

Evaluation of the spectrum of drops produced in the aspect of the outlet hole geometry

Ocena spektrum wytwarzanych kropli w aspekcie geometrii otworu wylotowego dysz płaskostrumieniowych



Three groups of flat jet nozzles from different manufacturers were analyzed in terms of the dimensions of the outlet opening of nozzles to examine the effect of their dimensions on the size of drops produced in the spray spectrum. The spray spectrum tests were carried out on a station equipped with a 2D LDA/PDA laser Doppler anemometry analyzer. Significant differences in drop sizes were observed for nozzles from the same size group. The tests of microscopic examination of the nozzle outlet dimensions showed the dependence of the nozzle orifice shape, expressed by the ratio of its axis dimensions to the spray spectrum. An increase in the value of the axis dimensions ratio (expressed by the shape factor) caused decrease in the droplet diameters in the entire spray stream.

Keywords: sprayer, spray spectrum, microscopic examination, laser anemometers

Przeprowadzono analizę wpływu wymiarów otworu wylotowego dysz typu płaskostrumieniowego na wielkość wytwarzanych kropli w widmie rozpylania. Badania przeprowadzono w trzech grupach wymiarowych dysz różnych producentów. Zasadnicze badania widma rozpylania przeprowadzono na stanowisku wyposażonym w laserowy analizator anemometrii dopplerowskiej 2D LDA/PDA. Zaobserwowano znaczne rozbieżności w wielkościach kropli dla dysz w tej samej grupie wymiarowej. W celu wykrycia przyczyny takiego stanu wykonano badania mikroskopowe wymiarów wylotów dysz. Badania wykazały zależność kształtu otworu dyszy, wyrażonego stosunkiem wymiarów jego osi w odniesieniu do widma rozpylania. Stwierdzono, że wzrost wartości stosunku wymiarów osi (wyrażony współczynnikiem kształtu powoduje zmniejszenie średnic kropli w całym strumieniu rozpylania.

Słowa kluczowe: rozpylacz, widmo rozpylania, badania mikroskopowe, anemometria laserowa

Odpowiednie zastosowanie środka chemicznego, przede wszystkim jego rodzaj, właściwa aplikacja oraz ilość, zapewnia odpowiedni poziom zbiorów przy jednoczesnej minimalizacji skażenia środowiska naturalnego. Mimo rozwoju rolnictwa precyzyjnego¹⁾, nadal najbardziej popularną metodą nanoszenia środków chemicznych jest wykorzystywanie tradycyjnego opryskiwacza polowego²⁾. Głównymi elementami roboczymi opryskiwacza odpowiedzialnymi za prawidłowe nanoszenie środka chemicznego są rozpylacze³⁾. Dobór odpowiedniego rozpylacza jest niezwykle istotny⁴⁾. Wpływ na jego pracę mają takie parametry,

jak wilgotność powietrza w czasie zabiegu, temperatura otoczenia⁵⁾, rodzaj stosowanego środka chemicznego, wpływ wiatru⁶⁾, prędkość jazdy⁷⁾ i ciśnienie pracy. Podstawowe wymagania techniczne, jakie powinny spełniać opryskiwacze ciśnieniowe w zakresie sprawności i dystrybucji cieczy, zostały opisane w rozporządzeniu⁸⁾. Nie określa ono jednak kroplistości w zakresie widma rozpylania, które jest niezwykle ważne pod względem skuteczności nanoszonego oprysku^{9, 10)}. Zgodnie ze standardem ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers)¹¹⁾ rozmiary kropli podzielono na ekstremal-



Dr inż. Mariusz KOPROWSKI (ORCID: 0000-0001-7531-6606) w roku 2007 ukończył studia na Wydziale Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii Politechniki Warszawskiej w Płocku. W 2013 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych na tym samym wydziale. Jest adiunktem w Instytucie Inżynierii Mechanicznej PW w Płocku. Specjalność – budowa i eksploatacja maszyn.



Dr inż. Dariusz LODWIK (ORCID: 0000-0001-6008-8030) w roku 1993 ukończył studia na Wydziale Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii Politechniki Warszawskiej w Płocku. W 1998 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych na tym samym wydziale. Jest adiunktem w Instytucie Inżynierii Mechanicznej PW w Płocku. Specjalność – budowa i eksploatacja maszyn.

* Adres do korespondencji:

Instytut Inżynierii Mechanicznej, Politechnika Warszawska Filia w Płocku, ul. Łukasiewicza 17, 09-400 Płock, tel.: (24) 367-22-12, e-mail: mariusz.koprowski@pw.edu.pl

nie drobne (*extremely fine* < 60 μm), bardzo drobne (*very fine* 61–105 μm), drobne (*fine* 106–235 μm), średnie (*medium* 236–340 μm), grube (*coarse* 341–403 μm), bardzo grube (*very coarse* 404–502 μm), ekstremalnie grube (*extremely coarse* 503–665 μm) i ultragrube (*ultra coarse* > 665 μm). Napotkano wiele opracowań opisujących zależność rozkładu widma rozpylania w zależności od ciśnienia^{12, 13}, napięcia powierzchniowego cieczy oraz jej lepkości¹⁴. W literaturze występuje niewiele opracowań dotyczących wpływu kształtu otworu dyszy na widmo rozpylania.

Celem pracy było podjęcie próby zbadania zależności pomiędzy kształtem otworu dyszy a uzyskiwaną kropliwością charakteryzowaną widmem rozpylania.

Część doświadczalna

Charakterystyka badanych rozpylaczy

Charakterystykę techniczną badanych dysz płaskostrumieniowych przedstawiono w tabeli 1.

Metodyka badań i aparatura

Przeprowadzono cykl badań, w których wykorzystano trzy niezależne stanowiska pomiarowe. Natężenia wypływu (wydatku) zmierzono na stanowisku wyposażonym w przepływomierz z cyfrowym sygnałem wyjściowym o zakresie

Table 1. Technical characteristics of flat jet nozzles

Tabela 1. Charakterystyka techniczna dysz płaskostrumieniowych

Nazwa	Materiał rozpylacza	Zakres pracy, bar	Kąt rozpylania, °C	Rozmiar dyszy		
				02	03	04
TeeJETT P110	stal nierdzewna	2,0–4,0	110	0,8	1,2	1,6
Lechler ST110	poliacetal	2,0–5,0				
MMAT RS110		1,5–5,0				



Dr inż. Jerzy PIETRZYK (ORCID: 0000-0003-2493-4361) w roku 1989 ukończył studia na Wydziale Budownictwa i Maszyn Rolniczych Politechniki Warszawskiej w Płocku. W 1996 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych na Wydziale Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii tej samej uczelni. Jest adiunktem w Instytucie Inżynierii Mechanicznej PW w Płocku. Specjalność – budowa i eksploatacja maszyn.

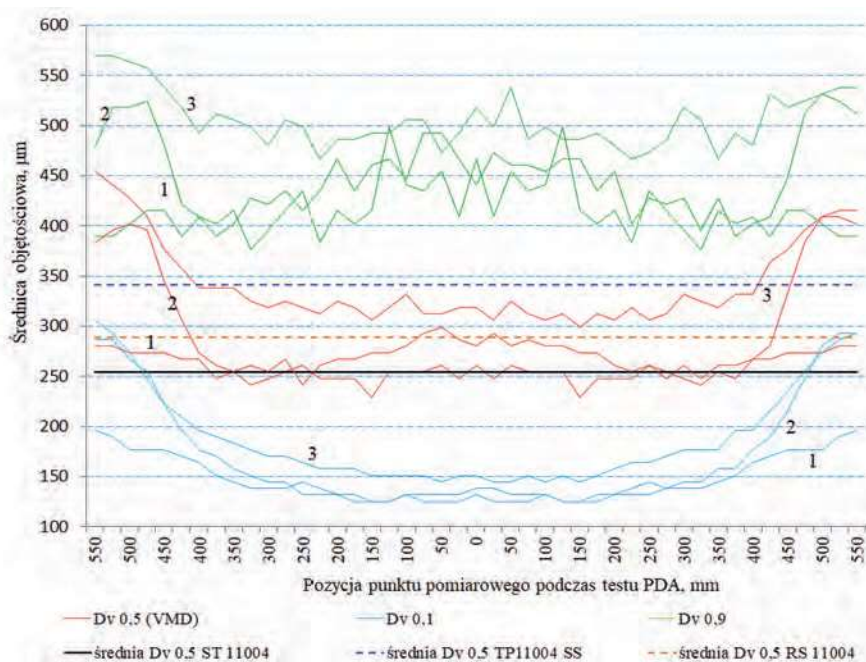


Fig. 1. Distribution of volumetric diameters measured at subsequent points of the PDA test (nozzle: 1 – Lechler ST11004, 2 – MMAT RS11004, 3 – TeeJet TP11004 SS)

Rys. 1. Rozkład średnic objętościowych zmierzonych w kolejnych punktach testu PDA (dysza: 1 – Lechler ST11004, 2 – MMAT RS11004, 3 – TeeJet TP11004 SS)

pomiarowym 0–6,5 L/min, przetworniki temperatury (cieczy i otoczenia), przetwornik wilgotności względnej i zawór odcinający dopływ cieczy z czasem reakcji < 0,1 s.

Badania widma rozpylania przeprowadzono, używając laserowego analizatora 2D LDA/PDA firmy Dantec Dynamics, wyposażonego w moduł rozpylający ciecz oraz przesuwany trawers 3D o rozdzielczość pozycjonowania 10 μm. W czasie badań optykę odbiorczą ustawiono pod kątem 43,5° w stosunku do wiązki lasera, dzięki czemu uzyskano dominację refrakcji trybu rozpraszania światła. W sondzie odbiorczej stosowano maski przesłony typu B (rozmiar kropli do 644,2 μm). Rozdzielczość pomiaru wynosiła ± 0,05 mm. Badania analizatorem przeprowadzono wzdłuż linii środkowej strugi rozpylonej cieczy jako pomiar wielopunktowy (w 45 punktach dla dysz o rozmiarze 04 oraz 35 punktach dla dysz o rozmiarach 02 i 03). Zdefiniowano kolejne położenia przestrzeni pomiarowej z wykorzystaniem siatki trawersu z krokiem 25 mm, w odległości 400 mm od otworu wylotowego dyszy. Kryterium zakończenia każdego kroku podczas testu był pomiar 10 tys. kropli lub czas pobierania próby $t = 120$ s. Warunki

środowiskowe w badaniach natężenia wypływu oraz widma rozpylania monitorowano w czasie pomiarów i utrzymano je na tym samym i stałym poziomie (ciśnienie 3 bar, rozpylano wodę o temp. $20 \pm 2^\circ\text{C}$, wilgotność względna powyżej 60%). Do oceny wykorzystano współczynniki widma rozpylania w postaci średnic objętościowych, poniżej których mniejsze krople stanowią 10, 50 i 90% całkowitej objętości (odpowiednio $Dv_{0,1}$, $Dv_{0,5}$, $Dv_{0,9}$).

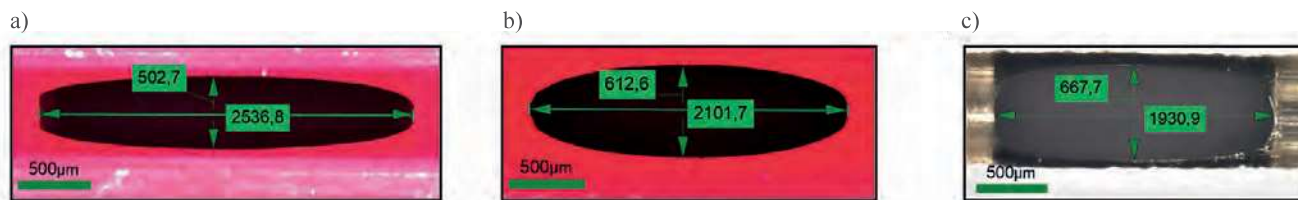


Fig. 2. Outlet opening dimensions (nozzle a) Lechler, b) MMAT, c) TeeJet)

Rys. 2. Wymiary otworu wylotowego (dysze: a) Lechler, b) MMAT, c) TeeJet)

Table 2. Summary of measurement data for nozzle size 04, 03, and 02

Tabela 2. Zestawienie danych pomiarowych dla rozmiaru dysz 04, 03 i 02

Rodzaj dyszy	Pole otworu, mm ²	Natężenie wypływu, L/min	Oś E1, mm	Oś E2, mm	$\Phi = E_1/E_2$	Dv0,1 µm	Dv0,5 µm	Dv0,9 µm
						wartości średnie dla widma kropli		
Dysze o rozmiarze 04								
TP 11004 SS	1,13	1,626	1931	667,7	2,89	189,0	341,8	506,1
RS 11004	1,06	1,540	2101,7	612,6	3,44	161,3	289	448,6
ST 11004	1,10	1,568	2537	502,7	5,04	141,4	254,1	418,2
Dysze o rozmiarze 03								
TP 11003 SS	0,87	1,216	1600	586,9	2,73	166,3	309,8	468,3
RS 11003	0,84	1,229	1794,9	544,5	3,29	137,8	249,5	401,7
ST 11003	0,87	1,252	2250,9	474,5	4,74	125,8	225,2	384,0
Dysze o rozmiarze 02								
TP 11002 SS	0,52	0,768	1322,9	439,3	3,01	133,0	239,7	389,0
RS 11002	0,49	0,757	1486,6	401,8	3,69	127,6	216,5	351,6
ST 11002	0,59	0,803	1714,1	429,8	3,98	127,3	215,9	351,1

Pomiary otworów wylotowych wykonano mikroskopem cyfrowym Zeiss – Smartzoom 5 o rozdzielczości pomiarowej obiektywu od 10,8 mm dla powiększenia 33× do 3,5 mm dla powiększenia 324×. Rozmiar otworu wylotowego dysz 02 mierzono z przybliżeniem 167×, 03 z przybliżeniem 135×, natomiast rozmiar 04 z przybliżeniem 115×. Wykonano pomiary pól powierzchni otworów wylotowych oraz długości osi symetrii poziomej i pionowej dla grupy dysz poddanych badaniu.

Wyniki badań i ich omówienie

Wyniki badań spektrum wytwarzanych kropli w odniesieniu do parametrów geometrycznych otworu wylotowego dla grupy dysz stanowiących przedmiot badań przedstawiono w tabeli 2 i na rys. 1–3.

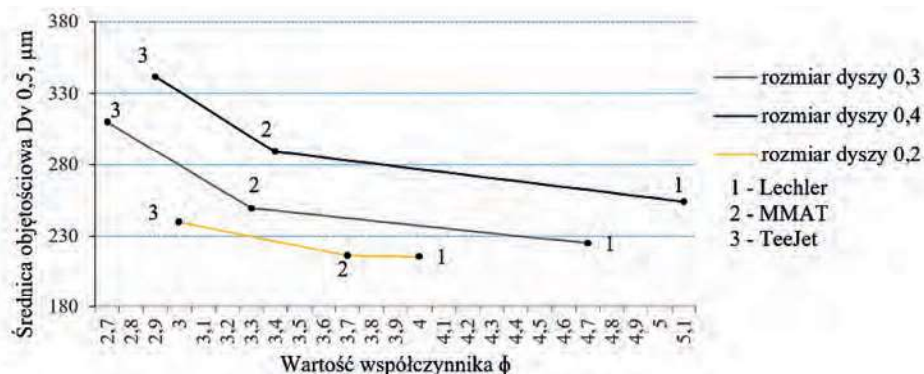


Fig. 3. Distribution of the volume median Dv0,5 as a function of the Φ coefficient

Rys. 3. Rozkład mediany objętościowej Dv0,5 w funkcji współczynnika Φ

Stwierdzono zmienność mediany objętościowej Dv0,5 w przypadku oddalania punktu pomiarowego od osi dyszy (rys. 1); dla dysz o rozmiarze 04: ST11004 w zakresie 240–280 µm, RS11004 w zakresie 280–409 µm, TP11004 SS w zakresie 312–454 µm; dla dysz o rozmiarze 03: ST11003 w zakresie 209–248 µm, RS11003 w zakresie 235–318 µm, TP11003 SS w zakresie 267–351 µm oraz dla dysz o rozmiarze 02: ST11002 w zakresie 209–231 µm, RS11002 w zakresie 202–267 µm, TP11002 SS w zakresie 222–254 µm. Odnotowano istotne względne różnice w wartościach mediany objętościowej Dv0,5 w grupach rozmiarowych badanych dysz. Zmiany zaobserwowano w kolejnych punktach pomiarowych testu, a także w postaci wartości średnich dla całego widma rozpylania. Szczegółne jest to, że zmiany odnotowano dla porównywalnych wartości pól otworów wylotowych oraz natężeń wypływów (wydatków), w każdej grupie rozmiarowej badanych dysz (tabela 2). Zaobserwowano istotną zmienność współczynników Φ wyznaczonych jako stosunek zmierzonych osi E1, E2 otworów wylotowych (interpretacja pomiaru dla rozmiaru dysz 04, rys. 2). Dla każdej grupy badanych dysz zaobserwowano wzrost wielkości średnic kropli w widmie rozpylania w przypadku malejących wartości Φ (rys. 3).

W grupie dysz 04: dla TP11004 SS otrzymano Dv0,5 = 341,8 µm

dla wartości współczynnika $\Phi = 2,89$; dla RS11004 otrzymano $Dv_{0,5} = 289 \mu\text{m}$ dla wartości współczynnika $\Phi = 3,44$; dla ST11004 otrzymano $Dv_{0,5} = 254,1 \mu\text{m}$ dla wartości współczynnika $\Phi = 5,04$. Odnotowano względną różnicę $Dv_{0,5} = 53 \mu\text{m}$ dla dysz TP11004 SS i RS11004, $Dv_{0,5} = 87 \mu\text{m}$ dla dysz TP11004 SS i ST11004 oraz $Dv_{0,5} = 35 \mu\text{m}$ dla dysz RS11004, ST11004.

W grupie dysz 03: dla TP11003 SS otrzymano $Dv_{0,5} = 309,8 \mu\text{m}$ dla wartości współczynnika $\Phi = 2,73$; dla RS11003 otrzymano $Dv_{0,5} = 249,5 \mu\text{m}$ dla wartości współczynnika $\Phi = 3,29$; dla ST11003 otrzymano $Dv_{0,5} = 225,2 \mu\text{m}$ dla wartości współczynnika $\Phi = 4,74$. Odnotowano względną różnicę $Dv_{0,5} = 60 \mu\text{m}$ dla dysz TP11003 SS i RS11003, $Dv_{0,5} = 85 \mu\text{m}$ dla dysz TP11003 SS i ST11003 oraz $Dv_{0,5} = 24 \mu\text{m}$ dla dysz RS11003 i ST11003.

W grupie dysz 02: dla TP11002 SS otrzymano $Dv_{0,5} = 239,7 \mu\text{m}$ dla wartości współczynnika $\Phi = 3,01$; dla RS11002 otrzymano $Dv_{0,5} = 216,5 \mu\text{m}$ dla wartości współczynnika $\Phi = 3,69$; dla ST11002 otrzymano $Dv_{0,5} = 215,9 \mu\text{m}$ dla wartości współczynnika $\Phi = 3,98$. Odnotowano względną różnicę $Dv_{0,5} = 23 \mu\text{m}$ dla dysz TP11002 SS i RS11002 i $Dv_{0,5} = 24 \mu\text{m}$ dla dysz TP11002 SS i ST11002. Otrzymano niemal identyczne wartości $Dv_{0,5}$ dla dysz RS11002 i ST11002.

Zaobserwowano istotną relację pomiędzy wartością współczynnika Φ a wielkością średnic kropli. Im większe różnice występowały pomiędzy współczynnikami Φ w grupach rozmiarowych dysz, tym większe różnice odnotowano w średnicach kropli opisanych parametrami widma rozpylania.

Podsumowanie

Badania umożliwiły wyznaczenie zależności pomiędzy kroplistością w widmie rozpylania a geometrią otworu

wylotowego dyszy. Pomiary jednostkowego natężenia wypływu dla wszystkich rozpylaczy mieściły się w przedziale $\pm 5\%$ wartości nominalnej dla każdej badanej grupy. Badania widma rozpylania wykazały istotne różnice pomiędzy wartościami mediany objętościowej $Dv_{0,5}$ oraz $Dv_{0,1}$ i $Dv_{0,9}$ dla grup dysz o tych samych rozmiarach. Największe różnice w wynikach badań zaobserwowano dla dysz o rozmiarze 04, następnie dla 03, najmniejsze natomiast dla dysz o rozmiarze 02. Przeprowadzone pomiary mikroskopowe osi $E1$ i $E2$ otworu wylotowego wykazały istotne różnice w ich wartościach, w tych samych grupach dysz. Stwierdzono, że wzrost współczynnika Φ w istotny sposób wpływa na wartość mediany objętościowej.

Otrzymano: 23-09-2024

Zrecenzowano: 16-10-2024

Zaakceptowano: 22-10-2024

Opublikowano: 20-11-2024

LITERATURA

- [1] B. Berner, J. Chojnacki, *Techn. Roln. Ograd. Leśna* 2017, nr 2, 23.
- [2] P.A. Kluza, R.P. Kluza, *Acta Sci. Pol. Tech. Agraria* 2017, **16**, nr 1–2, 35.
- [3] C.R. Chethan, P.K. Singh, R.P. Dubey, S. Singhariya, V.K. Choudhary, *Indian Farming* 2018, **68**, nr 12, 28.
- [4] R."B" Grisso, S.D. Askew, D. McCall, *Virgin. Cooperat. Ext.* 2019, 442–032.
- [5] Ł. Sobiech, R. Idziak, G. Skrzypczak, *Przem. Chem.* 2018, **97**, nr 8, 1325.
- [6] D. Lodwik, J. Pietrzyk, *TEKA Komisji Motoryzacji Energetyki Rolnictwa*, 2017, **17**, nr 1, 65.
- [7] D. Lodwik, J. Pietrzyk, *J. Res. Appl. Agric. Eng.* 2013, **58**, 103.
- [8] Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 7 marca 2013 r. w sprawie badań technicznych opryskiwaczy, *Dz.U.* 2013, poz. 416.
- [9] A.J. Hewitt, *Crop Protec.* 2008, **27**, nr 9, 1284.
- [10] D. Nuytens, K. Baetens, M. De Schampheleire, B. Sonck, *Biosystems Eng.* 2007, **97**, 333.
- [11] ASAE S572.1:2009, *Spray nozzle classification by droplet spectra*.
- [12] E. Cerruto, G. Manetto, R. Papa, D. Longo, *Appl. Sci.* 2021, **11**, 9283.
- [13] J. Liao, X. Luo, P. Wang, Z. Zhou, Ch.C. O'Donnell, Y. Zang, A.J. Hewitt, *Agronomy* 2020, **10**, 256.
- [14] M. Milanowski, A. Subr, M. Combrzyński, M. Różańska-Boczula, S. Parafiniuk, *Appl. Sci.* 2022, **12**, 5821.



Polub nas na Facebooku

facebook.com/przemyslchemiczny/