

Seweryn LIPIŃSKI¹, Adam J. LIPIŃSKI²

UNIWERSYTET WARMIŃSKO MAZURSKI W OLSZTYNIE, WYDZIAŁ NAUK TECHNICZNYCH

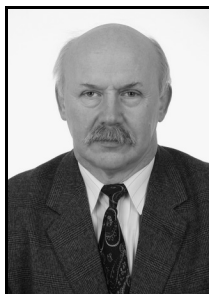
¹KATEDRA ELEKTROTECHNIKI I ENERGETYKI, ul. Oczapowskiego 11, 10-719 Olsztyn

²KATEDRA MASZYN ROBOCZYCH I PROCESÓW SEPARACJI, ul. Oczapowskiego 11, 10-719 Olsztyn

Zastosowanie morfologicznego przetwarzania obrazu do ekstrakcji informacji o wielkości kropli z użyciem papieru wodnoczułego

Dr hab. inż. Adam J. LIPIŃSKI

Absolwent Wydziału Mechanicznego Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie. Aktualnie zatrudniony w Katedrze Maszyn Roboczych i Procesów Separacji Wydziału Nauk Technicznych Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, na stanowisku profesora. Zainteresowania naukowe koncentrują się wokół zagadnień związanych z techniką rolniczą, szczególnie z techniką ochrony roślin.



e-mail: adam.lipinski@uwm.edu.pl

Mgr inż. Seweryn LIPIŃSKI

Absolwent Wydziału Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej. Zatrudniony jako pracownik naukowo-dydaktyczny w Katedrze Elektrotechniki i Energetyki Wydziału Nauk Technicznych Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Zainteresowania naukowe obejmują modelowanie i optymalizację systemów i procesów oraz zastosowania metod przetwarzania sygnałów i obrazów w wielu dziedzinach, m.in. rolnictwie i medycynie.



e-mail: seweryn.lipinski@uwm.edu.pl

Streszczenie

Papierki wodnoczułe są powszechnie wykorzystywane przy ocenie pokrycia różnych powierzchni cieczą, w wielu zastosowaniach. Na jakościową ocenę pokrycia znaczący wpływ mają rejestrowane średnice kropli. W pracy zaimplementowano operacje morfologicznego i arytmetycznego przetwarzania obrazu w celu rozróżnienia wielkości kropli ze skanów papierków wodnoczułych, podziału tego obrazu na obrazy zawierające krople o średnicach mieszczących się w określonych zakresach i utworzenia histogramów pozwalających scharakteryzować pokrycie papierka wodnoczułego.

Słowa kluczowe: papier wodnoczuły, jakość oprysku, średnica kropli, morfologiczne przetwarzanie obrazu.

Application of morphological image processing to extraction of information about the droplet size using water sensitive paper

Abstract

Water sensitive paper is often used to evaluate the quality of covering the area with liquid in many applications [3, 4, 5, 6, 7, 8]. The paper proposes using the chosen image processing methods to obtain information about the droplet diameter from scans of water sensitive papers. For that purpose, arithmetic and morphological operations are employed (Section 2) [15, 19, 20]. The general procedure of extracting the images containing the droplets with diameters of specified classes from the input data is shown (Section 3, Fig. 2). Water sensitive paper is most often used to characterize the plant spraying quality, so the papers obtained during field experiments [7] (after the binarization using the Otsu method [9, 17]) were used as the exemplary input images (Figs. 1 and 5). On the basis of the performed analysis, the histograms illustrating quantitative distribution of droplets with diameter contained in chosen classes (Figs. 3 and 5) and the histograms showing the area covered with droplets from each of these classes (Figs. 4 and 7) were obtained. Histograms like these can be used for characterization of the spraying quality or its usefulness in specific application [10]. The proposed method makes use of efficient methods of image processing, which predestines it for implementation in real time systems [15, 16].

Keywords: water sensitive paper, spraying quality, droplet diameter, morphological image processing.

1. Wstęp

Papierki wodnoczułe są często wykorzystywane do oceny (kontroli) pokrycia powierzchni cieczą, przede wszystkim z uwagi na to, że jest to metoda prosta, szybka i stosunkowo tania. Jej dodatkową zaletą jest ocena sposobu pokrycia powierzchni cieczą w zakładanym miejscu docelowym, w odróżnieniu od kosztownych i złożonych obliczeniowo metod charakteryzujących oprysk na podstawie obserwacji cieczy w locie [1, 2]. Metoda znajduje zastosowanie m.in. przy charakteryzowaniu opadów atmosferycznych [3], ocenie masowej aplikacji szczepienia drobiu metodą

aerozolową [4] i ocenie jakości oprysku (nawożenia) w uprawach leśnych, ogrodnictwie oraz wszelkiego rodzaju uprawach polowych [5, 6, 7, 8]. Podstawowym parametrem określanym w przypadku wyżej wymienionych zastosowań jest stopień pokrycia papierków wodnoczułych cieczą właściwą dla zastosowania tj. wodą, płynną szczepionką, środkiem ochrony roślin lub płynnym nawozem.

Należy jednak zauważyć, że stopień pokrycia nie zawsze odpowiada na pytania o pożądane cechy pokrycia papierka, jest to bowiem metoda jedynie ilościowa - określająca powierzchnię papierka pokrytą cieczą, nie mówiąca jednak nic o sposobie tego pokrycia, czyli przykładowo rozproszeniu kropeł, ich kształcie czy wymiarze. W poprzedniej publikacji [9] zaproponowane zostały pewne parametry pozwalające na ocenę jakościową oprysku roślin, takie jak współczynniki izotropii pokrycia oraz współczynniki zmienności pokrycia w pionie i poziomie. W każdym z wyżej wymienionych zastosowań istnieją przesłanki do wprowadzenia kolejnych parametrów możliwych do pozyskania z papierków wodnoczułych, powiązanych konkretnie z wielkością kropli. W przypadku charakteryzowania opadów atmosferycznych (lub sztucznego nawadniania upraw, przede wszystkim szklarniowych), celem jest przede wszystkim powiązanie wielkości kropli z erozją i uszczelnianiem gleby oraz głębokością wnikania w nią kropeł o określonej średnicy [3]. W przypadku szczepienia drobiu metodą aerozolową używanie kropli o średnicy mniejszej niż 5 µm może spowodować reakcję szczepionki z bakteriami (np. *E. coli*) tak gwałtowną, że skutkującą zespołem ogólnoustrojowej reakcji zapalnej (*sepsis*) u szczepionego drobiu [4]. Najczęściej jednak papierki wodnoczułe wykorzystuje się do charakteryzowania jakości oprysku roślin. Wielkość kropli ma tu znaczenie z dwóch podstawowych powodów. Pierwszym jest fakt, że istnieje zależność między wielkością kropli, a skutecznością oprysku w zwalczaniu konkretnego zagrożenia lub choroby [10, 11, 12, 13]. Drugi powód jest taki, że drobne krople są bardziej podatne na znoszenie, szczególnie przy wietrznej pogodzie [10, 14]. Zarówno w przypadku nawożenia jak i oprysków ochronnych znoszenie kropeł ma wpływ na straty spowodowane znoszeniem strumienia oprysku poza obszar chroniony (nawożony).

Uzasadnione wyżej powody były inspiracją do wprowadzenia metody, która pozwoli na wydobycie ze skanu papierka wodnoczułego informacji o wielkości kropeł go pokrywających. Zastosowanie do tego celu morfologicznych i arytmetycznych metod przetwarzania obrazu wynika z łatwości implementacji tego typu operacji w systemach czasu rzeczywistego przy stosunkowo niewielkim nakładzie obliczeniowym [15, 16]. Istniejące metody ekstrakcji informacji o wielkości kropli oprysku z papierków wodnoczułych są albo bardziej złożone, zarówno pod względem obliczeniowym jak i aparaturowym, wykorzystujące przykładowo analizę korelacji widma w dziedzinie częstotliwości [3], albo wymagające czynnego udziału człowieka w eksperymencie [4].

2. Materiał i metody

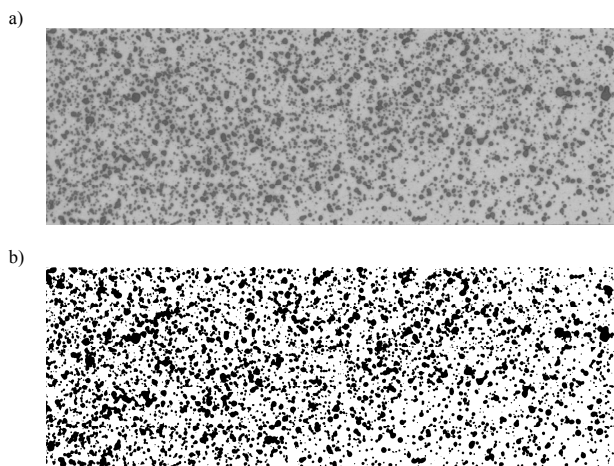
Wykorzystano papierki wodnoczułe (rys. 1 i 5) pozyskane w eksperymentach polowych przeprowadzonych w Zakładach Dydaktyczno-Doświadczalnych Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Papierek z rys. 1 został pozyskany w trakcie doświadczenia oprysku ziemniaków, natomiast papierek z rys. 5 podczas oprysku rzepaku. Użyte papierki mają wymiary 76 na 26 mm. Wymiar ten jest standardową wielkością papierka wodnoczułego, niezależnie od producenta. Papierki zostały zeskanowane do rozdzielczości 1200 dpi i formatu *.bmp. Wszystkie opisane obliczenia i operacje przetwarzania obrazu zostały wykonane przy pomocy oprogramowania *Matlab*.

2.1. Binaryzacja

Zaproponowana metoda ekstrakcji informacji o wielkości kropli z papierków wodnoczułych wykorzystuje dwie podstawowe operacje morfologiczne: erozję i dylatację. Podstawowe definicje operacji morfologicznych na obrazach odnoszą się do obrazów binarnych, dlatego też przed przetwarzaniem morfologicznym skany papierków muszą zostać zbinaryzowane [9, 17, 20].

Metoda automatycznego progowania Otsu jest jedną z najczęściej używanych metod binaryzacji obrazu [18, 19]. Próg binaryzacji w metodzie Otsu wyznaczany jest na podstawie minimalizacji wartości sumy ważonej wariancji dwóch klas zawartych w histogramie: tła i obiektu [18, 19]. Jak pokazano w publikacji [9], jej zastosowanie do celu binaryzacji papierków wodnoczułych jest uzasadnione: metoda ta prawidłowo rozróżnia obszary pokryte i niepokryte cieczą, nie dopuszczając do przeszacowania lub niedoszacowania powierzchni pokrytej cieczą.

Na rys. 1 pokazano przykładowy skan papierka wodnoczułego po oprysku (1a), oraz po binaryzacji (1b). Pozyskano obraz binarny, w którym „1” oznacza piksel tła (suchego papierka), a „0” piksel odpowiadający powierzchni pokrytej cieczą.



Rys. 1. Przykładowy skan papierka wodnoczułego po oprysku (a) i ten sam skan po binaryzacji metodą Otsu (b)

Fig. 1. Exemplary scan of water-sensitive paper after spraying (a) and the same scan after binarization using the Otsu method (b)

2.2. Przetwarzanie morfologiczne

Dylatacja i erozja to dwie podstawowe operacje morfologiczne. Operacje te wykorzystują następujące dane wejściowe: przetwarzany obraz i element strukturalny, który jest macierzą definiującą kształt i rozmiar sąsiedztwa przetwarzanego piksela. Poprzez dobór kształtu i rozmiaru elementu strukturalnego można wpływać na czułość operacji morfologicznych na odpowiednie kształty mogące pojawić się w przetwarzanym obrazie [15, 19, 20].

Erozję obrazu binarnego B elementem strukturalnym S definiuje się następująco [19, 20]:

$$B \otimes S = \{x, y : S_{x,y} \subseteq B\}. \quad (1)$$

Dylatację obrazu binarnego B elementem strukturalnym S definiuje się następująco [19, 20]:

$$B \oplus S = \{x, y : S_{x,y} \cap B \neq \emptyset\}. \quad (2)$$

Podstawowym efektem erozji jest zubożenie brzegów dużych obiektów zawartych w przetwarzanym obrazie i eliminacja drobnych szczegółów obrazu. Dylatacja działa odwrotnie, zwiększa powierzchnię obiektów każdej wielkości zawartych w obrazie.

Operacje otwarcia i zamknięcia są złożeniami erozji i dylatacji, z użyciem tego samego elementu strukturalnego. Otwarcie to dylatacja poprzedzona erozją, natomiast zamknięcie to erozja poprzedzona dylatacją. Stosowanie operacji otwarcia i zamknięcia eliminuje główne wady erozji i dylatacji, tj. zmiany pola powierzchni obiektów zawartych w przekształcanych obrazach, zachowując podstawowe cechy pierwszej operacji ze złożenia [15, 20]. W zaproponowanej w artykule metodzie wykorzystujemy operację otwarcia, czyli operację definiowaną jako [19, 20]:

$$B \circ S = (B \otimes S) \oplus S. \quad (3)$$

3. Ekstrakcja obrazów zawierających krople określonej klasy wielkości

Podstawową cechą otwarcia morfologicznego jest usunięcie przez tę operację drobnych obiektów (szczeólów) obrazu, z zachowaniem zasadniczej części figury; może ono też rozłączyć niektóre obiekty z przewężeniami [15]. Zatem odpowiednio dobierając kształt elementu strukturalnego (odpowiadający kształtowi kropli oprysku), co w większości przypadków oznacza kształt dysku [3, 4, 10]) i nadając mu odpowiednią średnicę (wynikającą z rozdzielczości pozyskanych skanów papierków wodnoczułych i ich wymiarów geometrycznych), można usunąć z obrazu krople o średnicy poniżej założonego progu.

Dla rozdzielczości skanów papierków wodnoczułych wykorzystanych w artykule, każdy piksel średnicy elementu strukturalnego odpowiada 25 μm średnicy kropli.

Jeżeli założymy, że wynikiem operacji otwarcia obrazu I_1 z użyciem elementu strukturalnego S_1 (o średnicy d_1) jest obraz I_2 , to po wykonaniu operacji arytmetycznego odjęcia obrazu I_2 od I_1 powstanie obraz I_{K1} będący obrazem zawierającym krople o średnicy poniżej założonego pierwszego progu d_1 .

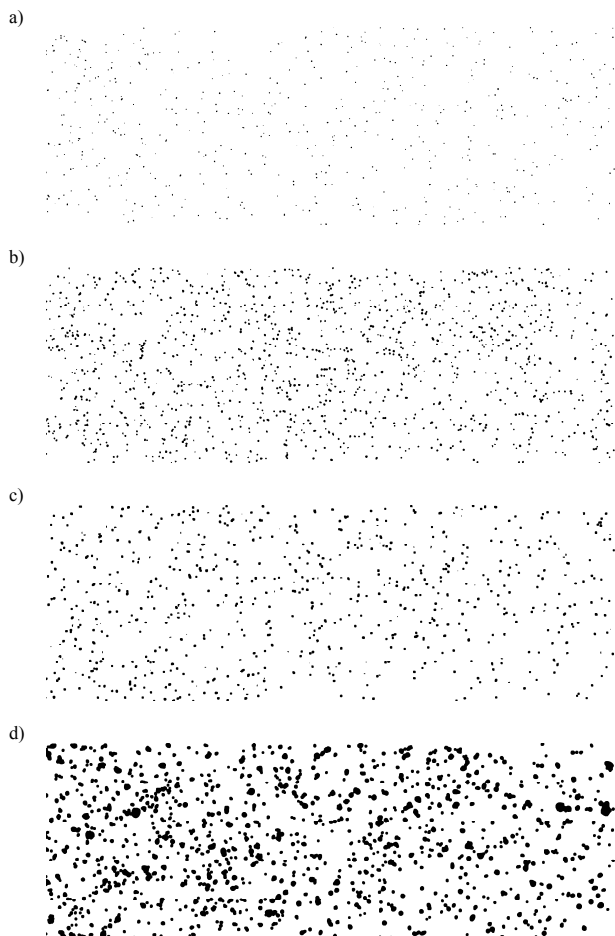
Po wykonaniu opisanej operacji dysponujemy obrazem I_2 , zawierającym tylko ślady kropli o średnicach przekraczającej wartość średnicy pierwszego użytego elementu strukturalnego. Jeżeli wykonamy na obrazie I_2 kolejną operację otwarcia, obiektem strukturalnym o średnicy $d_2 > d_1$, to z otrzymanego obrazu I_3 wyeliminowane zostaną krople o średnicy mniejszej niż d_2 , a wykonanie operacji arytmetycznego odjęcia obrazu I_3 od I_2 da nam obraz I_{K2} zawierający krople o średnicy mieszczącej się w zakresie od d_1 do d_2 .

Opisaną operację należy powtórzyć o raz mniej niż wybrana liczba przedziałów wielkości kropli. Ostatni otrzymany obraz I_N będzie obrazem zawierającym krople o średnicy przekraczającej średnicę ostatniego użytego elementu strukturalnego, czyli krople zawierające się w ostatnim przedziale wielkości kropli.

W przypadku oprysku ochronnego upraw polowych, zgodnie ze standardem ANSI/ASAE S-572 (*Spray Tip Classification by Droplet Size*), wyróżnia się klasy kropli o następujących średnicach [21]:

- bardzo drobne (*very fine - VF*) - do 100 μm ,
- drobne (*fine - F*) - od 100 do 175 μm ,
- średnie (*medium - M*) - od 175 do 250 μm ,
- grube (*coarse - C*) - od 250 do 375 μm ,
- bardzo grube (*very coarse - VC*) - od 375 do 450 μm ,
- ekstremalnie grube (*extremely coarse - EC*) - ponad 450 μm .

Powyższe wartości średnic kropeł przeliczone na średnicę dysku będącego elementem strukturalnym dają następujące średnice elementu strukturalnego: 4, 7, 10, 15 i 18 pikseli. Zgodnie z wcześniejszym opisem proponowane operacje morfologicznego przetwarzania obrazu należy zatem wykonać na obrazie z rys. 1b pięć razy, pozyskując w trakcie przetwarzania obrazy I_{Kn} , $n=1, 2, \dots, 5$, zawierające krople o średnicach ze zbiorów: VF , F , M , C i VC oraz obraz I_{K6} , zawierający krople ze zbioru EC , zgodnie z wcześniejszym opisem. Na rys. 2 pokazano wyekstrahowane z obrazu z rys. 1b opisaną metodą obrazy zawierające ślady kropeł ze zbiorów: M , C , VC oraz EC ; ślady kropeł ze zbiorów VF i F są zbyt drobne by ich prezentacja była celowa.

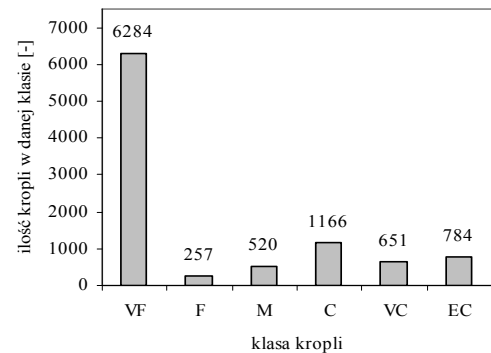


Rys. 2. Wyekstrahowane z przetwarzanego skanu obrazy zawierające krople o średnicach kwalifikujących je do zbiorów: M (a), C (b), VC (c) i EC (d)
Fig. 2. Images extracted from the processed scan containing droplets with diameters qualifying them to classes: M (a), C (b), VC (c) and EC (d)

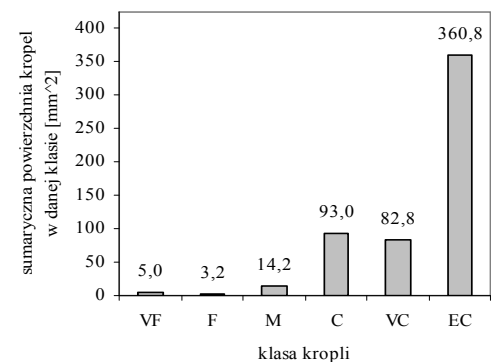
Na każdym pozyskanym obrazie I_{Kn} , $n=1, 2, \dots, N$ (w prezentowanym przypadku $N=6$), można wykonać operację indeksowania (etykietowania), której celem jest zliczenie kropeł o średnicy z zakresu właściwego dla każdego z obrazów. Etykietowanie zaimplementowano używając klasycznej techniki, polegającej na przeglądaniu badanego obrazu linia po linii - do momentu napotkania pierwszego piksela należącego do obiektu (czarnego). Pikselowi temu, oraz wszystkim sąsiadującym z nim pikselom obiektu nadaje się etykietę o wartości $e=1$, a następnie kontynuuje się przeglądanie macierzy obrazu, aż do napotkania kolejnego piksela obiektu. Po sprawdzeniu, że piksel ten nie został zaindeksowany wcześniej, nadaje mu się indeks o wartości o jeden większej od poprzednio nadawanej wartości indeksu.

Po zaetykietowaniu każdego z obrazów I_{Kn} , ostatnia nadana wartość indeksu w każdym z indeksowanych obrazów - E_{Kn} , równa jest zawartej w obrazie liczbie kropeł o średnicy mieszczącej się w danym zakresie. Dysponując zbiorem wartości E_{Kn} , $n=1, 2, \dots, N$ można stworzyć histogram pokazujący ilościowy rozkład kropeł o średnicach należących do każdej z klas.

Rozkład ilościowy kropeł we wcześniej określonych zbiorach dla przykładowego papierka - rys. 1, pokazano na rys. 3. Ponadto dla każdej z klas kropeł określono pole papierka pokryte kroplami o średnicy właściwej dla danej klasy, ponieważ dzięki określeniu obu tych parametrów (ilości kropeł i pola przez nie pokrytego), jesteśmy w stanie dokładnie scharakteryzować pokrycie papierka.

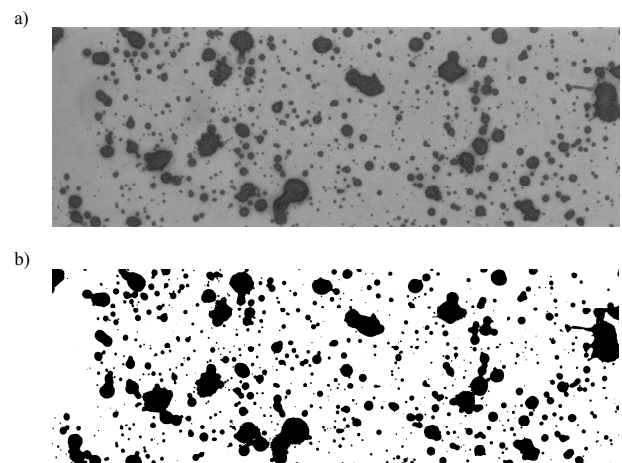


Rys. 3. Liczba kropeł w każdej z klas dla przetwarzanego papierka wodnoczułego
Fig. 3. The number of droplets in each class for the processed water sensitive paper

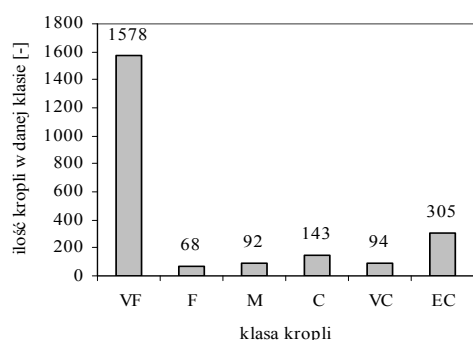


Rys. 4. Pole powierzchni przetwarzanego papierka wodnoczułego pokryte przez krople każdej z klas
Fig. 4. Area of the processed water sensitive paper covered with droplets of each class

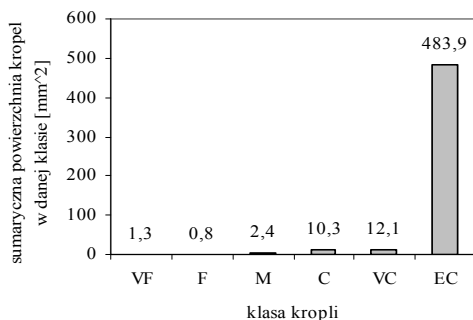
Dla celów porównawczych identyczne działania wykonano dla innego papierka wodnoczułego. Papierek wraz z jego wersją binarną pokazano na rys. 5, natomiast na rys. 6 i 7 pokazano histogramy analogiczne do tych z rys. 3 i 4.



Rys. 5. Drugi przykładowy skan papierka wodnoczułego po oprysku (a) i ten sam skan po binaryzacji metodą Otsu (b)
Fig. 5. Second exemplary scan of the water-sensitive paper after spraying (a) and the same scan after binarization using Otsu method (b)



Rys. 6. Liczba kropli w każdej z klas dla drugiego papierka wodnoczułego
Fig. 6. The number of droplets in each class for the second water sensitive paper



Rys. 7. Pole powierzchni drugiego papierka wodnoczułego pokryte przez krople każdej z klas
Fig. 7. Area of the second water sensitive paper covered with droplets of each class

4. Podsumowanie i wnioski

W artykule zaprezentowano zastosowanie metod morfologicznego i arytmetycznego przetwarzania obrazu do celu pozyskania informacji o wielkościach kropli pozyskanej ze skanów papierków wodnoczułych.

Zaletą opisanego algorytmu jest jego prostota, wynikająca z połączenia uznanej, często implementowanej w środowiska obliczeniowe, metody binaryzacji (Otsu) oraz łatwo implementowanych (oraz wydajnych obliczeniowo) metod przetwarzania obrazu, co predestynuje je do implementacji w systemach czasu rzeczywistego. Warto podkreślić, że o ile sam proces obliczeniowy oparty na opisanych metodach można stosunkowo prosto zaimplementować w środowisko czasu rzeczywistego [16], o tyle problemem do rozwiązania jest pozyskiwanie w czasie rzeczywistym obrazów papierków wodnoczułych. W projektowanym systemie najprawdopodobniej skanowanie zostanie zastąpione metodą fotograficzną uzupełnioną o metodę automatycznej ekstrakcji obszaru papierka wodnoczułego z pozyskanego obrazu (fotografii).

Pokazane obrazy cząstkowe zawierające krople danej klasy (rys. 2) pozwalają określić jakość oprysku poprzez ocenę wizualną. Dotyczy to jednak tylko kropli z klas *M* i wyższych. Udział w oprysku kropli z klas *F* i *VF* jako słabo lub w ogóle niewidocznych okiem nieuzbrojonym musi być szacowany na podstawie obliczonych histogramów. Jak wynika z histogramów, dla obu badanych papierków udział kropli z klasy *VF* jest znaczący ilościowo, lecz szacowany jako pole powierzchni papierka pokryte kroplami klasy *VF*, jest w obu przypadkach niski. Niemniej zawsze warto szacować udział kropli klasy *VF* w oprysku, jako kropli najbardziej podatnych na znoszenie.

W odniesieniu do oceny jakości oprysku roślin, histogramy z rys. 3, 4, 6 i 7 pozwalają określić przydatność opryskiwacza w określonych zastosowaniach, przy określonych warunkach atmosferycznych, czy np. zweryfikować dane podane przez producenta badanego opryskiwacza (rozpylacza).

5. Literatura

- [1] Fantini E., Tognotti L., Tonazzini A.: Drop size distribution in sprays by image processing. *Computers & Chemical Engineering* 1990, 14(11), 1201-1211.
- [2] Tuck C.R., Butler M.C., Miller P.C.H.: Techniques for measurement of droplet size and velocity distributions in agricultural sprays. *Crop protection* 1997, 16(7), 619-628.
- [3] Cruvinel P.E., Vieira S.R., Crestana S., Minatel E.R., Mucheroni M.L., Neto A.T.: Image processing in automated measurements of raindrop size and distribution. *Computers and Electronics in Agriculture* 1999, 23, 205-217.
- [4] Pattison M., McMullin P., Bradbury J., Alexander D.: *Poultry Diseases*, Saunders Elsevier, 2008.
- [5] Fox R.D., Derksen R.C., Krause C.R., Cooper J.A., Ozkan H.E.: Visual and image system measurement of spray deposits using water-sensitive paper. *Applied Engineering in Agriculture* 2003, 19(5), 549-552.
- [6] Godyń A., Doruchowski G., Hołownicki R., Świechowski W.: A metod for verification of spray volume adapted to crop structure in orchards. 8th Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing. Barcelona 2005, 17-22.
- [7] Lipiński A.J., Choszcz D., Konopka S.: Ocena rozpylaczy do oprysku ziemniaków w aspekcie równomierności pokrycia roślin cieczą. *Inżynieria Rolnicza* 2007, 9(97), 135-141.
- [8] Porras Soriano A., Porras Soriano M.L., Porras Piedra A., Soriano Martín M.L.: Comparison of the pesticide coverage achieved in a trellised vineyard by a prototype tunnel sprayer, a hydraulic sprayer, an air-assisted sprayer and a pneumatic sprayer. *Spanish Journal of Agricultural Research* 2005, 3(2), 175-181.
- [9] Lipiński A.J., Lipiński S.: Automatyczna ocena jakości oprysku na podstawie śladów kropli przy użyciu komputerowej analizy obrazów. *Inżynieria Rolnicza* 2009, 5(114), 163-168.
- [10] Hołownicki R., Doruchowski G.: *Nowoczesna technika opryskiwania upraw polowych*. Wydawnictwo Plantpress, Kraków 2001.
- [11] Reed J.T., Smith D.B.: Droplet Size and Spray Volume Effects on Insecticide Deposit and Mortality of Heliothine (Lepidoptera: Noctuidae) Larvae in Cotton. *Journal of Economic Entomology* 2001, 94(3), 640-647.
- [12] Tsuda S., Nishibe I., Shinto G.: Effect of the Diameter of Spray Droplets on the Insecticidal Efficacy of Oil-based Aerosols. *Journal of Pesticide Science* 1987, 12, 483-489.
- [13] Washington J.R.: Relationship between the Spray Droplet Density of Two Protestant Fungicides and the Germination of *Mycosphaerella fijiensis* Ascospores on Banana Leaf Surfaces. *Pesticide Science* 1997, 50, 233-239.
- [14] Hewitt A.J.: Droplet size and agricultural spraying, part I: atomization, spray transport, deposition, drift and droplet size measurement techniques. *Atomization & Sprays* 1997, 7(3), 235-244.
- [15] Tadeusiewicz R., Korohoda P.: *Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów*, Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji, Kraków 1997.
- [16] Tickle A.J., Smith J.S., Wu Q.H.: Development of Morphological Operators for Field Programmable Gate Arrays. *Journal of Physics: Conference Series* 2007, 76(1), 12-28.
- [17] Panetton B.: Image Analysis of Water-Sensitive Cards for Spray Coverage Experiments. *Applied Engineering in Agriculture* 2002, 18(2), 179-182.
- [18] Sezgin M., Sankur B.: Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation. *Journal of Electronic Imaging* 2004, 13(1), 146-165.
- [19] Shapiro L.G., Stockman G.: *Computer Vision*, Prentice Hall, New Jersey 2001.
- [20] Dougherty E.R., Lotufo R.A.: *Hands-on Morphological Image Processing*, SPIE Press, Washington 2003.
- [21] ANSI/ASAE S-572 standard - Spray Tip Classification by Droplet Size.