwarcia zaworu doprowadzającego ciecz roboczą (wodę) do modułu dozowania,
- ustawienia wymaganych wartości parametrów funkcjonalnych (wysokości i kąta belki, ciśnienia cieczy roboczej lub amplitudy i częstotliwości zmian tych wielkości). Możliwe jest również załadowanie tzw. „scenariusza badań” (serii pomiarów) z odpowiednio przygotowanego pliku tekstowego,

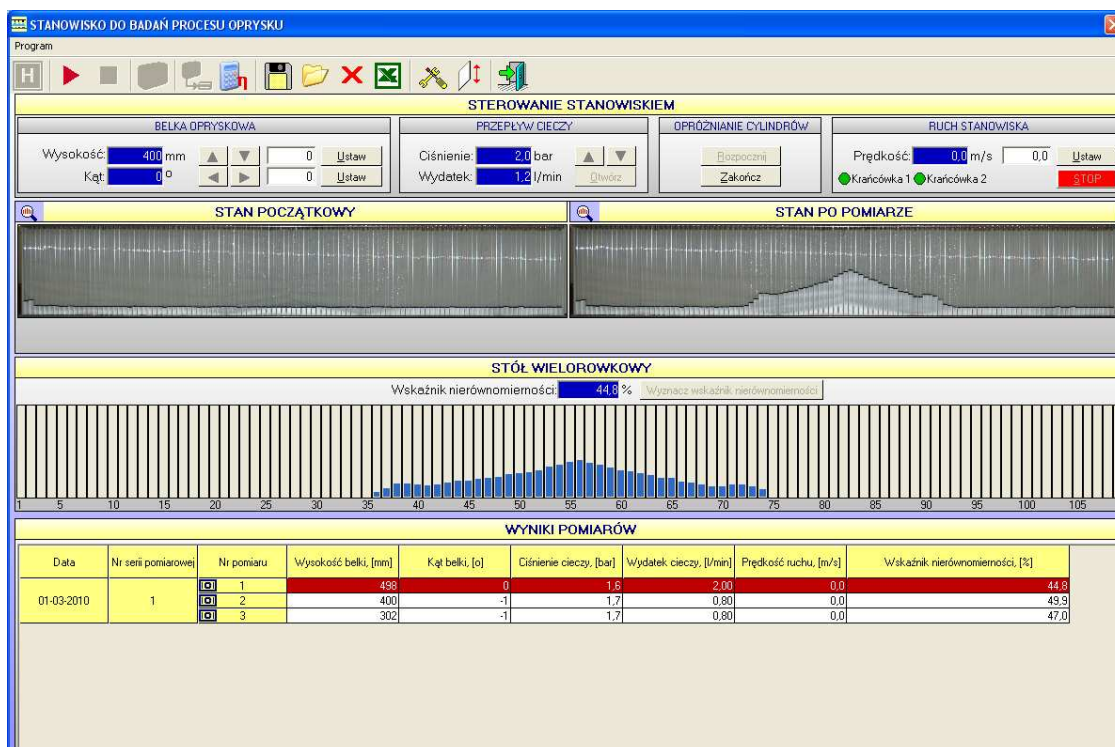
- przed rozpoczęciem pomiaru rejestrowany jest obraz stanu początkowego cylindrów pomiarowych,
- rozpoczęcie pomiaru polega na otwarciu głównego elektrozaworu modułu dozowania cieczy, a po ustabilizowaniu się nastawionego ciśnienia – otwarciu elektrozaworu odcinającego dopływ cieczy do rozpylacza. Czas trwania pomiaru jest automatycznie dobierany tak, aby nie została przekroczona maksymalna pojemność cylindra pomiarowego,
- zakończenie pomiaru polega na zamknięciu elektrozaworu (lub elektrozaworów) odcinającego dopływ cieczy do rozpylacza, zarejestrowaniu obrazu z wypełnionymi cieczą cylindrami pomiarowymi, a następnie ich opróżnieniu,
- po zakończeniu przewidywanej serii pomiarów następuje przesłanie zarejestrowanych obrazów na dysk komputera i ich analiza w celu wyznaczenia poprzecznego opadu cieczy.

4. Wyniki testowych badań laboratoryjnych oceny poprzecznego opadu cieczy z wykorzystaniem opracowanej metody

Badania testowe wykonano dla losowego rozpylacza płaskostrumieniowego oznaczonego symbolem F110/1,2/3 110°–SF–03 firmy Sprays International Ltd. Rozpylacze tego typu są stosowane w wielu konstrukcjach opryskiwaczy polowych i charakteryzują się korzystnymi walorami użytkowymi i wysoką jakością pracy. Wyznaczono przykładowe zależności charakteryzujące wpływ na wartości wskaźnika poprzecznej nierównomierności następujących czynników [8]:

- wysokości ustawienia rozpylacza nad stołem pomiarowym przy ustalonym ciśnieniu cieczy,
- ciśnienia cieczy przy ustalonej wysokości ustawienia rozpylacza nad stołem pomiarowym.

Uzyskane wyniki przedstawiono w tab. 1 i 2 oraz w formie graficznej na rys. 4 i 6.



Źródło: opracowanie własne / Source: own study

Rys. 3. Ekran główny programu komputerowego
Fig. 3. The main computer screen

Tab. 1. Wyniki badań laboratoryjnych dla ciśnienia cieczy 2 [bar]

Table 1. Laboratory tests results for the liquid pressure 2 [bar]

L.p.	Wysokość rozpylacza nad stołem pomiarowym, [mm]	Wartość wskaźnika poprzecznej nierównomierności, [%]
1	200	51,1
2	300	50,1
3	400	48,5
4	500	47,3
5	600	44,8
6	700	42,4

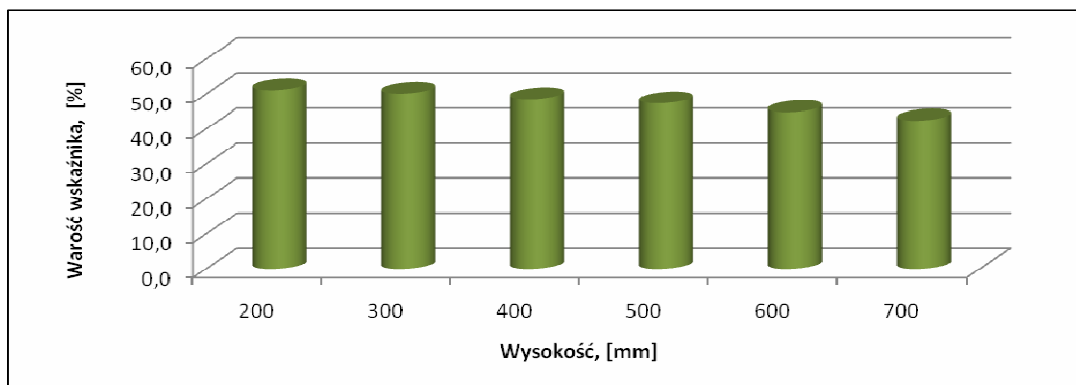
Źródło: opracowanie własne / Source: own study

Tab. 2. Wyniki badań laboratoryjnych dla wysokości rozpylacza nad stołem pomiarowym 400 [mm]

Table 2. Results of laboratory tests for the nozzle height above the measuring table 400 [mm]

L.p.	Ciśnienie cieczy, [bar]	Wartość wskaźnika poprzecznej nierównomierności, [%]
1	2,0	48,5
2	1,8	49,4
3	1,6	51,8
4	1,4	54,2
5	1,2	55,9
6	1,0	56,6
7	0,8	56,9

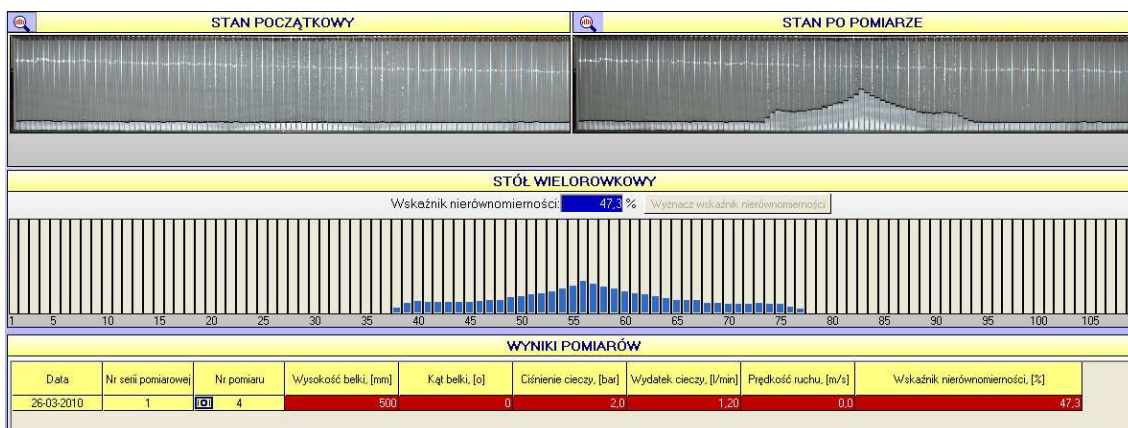
Źródło: opracowanie własne / Source: own study



Źródło: opracowanie własne / Source: own study

Rys. 4. Wykres zależności wskaźnika poprzecznej nierównomierności od wysokości rozpylacza nad stołem pomiarowym

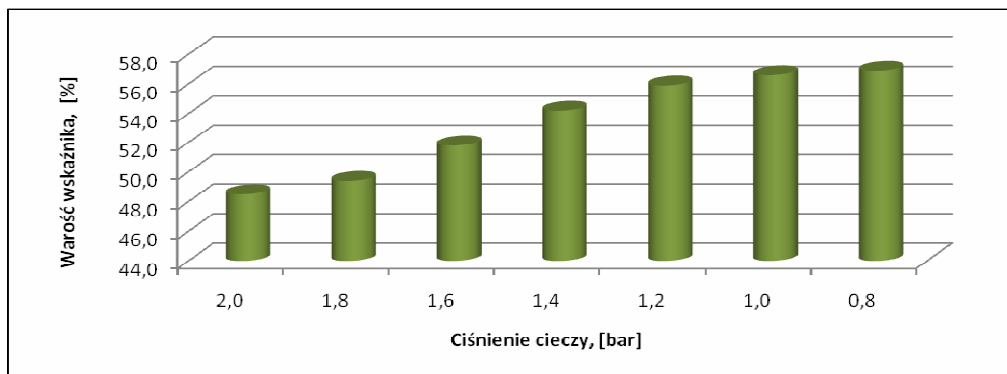
Fig. 4. The chart of dependence of transverse non-uniformity indicator on the nozzle height above the measuring table



Źródło: opracowanie własne / Source: own study

Rys. 5. Przykładowy zrzut ekranu dla wysokości rozpylacza nad stołem pomiarowym 500 [mm] i ciśnienia cieczy 2 [bar]

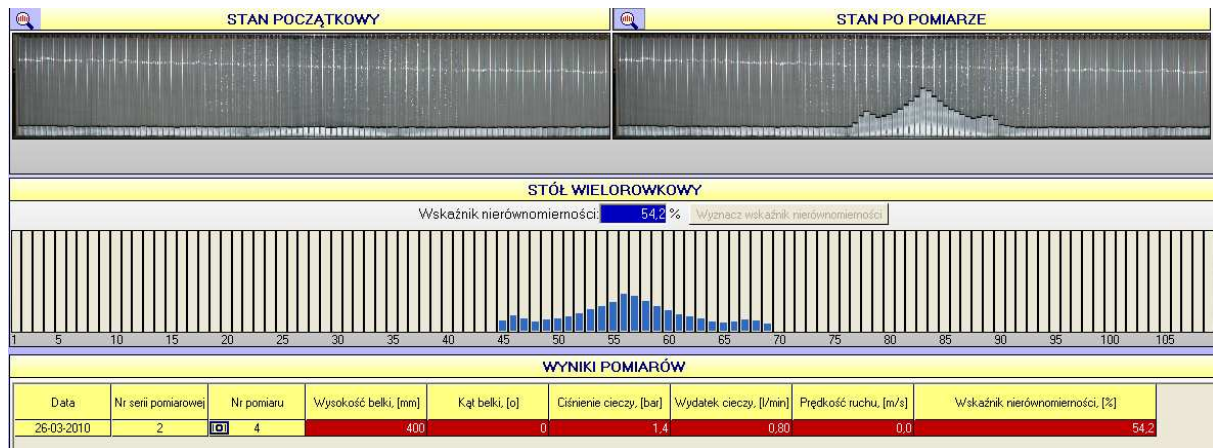
Fig. 5. Example of the screenshot for the nozzle height above the measuring table 500 [mm] and liquid pressure 2 [bar]



Źródło: opracowanie własne / Source: own study

Rys. 6. Wykres zależności wskaźnika poprzecznej nierównomierności od ciśnienia cieczy

Fig. 6. The chart of dependence of transverse non-uniformity indicator on the fluid pressure



Źródło: opracowanie własne / Source: own study

Rys. 7. Przykładowy zrzut ekranu dla ciśnienia cieczy 2 [bar] i wysokości rozpylacza nad stołem pomiarowym 400 [mm]
 Fig. 7. Example of the screenshot for liquid pressure 2 [bar] and nozzle height above the measuring table 400 [mm]

5. Podsumowanie

Analiza wyników badań testowych wykazała ich zgodność z wynikami wcześniejszych badań laboratoryjnych prowadzonych w Instytucie Inżynierii Mechanicznej, a także z wynikami uzyskanymi w innych ośrodkach naukowych. Potwierdza to przydatność zautomatyzowanego stanowiska laboratoryjnego i opracowanej metody oceny poprzecznego rozkładu cieczy do prowadzenia prac naukowych z zakresu problematyki dotyczącej opryskiwaczy polowych i ich procesów roboczych. Kilkunastokrotnie skrócona została czasochłonność prowadzonych badań, a uzyskana wysoka dokładność wyników znacznie zwiększyła możliwości badawcze. Dalsze prace naukowe z omawianego zakresu przy wykorzystaniu zautomatyzowanego stanowiska laboratoryjnego i opracowanej metody zmierzają będą w następujących kierunkach:

- wyznaczenia ilościowych charakterystyk opisujących wpływ parametrów opryskiwacza na jakość oprysku, przydatnych układach automatycznego sterowania i kontroli z użyciem komputera pokładowego,
- projektowania nowych konstrukcji rozpylaczy, belek opryskowych i opryskiwaczy dla zapewnienia jak najmniejszej wartości wskaźnika poprzecznej nierównomierności oprysku. Możliwe jest teoretyczne przeanalizowanie rozmaitych wariantów rozwiązań konstrukcyjnych (przy ograniczonym udziale badań laboratoryjnych),
- racjonalnego rozmieszczenia rozpylaczy na belce opryskowej (ze względu na wartości ich parametrów funkcjonalnych) w procesie użytkowania opryskiwaczy przy kryterium minimalizacji nierównomierności oprysku,

- wyznaczenia dopuszczalnych zakresów wartości parametrów funkcjonalnych rozpylaczy (montowanych na belce) ze względu na uzyskiwane wartości wskaźnika poprzecznej nierównomierności oprysku, spełniające wymagania norm,
- identyfikowania innych czynników mogących istotnie wpływać na jakość oprysku.

6. Bibliografia

- [1] Łodwik D.: Modelowanie ruchu kropli w aspekcie symulacji oprysku. Rozprawa doktorska. PW WBMiP, Płock, 1998.
- [2] Pietrzyk J.: Metoda szacowania nierównomierności oprysku. Rozprawa doktorska. PW WBiMR, Płock, 1995.
- [3] Michalak G.: Wpływ parametrów funkcjonalnych rozpylaczy na jakość oprysku. Rozprawa doktorska. PW WBiMR, Płock, 2003.
- [4] Norma ISO 5681: Equipment for crop protection – Vocabulary, 1992.
- [5] [5] Norma ISO 5682-1: Equipment for crop protection - Spraying equipment - Part 1: Test methods for sprayer nozzles, 1996,
- [6] Norma PN-ISO 5682-2: Sprzęt do ochrony roślin. Urządzenia opryskujące. Część 2: Metody badań opryskiwaczy hydraulicznych, 2005.
- [7] Parafiniuk S., Sawa J., Wołos D.: Automatyczne urządzenie do oceny stanu technicznego rozpylaczy rolniczych. Postępy Nauki i Techniki nr 10, str. 37-49, Lublin 2011.
- [8] Łodwik D., Pietrzyk J.: Metodyka badań rozpylaczy płaskostrumieniowych na zautomatyzowanym stanowisku laboratoryjnym, Sprawozdanie z wykonania statutowej pracy badawczej. PW WBMiP, Płock, 2011.
- [9] Orzechowski Z., Prywer J.: Wytwarzanie i zastosowanie rozpylonej cieczy. WNT, Warszawa 2008.