

## WORKING AND PRODUCTION CHARACTERISTICS OF SELECTED FLAT FAN NOZZLES

### Summary

The results of droplet size and working stability for selected flat fan nozzles available in Poland were presented.

**Key words:** flat-stream-oriented sprayers; technical characteristics; plant protection products; atomization; quality; wear; laboratory experimentation

## CHARAKTERYSTYKA UŻYTKOWA I PRODUKCYJNA WYBRANYCH ROZPYLACZY PŁASKOSTRUMIENIOWYCH

### Streszczenie

Przedstawiono jakość i stabilność pracy wybranych rozpylaczy płaskostrumieniowych, dostępnych w Polsce.

**Słowa kluczowe:** rozpylacze płaskostrumieniowe; charakterystyka techniczna; środki ochrony roślin; rozpylanie; jakość; zużycie; badania laboratoryjne

### 1. Wprowadzenie

W Polsce wymogi techniczne stawiane rozpylaczom stosowanym w rolnictwie ograniczają się do zakresu objętego okresowymi badaniami technicznymi opryskiwaczy [31]. Obowiązują bardzo liberalne przepisy, dotyczące parametrów dozowania cieczy: rozrzut wydatku jednostkowego  $q_r \leq \pm 5\% q_{sr}$  (l/min) [28] i współczynnik nierównomierności poprzecznego rozkładu cieczy -  $CV \leq 10\%$  [31]. Nie wszystkie rozpylacze dostępne w Europie [3], [8], [18], [27], spełniają podstawowe wymagania [1], [17], [31], dla wielu z nich, nie są dostępne żadne parametry. Potrzebne są zaawansowane badania charakterystyk aparatury do stosowania środków ochrony roślin (ś.o.r.) szczególnie rodzimej produkcji, gdyż ta dominuje.

Zbyt duże krople mogą osiadać na podłożu lub ściekać z roślin [5], [10], [21] wywołując straty i skażenie środowiska, oraz nadmierną ilość pozostałości ś.o.r. w płodach rolnych [6], a nawet fitotoksyczność, co jest wadą rozpylaczy eżektorowych [40]. Dzięki informacjom o rozpylaczach, możliwe będzie bardziej racjonalne wykorzystanie ś.o.r. (niższe dawki i zmniejszenie ich zużycia). Dzięki niższym dawkom wody, stężenie ś.o.r. w cieczy roboczej może być wyższe, a za tym skuteczność biologiczna i wydajność sprzętu (wyższe prędkości oraz mniej transportu wody). O jakości pracy i powtarzalności produkcyjnej rozpylaczy świadczy m.in. współczynnik jednorodności rozpylenia  $RS = (D_{v90} - D_{v10}) \cdot D_{v50}^{-1}$  (Relative Span) [3]. Odchylenie standardowe ( $\sigma$ ) parametrów pracy rozpylaczy z różnych gniazd form wtryskowych pozwala ocenić stopień rozrzutu ich charakterystyk. Jakość rozpylaczy weryfikują także: rozrzut wydatków jednostkowych  $q_r$  (l/min), rozkład poprzeczny cieczy mierzony na belce za pomocą CV (%) [20] i symetria strumieni. Jakość rozpylenia oceniana jest zazwyczaj medianą objętościową: VMD (*Volume Median Diameter*). Połowa objętości cieczy względem VMD ( $D_{v50}$ ) rozpylona jest na krople mniejsze, a połowa na większe. Wskaźnik ten niewiele mówi o potencjale strat. Wg klasyfikacji z użyciem VMD (BCPC), rozróżnia się następujące klasy: bardzo drobne:  $<130 \mu m$  - Very Fine (VF), drobne:

130-190  $\mu m$  - Fine (F), średnie: 190-230  $\mu m$  - Medium (M), grube: 230-350  $\mu m$  - Coarse (C), bardzo grube:  $>350 \mu m$  - Very Coarse (VC), bez szczegółowych informacji o rozpylaczach. Klasyfikacja ASAE [1] uwzględnia trzy wskaźniki do określania klas jakości rozpylenia:  $D_{v10}$  (od której 10% objętości cieczy, rozpylona jest na krople mniejsze);  $D_{v50}$  (VMD) i  $D_{v90}$  (względem której 10% objętości rozpylona jest na krople większe, a 90% na mniejsze), w której wartości VMD różnią się od schematu BCPC: ekstremalnie drobne  $<50 \mu m \Rightarrow$  XF (Extremely Fine), 50-118  $\mu m \Rightarrow$  VF, 118-232  $\mu m \Rightarrow$  F, 232-334  $\mu m \Rightarrow$  M, 334-427  $\mu m \Rightarrow$  C, 427-498  $\mu m \Rightarrow$  VC, 498-631  $\mu m \Rightarrow$  XC ekstremalnie grube (Extremely Coarse) i  $>631 \mu m \Rightarrow$  UC ultra grube (Ultra Coarse). Do metod oceny rozpylenia włącza się kolejne wskaźniki charakteryzujące rozpylacz np. objętość frakcji  $<100 \mu m$  [32], [37].

Badania przeprowadzono dla zasygnalizowania problemu i możliwości jego rozwiązania oraz wychodząc naprzeciw potrzebom rolnictwa.

Celem badań było określenie jakości pracy wybranych, dostępnych w Wielkopolsce rozpylaczy do ochrony upraw polowych, za pomocą wskaźników obowiązujących w Polsce, oraz stabilności produkcyjnej rozpylaczy MMAT. Publikacja jest kontynuacją procesu charakteryzowania rozpylaczy dostępnych w Polsce [2].

### 2. Materiały i metody badań

Badania przeprowadzono w kilku etapach:

- Symetrię strumieni oraz CV (%) – wskaźnik nierównomierności rozkładu poprzecznego cieczy, badano w Instytucie Juliusza Kuehn'a, w Braunschweig'u (Julius Kühn-Institut; JKI, członek ENTAM), rys. 1 i tab. 1 (\*\*\*) na stole rowkowym o szerokości rowków 25 mm.
- Badania charakterystyk rozpylenia wykonano w Laboratorium Regionalnego Instytutu USDA (*Areawide Pest Management Research Unit, College Station*), w Teksasie.
- Głównie badania CV, wg polskich wymagań [31], wykonano w akredytowanej Stacji Kontroli Opryskiwaczy (SKO) Toral Gostyń. Do badań użyto ciągnika Same Iron 120

z nowym opryskiwaczem Pilmet 412 LM (belka 12 m), z ważnym badaniem technicznym oraz elektronicznego stołu probierczego Sprayer test 1000, o szerokości rowków 100 mm.

- Badania uzupełniające wykonano w Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych w Poznaniu (tab. 1 (\*\*\*)).

Za pomocą pełnych charakterystyk jakości rozpylenia, dokonano oceny jakości rozpylaczy produkowanych w różnych gniazdach form wtryskowych (tab. 2 i 3), dziesięciu egzemplarzy dla każdej serii (liczebności prób 10 szt.). Pierwsze badania charakterystyk rozpylenia rozpylaczy eżektorowych MMAT – tab. 1 (\*) dotyczyły prototypów [3]. Zasadniczo wypadły one bardzo dobrze i pozwoliły wytwórcy rozpoznać charakterystyki jakościowe do potrzeb praktyki oraz mankamenty technologiczne.

Z uwagi na to, że możliwość scharakteryzowania jakości rozpylenia, powstała podczas współpracy z Amerykanami w trakcie innych badań, ocenie charakterystyk rozpylenia poddano wycinkowo 14 typów rozpylaczy (tab. 2 i 3). Badany rozpylacz przemieszczany był pionowo w dół, na wylocie tunelu aerodynamicznego, emitując ciecz poziomo i zgodnie z kierunkiem wylotu powietrza (prędkość powietrza ~2 m/s) [14], skierowaną z odległości 50 cm, w zasięg wiązki światła laserowego, emitowanej przez dyfrakcyjny analizator wielkości cząsteczek: SympaTec® HELOS Varrio, o zakresie pomiarowym: 0,5-3500  $\mu\text{m}$  (31 frakcji).

Spektrum kropli badano stosując wodę wodociągową o dynamicznym napięciu powierzchniowym (dynamic surface tension) DST ~63 mN/m. Każdy wynik uśredniano z co najmniej trzech zbliżonych pomiarów (co do wartości wskaźników i przebiegu krzywych).

Określono: średnice  $D_{v10}$ ,  $D_{v50}$ (VMD) i  $D_{v90}$  ( $\mu\text{m}$ ); wskaźniki rozpylenia na frakcje <100  $\mu\text{m}$  ( $V_{<100}$ ), <150  $\mu\text{m}$  ( $V_{<150}$ ), <250  $\mu\text{m}$  ( $V_{<250}$ ) i <500  $\mu\text{m}$  ( $V_{<500}$ ) (% rozpylonej objętości),  $q_f$  (l/min), CV (%) oraz RS.

### 3. Wyniki badań i dyskusja

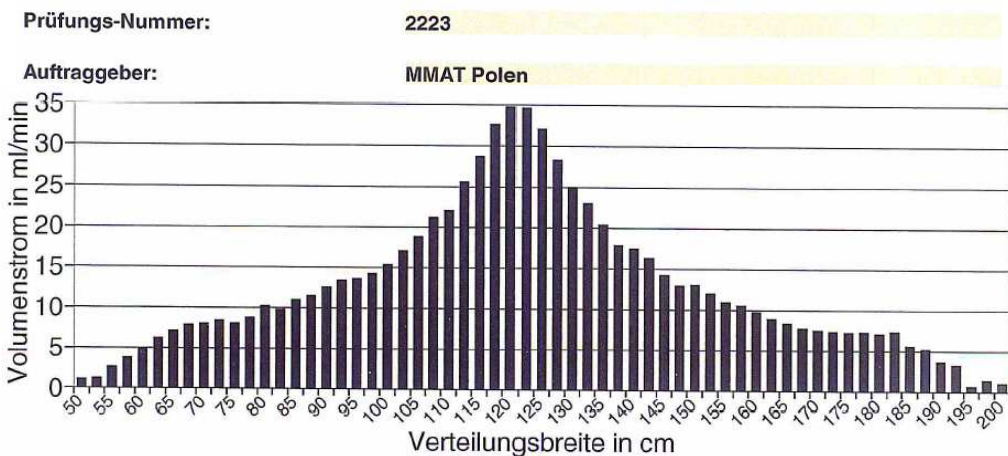
Na rys 1 przedstawiono wynik badania symetrii strumienia cieczy wytwarzanego przez nowy typ rozpylacza MMAT. Wszystkie badane rozpylacze wykazały się poprawną symetrią. W tab. 1 zestawiono przetestowane rozpylacze (36 szt.) różnych producentów, wg nazwy, długości (mm), konstrukcji (sposobu działania): standardowe; z kryzą wstępną i eżektorowe (jedno i dwustrumieniowe). Ocenił je: wg wymagań ISO zgodności z kodem barwnym *visi flow* [17], rozrzutu wydatku jednostkowego  $q_f$  (l/min) [28] oraz wg polskich wymagań [31]: rozkładu poprzecznego cieczy CV ( $\leq 10\%$ ), przy wysokości belki 50 cm (z 9 wyjątkami). Określono dopuszczalną tolerancję wydatków ( $\pm 5\% q_{f, ISO}$ ) [17], [28] i oznaczono odpowiednio kolorami: zielonym – wynik w zakresie tolerancji, pomarańczowym – wynik na granicy tolerancji i czerwonym – wynik poza tolerancją. Barwa tła w kolumnie opisu rozpylaczy jest zgodna z kodem wydatków *visi flow* [17]. Tolerancja produkcyjna każdego producenta rozpylaczy odnosi się do wartości referencyjnych [17]. Dyskusyjny i zbyt restrykcyjny wydaje się próg 10% przyrostu wydatku od wartości katalogowej (który nie uwzględnia tolerancji producenta), jako kryterium eliminujące je z dalszego użycia [31], gdyż nie ma wystarczających dowodów na taką konieczność. Wyniki niektórych badań nawet znacznego zużycia rozpylaczy (50% przyrostu wydatku), świadczą przeciwnie [4], [5], [7]. Nie kryterium przyrostu wydatku od wartości referencyjnej, a wymagania ustalone w normach (rzeczywisty wydatek [17], jakość rozpylenia (mikro i makroparametry), powinny być czynnikami weryfikującymi przydatność rozpylaczy do dalszego użycia lub ich eliminacji.



Seite 1 von 2  
Rev: 18.09.2008  
Date: 2223-EZD-P-1.pdf



## Prüfbericht Einzeldüsenprofilmessung



Rys. 1. Skrócony protokół badania symetrii strumienia cieczy rozpylacza EŻK 11002.

Fig. 1. Brief protocol of spray symmetry for nozzle EŻK 11002.

Wartości CV  $\leq 10\%$  oznaczono kolorem zielonym (tab. 1); wyniki w zakresie zaokrąglenia do 10% (10÷10,5%) kolorem pomarańczowym, a wyższe (>10,5%) czerwonym. Protokół z badania stołem Sprayer test 1000, zawiera i archiwizuje m.in. liczbę menzur z wartościami (tab. 1) poza tolerancją. Uwzględniając tolerancje: dla stołów ręcznych (liczba menzur poza tolerancją  $\pm 15\%$ ) i elektronicznych ( $\pm 10\%$ ) [31], oznaczono wartości:  $\leq 10\%$  (do 12 menzur poza tolerancją) na zielono, wartości w zakresie 10÷15% (13÷17 menzur poza tolerancją) na pomarańczowo, a wartości >15% (powyżej 17 menzur poza tolerancją) na czerwono. Zmiana wysokości belki (na inną niż 50 cm) wywołuje zarówno lepsze (EŻ 11004) jak i gorsze (EŻK 11002) wartości CV, co wykazali również Lipiński i in. [20]. Współczynnik CV (tab. 1) dla belki pochylonej do ok. 4,3%

( $\sim 3^\circ$  od poziomu)<sup>(1)</sup>, wyniósł 7,4% (Albus AXI 11002), liczba menzur poza tolerancją wzrosła o pięć (do 18), przekraczając o jedną poza przyjętą tolerancję 15%, z całkowitej liczby rejestrowanych menzur (115). Wyniki badań stołem Sprayer test 1000, uzyskane w różnym czasie, w tej samej SKO, przez tego samego diagnostę, na tym samym urządzeniu pomiarowym i opryskiwaczu, dla tych samych rozpylaczy (tab. 1) mogą się różnić i skutkować różnym wynikiem końcowym. Ocenę rozpylaczy trzema wskaźnikami: CV, rozrzutem wydatków i liczbą menzur poza tolerancją, oznaczono kolorami tła w kolumnie producentów (☺): zielonym: wynik pozytywny - żaden wskaźnik nie przekraczał wymagań; pomarańczowym: wskaźniki warunkowo można zaakceptować, czerwonym: wynik negatywny. Przypadków zbyt dyskusyjnych nie oznaczono kolorem.

Tab. 1. Charakterystyki badanych rozpylaczy (S - standardowy, AZ - z kryzą wstępną, E - eżektorowy, ET - eżektorowy dwustrumieniowy)

Table 1. Characteristics of tested nozzles (S - standard, AZ - pre-orifice, E - air induction, ET - air induction twin jet)

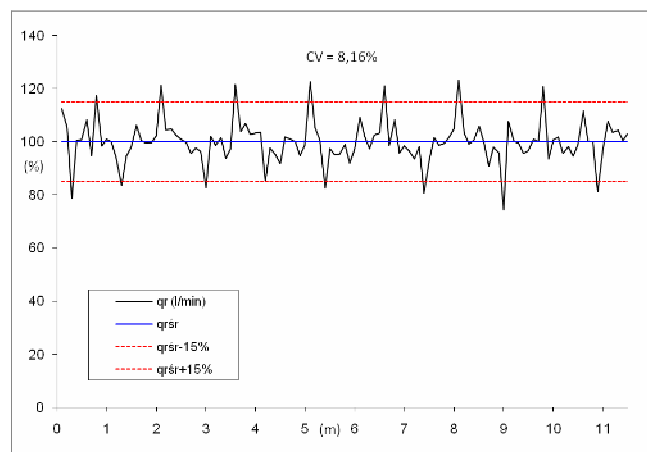
Typ rozpylacza [17]	Rodzaj	Producent	Długość	p	CV	Poza toler.	$\pm 5\%$	$q_r$	ISO	h
Nozzle type [17]	Kind	Manufacturer	Length	p	CV	Out of toler.	$q_{rISO}$	Flow rate		h
Visi flow colour code	S/AZ/E/ET	☺	mm	kPa	%	cyl.		l/min		cm
Albus AXI 8002	S	Coorstek	10	300	6,0	6*	0,04	0,82	0,8	50
Albus AXI 8002	S	Coorstek	10	300	6,0	4	0,04	0,82	0,8	50
Albus AXI 11002	S	Coorstek	10	300	6,9	13*	0,04	0,78	0,8	50
Albus AXI 11002	S	Coorstek	10	300	7,4	18*	0,04	0,77	0,8	(1)
Albus AXI 11002	S	Coorstek	10	300	5,7	6	0,04	0,77	0,8	50
Albus CVI 11002	E	Coorstek	22	300	7,2	18*	0,04	0,82	0,8	50
Albus CVI 11002	E	Coorstek	22	300	7,5	23	0,04	0,79	0,8	50
Lechler 11003	S	Lechler	10	300	8,6	20*	0,06	1,15	1,2	50
Lechler 11003	S	Lechler	10	300	8,2	24	0,06	1,13	1,2	50
Lechler 11004	S	Lechler	10	300	7,9	19	0,08	1,40	1,6	50
Lechler IDKN 12003	E [18]	Lechler	22	300	6,5	14	0,06	1,13	1,2	50
RS 11002	S	MMAT	10	300	14,4	55*	0,04	0,78	0,8	50
RS 11003	S	MMAT	10	300	9,4	27*	0,06	1,19	1,2	50
RS 11004	S	MMAT	10	300	7,8	20*	0,08	1,40	1,6	50
RS 11004	S	MMAT	10	300	5,2	-***	0,08	-	1,6	50
AZ 11002	AZ	MMAT	13	300	9,2	25*	0,04	0,78	0,8	50
AZ 11003	AZ	MMAT	13	300	6,9	17*	0,06	1,08	1,2	50
AZ 11003	AZ	MMAT	13	100	10,2	33	-	0,54	-	50
AZ 11003	AZ	MMAT	13	300	7,7	19	0,06	1,01	1,2	50
AZ 11003	AZ	MMAT	13	300	6,5	-***	0,06	-	1,2	50
AZ 11003	AZ	MMAT	13	415	8,4	25	-	1,25	-	50
AZ 11004	AZ	MMAT	13	300	8,2	27*	0,08	1,46	1,6	50
AZ 11004	AZ	MMAT	13	300	6,1	-***	0,08	-	1,6	50
EŻK 11002	E	MMAT	21	300	14,6	75*	0,04	0,79	0,8	50
EŻK 11002	E	MMAT	21	300	19,6	62**	0,04	-	0,8	40
EŻK 11002	E	MMAT	21	300	15,1	48**	0,04	-	0,8	50
EŻK 11002	E	MMAT	21	300	10,2	16**	0,04	-	0,8	60
EŻK 11002	E	MMAT	21	300	9,5	-***	0,04	-	0,8	50
EŻK 110025	E	MMAT	21	300	9,2	37*	0,05	0,95	1,0	50
EŻK 110025	E	MMAT	21	300	4,0	-***	0,05	-	1,0	50
EŻK 11003	E	MMAT	21	300	9,5	40*	0,06	1,18	1,2	50
EŻK 11003	E	MMAT	21	300	10,5	51	0,06	1,11	1,2	40
EŻK 11003	E	MMAT	21	300	4,3	4	0,06	1,11	1,2	50
EŻK 11003	E	MMAT	21	300	4,0	1	0,06	1,20	1,2	60
EŻ 11003	E	MMAT	37	300	10,2	27*	0,06	1,22	1,2	50
EŻ 11003	E	MMAT	37	300	12,5	53	0,06	1,14	1,2	50
EŻ 11003	E	MMAT	37	300	10,1	34	0,06	1,14	1,2	60
EŻK 11004	E	MMAT	21	300	4,9	5*	0,08	1,45	1,6	50
EŻK 11004	E <sup>(2)</sup>	MMAT	21	300	3,4	5**	0,08	1,59	1,6	50
EŻ 11004	E	MMAT	37	300	6,5	9	0,08	1,52	1,6	40
EŻ 11004	E	MMAT	37	300	10,5	39	0,08	1,51	1,6	50
EŻ 11004	E	MMAT	37	300	8,5	29	0,08	1,50	1,6	60
EŻKT 11003	ET	MMAT	21	200	5,6	11	-	0,87	-	50
EŻKT 11003	ET	MMAT	21	300	6,5	20	0,06	1,11	1,2	40

EŻKT 11003	ET	MMAT	21	300	4,6	4	0,06	1,11	1,2	50
EŻKT 11003	ET	MMAT	21	300	4,0	0**	0,06	-	1,2	50
EŻKT 11004	ET <sup>(2)</sup>	MMAT	21	300	3,1	-*** <sup>(2)</sup>	0,08	1,55	1,6	50
TeeJet 11002VP	S	Spraying Sys.	10	300	8,3	26	0,04	0,76	0,8	50
TeeJet XR11002VP	S	Spraying Sys.	10	300	2,9	0	0,04	0,79	0,8	50
TeeJet 11003VP	S	Spraying Sys.	10	300	6,5	10*	0,06	1,23	1,2	50
TeeJet 11003VP	S	Spraying Sys.	10	300	6,5	16	0,06	1,23	1,2	50
TeeJet XR11003VP	S [18]	Spraying Sys.	10	300	3,0	3	0,06	1,22	1,2	50
TeeJet XR11004VK	S [18]	Spraying Sys.	10	300	5,7	9	0,08	1,52	1,6	50
TeeJet XR11004VP	S [18]	Spraying Sys.	10	300	2,5	1	0,08	1,51	1,6	50
F110SF02	S	Sprays Int.	10	300	4,6	-	0,04	-	0,8	50
F110SF03	S	Sprays Int.	10	300	5,9	-	0,06	-	1,2	50
F110SF04	S	Sprays Int.	10	300	4,8	-	0,08	-	1,6	50
XL	E	-	27	300	9,0	21	0,06	1,15	1,2	50
AP 11003	S	-	10	300	7,7	21	0,06	1,15	1,2	50
AP 11003	E	-	39	300	14,6	79	0,06	1,05	1,2	50
AP 11004	E	-	39	300	14,2	70	0,08	1,28	1,6	50
F110/0-8/3 110°-SF-02	S	-	10	300	19,7	71	0,04	1,00	0,8	50
F110/1-2/3 110°-SF-03	S	-	10	300	25,7	82	0,06	1,14	1,2	50
F110/1-6/3 110°-SF-04	S	-	10	300	11,4	51	0,08	1,54	1,6	50

\* - badania w 2011 r., \*\* - badania w JKI, \*\*\* - badania w PIMR, <sup>(1)</sup> - badania przy ukośnym położeniu belki, wysokość skrajnych rozpylaczy nad stołem probierczym: 25 i 75 cm, <sup>(2)</sup> - certyfikat ENTAM.

\* - tests in 2011, \*\* - tests at JKI, \*\*\* - tests at PIMR, <sup>(1)</sup> - tests at oblique position of spray boom, height of last nozzles above the pattenator: 25 and 75 cm, <sup>(2)</sup> - ENTAM certificate.

Na rys. 2 przedstawiono przypadek pozytywnego wyniku badania rozkładu poprzecznego cieczy, przy znacznym zróżnicowaniu wartości zmierzonych w poszczególnych menzurach. Daje to podstawy do weryfikacji i udoskonalenia metodyki badań opryskiwaczy polowych, co sygnalizowali już m.in. Lipiński i in. [20] i Świechowski i in. [36].



Rys. 2. Wykres nierównomierności rozkładu poprzecznego cieczy z 14 wynikami poza tolerancją, z wynikiem pozytywnym: CV=8,16%.

Fig. 2. Diagram of cross distribution uniformity, with 14 results out of tolerance, with a positive result: CV=8.16%.

W tab. 2 i 3 zestawiono wyniki oceny powtarzalności mikroparametrów rozpylenia w cyklu produkcji rozpylaczy serii: RS, AZ (tab. 2), EŻK i EŻKT (tab. 3). Barwę tła (tab. 2 i 3) w wierszach opisu rozpylaczy oznaczono wg kodu *visi flow* [17]. Jakość rozpylenia (klasy wg ASAE S572.1.) oznaczono w drugich wierszach (tab. 2 i 3), zawierających wartości ciśnień. Za pomocą odchylenia standardowego ( $\sigma$ ) oceniono rozrzut indywidualnych wartości każdej próby (gniazda formy wtyskowej) oraz łącznie dla EŻK 110025 (2 oceniane gniazda) i EŻK 11003 (3 oceniane gniazda) (tab. 3). Im niższe wartości odchylenia standardowych  $\sigma$  i RS, tym wyższa powtarzalność produkcji oraz jednorodność rozpylenia. Z powodu braku w tym zakresie polskich

norm, wnikliwa ocena tych wskaźników nie była możliwa. Z analiz uzyskanych wartości można wnioskować, że gniazdo g. 1. rozpylacza EŻK 110025, ma nieco lepszą stabilność produkcji (powtarzalność  $\rightarrow$  niższe wartości) niż g. 0. Spośród ocenianych gniazd produkcji rozpylaczy EŻK 11003, najgorzej wypadło gniazdo g. 1., następnie g. 2, a gniazdo g. 0 najlepiej. Ogólnie, w ocenie powtarzalności produkcji rozpylaczy eżektorowych, rozpylacz EŻK 11004 wypadł najmniej korzystnie (tab. 3). Dla rozpylaczy RS i AZ (tab. 2) stabilność produkcji rozpylaczy AZ 11002, AZ 11003 i RS 11004 wypadła mniej korzystnie, niż RS 11002, RS 11003 i AZ 11004.

Porównując charakterystyki rozpylaczy RS 11004 przy ciśnieniu 150 kPa (tab. 2) i EŻK 11003 przy ciśnieniu 450 kPa (tab. 3), (w obu sytuacjach rozpylenie drobne [1]), można stwierdzić bardzo zbliżone wartości średnic  $D_{v10}$  ( $\sim 125 \mu\text{m}$ ) i frakcji  $V_{<100}$ , ( $\sim 6\%$  obj.), odpowiedzialnych za potencjał znoszenia. Wartości  $D_{v50}$  i  $D_{v90}$  ( $\mu\text{m}$ ) oraz frakcji  $V_{<150}$  i  $V_{<250}$  (% obj.), różnią się na korzyść RS 11004. Frakcja nieefektywnego wykorzystania cieczy z dużym ryzykiem strat na podłożu i ściekania ( $V_{>500}$ ), wypadła także korzystniej dla RS 11004 i to o ponad 10% rozpylonej objętości. Stwarza to podstawy do rewizji traktowania rozpylaczy eżektorowych jako bezpieczniejszych w całym zakresie ich możliwości niż standardowe, co sygnalizowali już Guller i in. [12].

Na rys. 3 przedstawiono różnice w jakości pracy rozpylaczy nieeżektorowych MMAT, przy ciśnieniu 150 kPa (22 psi). Rozpylacze RS i AZ wykazały zróżnicowane zawartości frakcji  $<100 \mu\text{m}$ ,  $100\div 300 \mu\text{m}$ ,  $300\div 400 \mu\text{m}$ ,  $400\div 500 \mu\text{m}$  i  $>500 \mu\text{m}$  (% obj.), co zaznaczono na czerwono. W zależności od warunków środowiskowych występujących podczas opryskiwania oraz stanu chronionych roślin i właściwości cieczy roboczej, zakres optymalnej frakcji jest zmienny [21]. Zmienne w różnych warunkach wykonywania aplikacji ś.o.r. są także zakresy frakcji mogących wywołać straty i zagrożenia (znoszenie, osiadanie, ściekanie, odparowanie). Również właściwości cieczy wpływają w różny sposób na jakość rozpylenia i pokrycia roślin [22], [30], [33], co należałoby wziąć pod uwagę w zaawansowanych badaniach.

Tab. 2. Charakterystyka powtarzalności produkcyjnej rozpylaczy płaskostrumieniowych MMAT: RS i AZ ( $\sigma$  dla populacji 10 szt.)

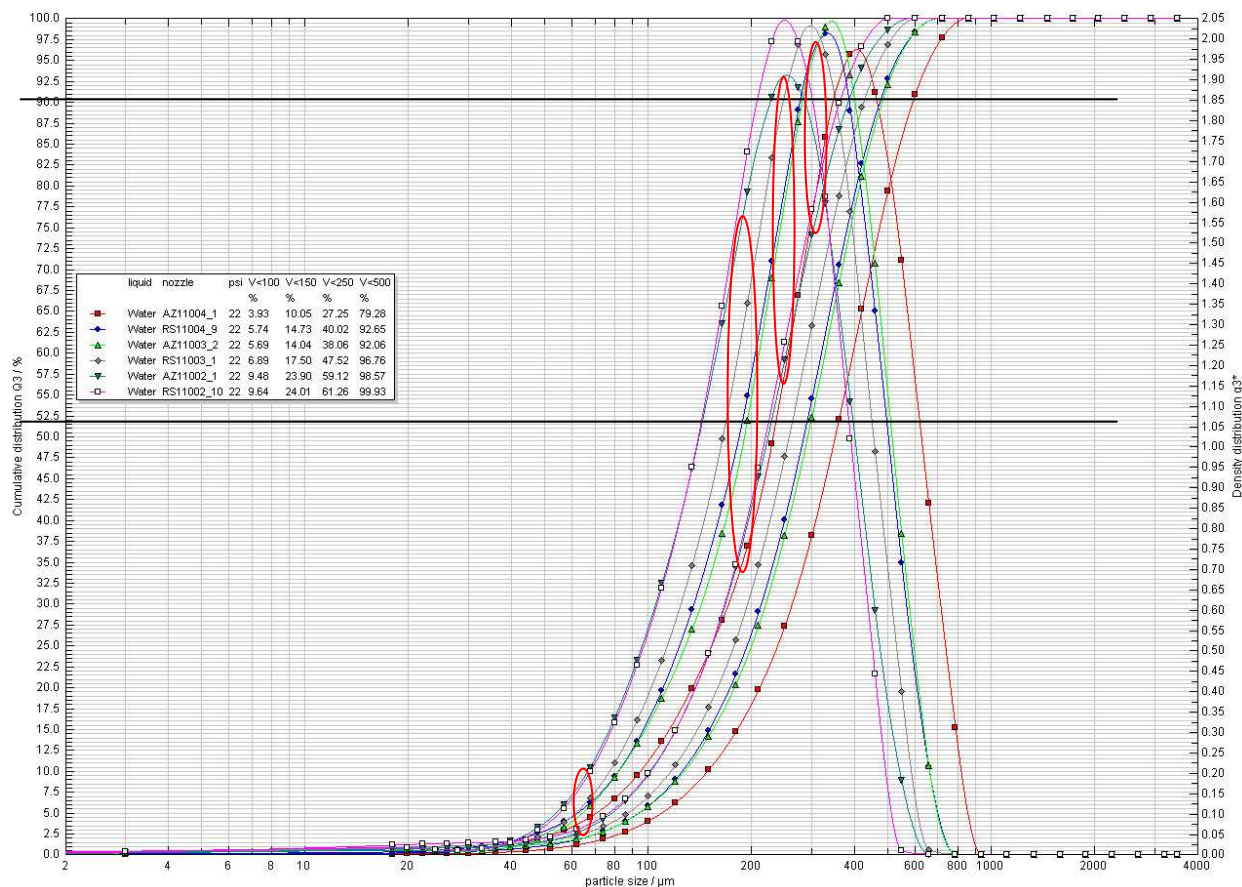
Table 2. Characteristics of production repeatability, of MMAT flat fan nozzles: RS and AZ ( $\sigma$  for population 10 pieces)

Parametr Parameter	Rozpylacz Nozzle [17]	RS 11002	AZ 11002	RS 11003	AZ 11003	RS 11004	AZ 11004
$p$ / [1]	kPa	450	150	150	150	150	150
$D_{v10}$	$\mu\text{m}$	62,2	105,0	115,1	129,4	124,4	148,9
$\sigma$		0,22	1,67	0,01	1,68	1,62	0,06
$D_{v50}$ (VMD)		138,3	231,0	258,6	295,1	281,6	348,1
$\sigma$		2,61	5,82	1,21	4,47	3,37	2,1
$D_{v90}$		264,4	396,6	433,0	489,8	474,2	588,7
$\sigma$		1,55	7,31	2,78	9,64	6,35	3,86
RS	-	1,46	1,27	1,23	1,22	1,24	1,27
$\sigma$	-	0,02	0,005	0,005	0,01	0	0,005
$V_{<100}$	% obj. % vol.	30,6	8,7	7,3	5,3	5,9	3,9
$\sigma$		0,97	0,34	0	0,22	0,21	0,03
$V_{<150}$		57,1	22,2	18,0	13,3	15,1	10,2
$\sigma$		1,32	1,05	0,04	0,34	0,44	0,01
$V_{<250}$		88,8	56,9	47,9	36,2	40,7	27,8
$\sigma$		0,28	2,13	0,35	0,89	0,86	0,14
$V_{<500}$		100	98,5	97,0	90,9	93,3	80,5
$\sigma$		0	0,22	0,12	1,28	0,67	0,59
$q_{\text{sr}}$	ml/min (300 kPa)	788,4	777,3	1179	1176	1611	1584
$\sigma$		3,89	5,58	5,48	4,79	8,67	4,81

Tab. 3. Charakterystyka powtarzalności produkcyjnej rozpylaczy eżektorowych MMAT ( $\sigma$  dla populacji 10 szt. z różnych gniazd formy wtryskowej: g. 0, g. 1, g. 2).

Table 3. Characteristics of production repeatability of MMAT air induction nozzles ( $\sigma$  for population 10 pieces of different socket mold: g. 0, g. 1, g. 2).

Parametr Parameter	Rozpylacz Nozzle [17]	EŻK 11002	EŻK g.0 110025	EŻK g.1 110025	EŻK g.0 11003	EŻK g.1 11003	EŻK g.2 11003	EŻKT 11003	EŻK 11004	
$p$ / [1]	kPa	250	250	250	450	450	450	450	250	
$D_{v10}$	$\mu\text{m}$	199,6	215,8	217,0	122,8	129,9	124,7	189,1	142,6	
$\sigma$		3,14	1,44	1,17	0,21	5,63	0,67	0,26	17,68	
$D_{v10 \text{ sr}} / \sigma$		-	216,4 / 0,70		125,8 / 1,17		-	-	-	
$D_{v50}$ (VMD)		437,7	467,2	469,2	317,4	334,7	320,6	424,2	354,1	
$\sigma$		7,31	2,76	2,17	2,84	13,50	0,56	3,15	29,46	
$D_{v50 \text{ sr}} / \sigma$		-	468,2 / 0,73		324,2 / 0,11		-	-	-	
$D_{v90}$		729,1	771,5	767,0	565,7	595,1	571,5	709,7	617,4	
$\sigma$		12,20	5,20	2,13	5,31	24,10	1,51	2,46	35,62	
$D_{v90 \text{ sr}} / \sigma$		-	769,2 / 3,77		577,4 / 0,54		-	-	-	
RS		-	1,20	1,19	1,17	1,40	1,39	1,40	1,23	1,35
$\sigma$		-	0	0	0	0,005	0	0,005	0,005	0,065
$RS_{\text{sr}} / \sigma$		-	1,18 / 0		1,40 / 0,005		-	-	-	
$V_{<100}$	% obj. % vol.	1,6	1,3	1,2	6,3	5,6	6,0	2,3	3,4	
$\sigma$		0,04	0,03	0,07	0,06	0,58	0,11	0,02	1,53	
$V_{<100 \text{ sr}} / \sigma$		-	1,25 / 0,06		6,0 / 0,15		-	-	-	
$V_{<150}$		5,0	4,0	3,9	15,0	13,7	14,4	6,4	9,0	
$\sigma$		0,16	0,10	0,07	0,01	1,16	0,10	0,01	2,79	
$V_{<150 \text{ sr}} / \sigma$		-	3,95 / 0,02		14,4 / 0,25		-	-	-	
$V_{<250}$		16,6	13,9	13,6	35,4	32,7	34,1	19,8	24,5	
$\sigma$		0,56	0,22	0,13	0,33	2,17	0,02	0,16	4,99	
$V_{<250 \text{ sr}} / \sigma$		-	13,75 / 0,11		34,1 / 0,13		-	-	-	
$V_{<500}$		63,6	55,9	54,8	84,2	80,6	82,4	66,7	72,3	
$\sigma$		1,38	0,51	0,39	0,67	2,82	0,21	0,57	4,79	
$V_{<500 \text{ sr}} / \sigma$		-	55,35 / 0,08		82,4 / 0,12		-	-	-	
$q_{\text{sr}}$	ml/min (300 kPa)	808,0	983,1	991,7	1196	1187	1195	1187	1610	
$\sigma$		4,30	10,81	9,87	9,47	10,04	13,00	15,63	3,92	
$q_{\text{sr}} / \sigma$		-	987,4 / 10,93		1193 / 11,62		-	-	-	



Rys. 3. Wykresy rozkładów objętościowych w poszczególnych klasach i frakcjach (legenda) uzyskanych dla rozpylaczy MMAT: RS i AZ, przy ciśnieniu 150 kPa (22 psi)

Fig. 4. The graphs of volumetric distributions in each class and fractions (legend) obtained for these nozzles MMAT: RS and AZ, at 150 kPa pressure (22 psi)

Bez względu na typ i odmianę rozpylacza w warunkach optymalnych ( $t: 10 \pm 20^\circ \text{C}$ ,  $R_h: >60\%$ , prędkość wiatru:  $0,5 \pm 2 \text{ m/s}$ ), najefektywniejsze są krople frakcji  $60 \pm 150 \mu\text{m}$  [11], [21]. Pozwalają one na redukcję dawki cieczy roboczej na 1 ha a nawet preparatu. Z uwagi na to, że takie warunki nie występują często, niezbędne są sprawdzone i legalne scenariusze bezpiecznego postępowania w innych, mniej korzystnych warunkach (niekorzystne temperatury,  $R_h$ , prędkość wiatru i ich relacje, czego się nie uwzględnia). Temu celowi mają m.in. służyć wyniki tej publikacji i kolejnych.

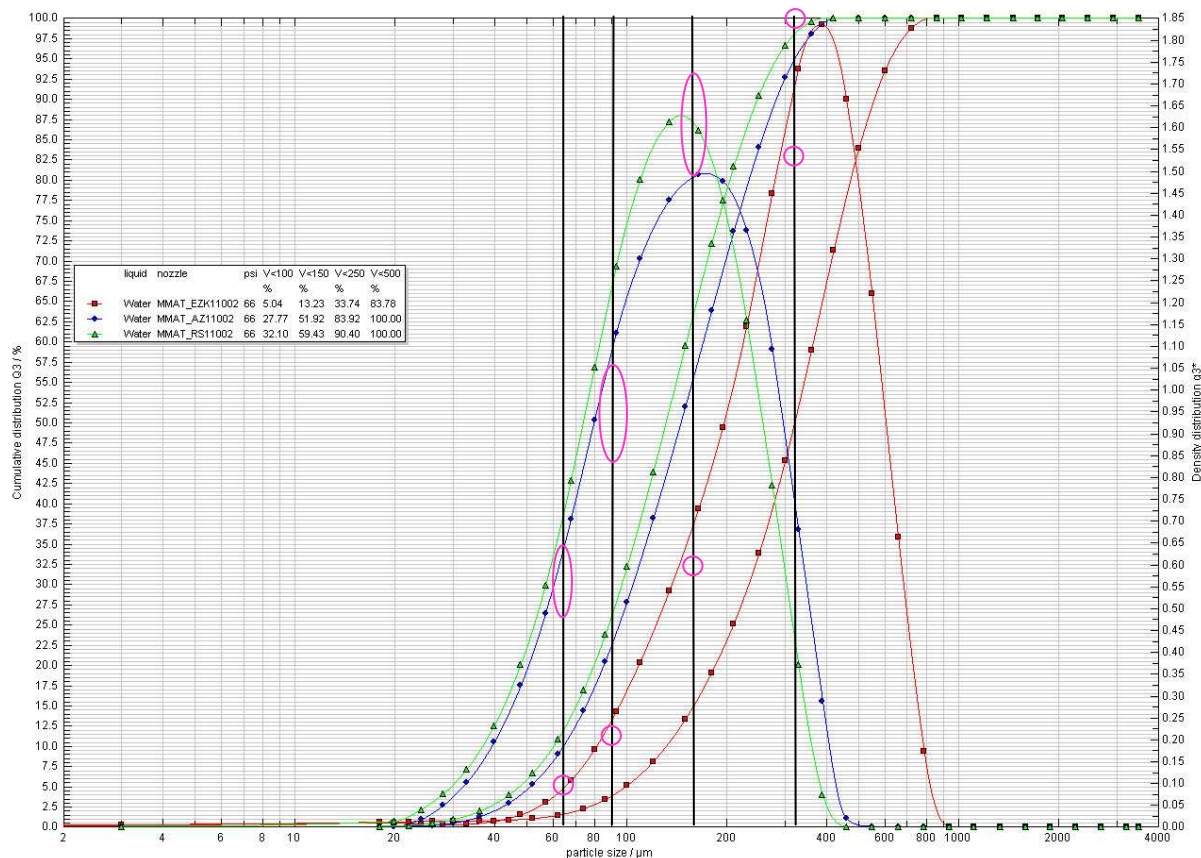
Na rys. 4 przedstawiono objętościowo różnice ważnych frakcji kropli (kolor fioletowy) dla rozpylaczy MMAT o różnej budowie i tym samym wydatku 02 (ISO [17]): RS, AZ i EŻK. Z wykresów wynika, że różnice są duże. Jest to potencjał do wykorzystania w zmiennych warunkach i różnych zastosowaniach, co wymaga jednak dalszych wnikliwych badań.

Brak kontroli informacji o oferowanych rozpylaczach i wyczerpujących materiałów propagacyjnych, przyzwala na naruszanie Ustawy o zwalczaniu nieuczciwej konkurencji [38], która sankcjonuje: „nieuczciwe zachwalanie”, „nieprawdziwe lub wprowadzające w błąd informacje o wytwarzanych towarach”, częste np. w zakresie odporności na znoszenie przy wietrze  $>3 \text{ m/s}$ . W Polsce opryskiwanie w takich warunkach dotychczas jest zabronione [31].

Nie wykorzystano dotychczas wielu ważnych informacji z wyników szeroko zakrojonych badań [27] przeprowadzonych w Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych

(PIMR), członku ENTAM. Mimo pionierskiego w Europie wskaźnika polskiego autorstwa: Agrotechnicznej Przydatności Rozpylacza (APR) [11], uwzględniającego wpływ jakości rozpylenia na stopień pokrycia opryskiwanej powierzchni, nie powstały żadne zalecenia przydatne praktyce. Sytuacja na rynku rozpylaczy nadal nie jest uporządkowana. Polska - jedno z większych państw Europy, nie ma w tym ważnym zakresie uregulowań (<http://sdrf.info/>), brak też polskiej aktywności w ramach np. inicjatywy OECD [26]. Krajowy Plan Działania MRiRW [24] (72 strony) technikę aplikacji pestycydów traktuje pobieżnie (zaledwie 2 wzmianki: str. 27 i 54), jako kontynuację technicznych opryskiwaczy.

Obowiązkowe badania techniczne opryskiwaczy mają w Polsce niską efektywność [24]. Plan [24] nie uwzględnia także potrzeby walidacji sprzętu do ochrony roślin - klasyfikacji ryzyka znoszenia (drift potential), czy scharakteryzowania rozpylaczy. Jedyna wzmianka w polskich przepisach dotycząca „kontroli znoszenia” zawarta jest w pkt. 4.3.2. PN 12761-2 [28]. Określa ona kryterium: średnicę  $D_{v10}$ , nie mniejszą niż jej wartość dla rozpylacza 11002 (wg ISO [17]), dla ciśnienia 250 kPa i wydatku  $q_r = 0,72 \text{ l/min}$ . W innych krajach od lat prace nad określeniem i redukcją potencjału znoszenia są intensywnie rozwijane i upowszechniane [18], [23], [25], [26], [34]. Modyfikowana procedura obowiązkowych badań technicznych opryskiwaczy [31], będąca w dobrowolnej konsultacji, nie jest wolna od mankamentów.



Rys. 4. Wykresy rozkładów objętościowych w poszczególnych size klasach i frakcjach (legenda), uzyskanych dla rozpylaczy MMAT: RS, AZ i EŻK o wydatkach 02 wg ISO [17], przy ciśnieniu 450 kPa (66 psi)

Fig. 5. The graphs of volumetric distributions in each class and fractions (legend), obtained for these nozzles MMAT: RS, AZ and EŻK with flow rate 02 according to ISO [17], at 450 kPa pressure (66 psi)

#### 4. Wnioski

Większość (21) z 36 badanych rozpylaczy (tab. 1) spełniło liberalne polskie wymagania dopuszczalnej wartości CV (10%), jednak wiele z nich (21 spośród 32 badanych) wykracza poza limit liczby menzur poza tolerancją [31]. Wymogi dopuszczalnego rozrzutu wydatków spełniło 17 spośród 33 zbadanych. Tylko dziesięć spośród badanych rozpylaczy wykazało się wartościami wszystkich trzech parametrów w założonych tolerancjach: Albus AXI 8002; AXI 11002; EŻK 11003, EŻK 11004, EŻKT 11003, EŻKT 11004, TeeJet XR11002VP, TeeJet 11003VP, TeeJet XR11003 VP i TeeJet XR11004VK. Rozpylacze TeeJet XR i o tym samym wydatku bez tego oznaczenia, wykazują znacząco różne charakterystyki.

Norma ASAE S572.1. wymaga uściślenia, co sygnalizują już inni badacze, np. Teske i in. [37]. Do poprawnego postępowania w warunkach trudnych (wiatr >2m/s), przydatne w praktyce (wg zaleceń np. [10], 16, [29]) będzie rutynowe określanie CV dla wysokości od 35 do 60 cm, co sygnalizowali już m.in. Lipiński i in. [20].

Optymalne i korzystne byłoby skoordynowanie badań niezbędnych do opracowania zunifikowanej instrukcji właściwego doboru rozpylaczy i parametrów ich pracy, podczas stosowania ś.o.r. Firmy chemiczne, producenci rozpylaczy i opryskiwaczy oraz instytucje odpowiadające za ochronę roślin, mają wspólny cel: rzetelne i wielowariantowe dane o rozpylaczach (typ, ciśnienie, wydatek, właściwości cieczy), opryskiwaczach (wysokość, ustawienie, wyposażenie belki, prędkość jazdy) dla różnych warunków

środowiskowych (rodzaju i stadium rozwoju roślin, agrofaga, pogody), w tym trudnych.

Wskaźnik liczby menzur poza tolerancją wskazuje na stopień jednorodności rozkładu poprzecznego i powinien być uwzględniony w badaniach, w celu wyeliminowania przypadków dużych różnic w poszczególnych menzurach, dających w efekcie końcowym pozytywny wynik CV (rys. 3), a niewłaściwy rozkład poprzeczny cieczy.

Opryskiwanie jest procesem dynamicznym o zmiennych warunkach (środowiskowych i technicznych). Przy dostępie do rozwiązań umożliwiających zmiany parametrów pracy maszyn „on line”, niezbędne jest określenie charakterystyk rozpylaczy, by do potrzeb bezpiecznej aplikacji substancji biologicznie czynnych, uzyskać dane do skutecznego i legalnego wykorzystania możliwości technicznych w praktyce, w różnych warunkach.

#### 5. Bibliografia

- [1] ASAE S572.1.: Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra. 2009.
- [2] Czaczyk Zb.: Spray classification for selected flat fan nozzles. Journal of Plant Protection Research 52 (1), s. 180-183. 2012.
- [3] Czaczyk Zb.: Wstępne wyniki oceny jakości pracy rozpylaczy eżektorowych MMAT. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna 6, s. 10-12. 2011.
- [4] Czaczyk Zb.: Nierównomierność rozkładu poprzecznego cieczy i podatność wybranych rozpylaczy na zużycie. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna 5, s. 16-18. 2011.
- [5] Czaczyk Zb.: Wpływ zużycia rozpylaczy szczelinowych na charakterystykę ich pracy. Materiały z II Konferencji Racjonalna Technika Ochrony Roślin, Skierniewice, 23-24 października, s. 95-100, 2001.

- [6] Czaczyk Zb., B. Gnusowski: Comparison of fungicide residues in apple flesh depending on spraying categories. *Annales of the University of Craiova*, ISSN 1841-8317. Vol. XXXVII/A-2007, s. 554-557. 2007.
- [7] Czaczyk Zb., H. Kramer, S. Kleisinger: Influence of wear on spray quality of flat fan nozzles. *Parasitica* 57, s. 69-73. 2001.
- [8] Czaczyk Zb., H. Kramer, S. Kleisinger: Evaluation of the working quality of TIM flat fan nozzles with reference to European spraying standards. 8<sup>th</sup> International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture, Kuşadası, Turcja, Proceedings, ISBN 975-483-560-8, October 15-17, s. 321-324. 2002.
- [9] Doruchowski G., R. Hołownicki: Ewidencja zabiegów ochrony roślin. Plantpress Kraków, ISBN 978-83-89874-73-3. 32 s. 2008.
- [10] Doruchowski G., R. Hołownicki: Przewodnik Dobrej Organizacji Ochrony Roślin. Instytut Sadownictwa i Kwiaciarstwa, ISBN 978-83-60573-23-5, wyd. 2, 90 s. 2008.
- [11] Gajtkowski A.: Technika Ochrony Roślin. Wydawnictwo AR w Poznaniu, ISBN 83-7160-208-1, 257 s. 2000.
- [12] Guller H., H. Zhu, H.E. Ozkan, R.C. Derksen, Y. Yu, C.R. Krause: Spray characteristics and drift reduction potential with air induction and conventional flat-fan nozzles. *Transactions of the ASABE* 50 (3), s. 745-754. 2007.
- [13] Hewitt A.J.: The importance of droplet size in agricultural spraying. *Atomization and Sprays* 7 (3), s. 235-244, 1997.
- [14] Hewitt A.J.: Developments in international harmonization of pesticide drift management, *Phytoparasitica* 29 (2), s. 93-96. 2001.
- [15] Hilz E., A. W. P. Vermeer, F. A. M. Leermakers, M. A. Cohen Stuart: Spray drift: How emulsions influence the performance of agricultural sprays produced through a conventional flat fan nozzle. *Aspects of Applied Biology* 114, s. 71-78. 2012.
- [16] Hołownicki R.: Technika Opryskiwania Roślin dla Praktyków. ISBN 83-89874-50-4, Plantpress, 211 s. 2006.
- [17] ISO 10625: Equipment for crop protection. Sprayer nozzles. Colour coding for identification. International Standardization Organization. 12 s. 2005.
- [18] JKI: The list of certified nozzles at Julius Kühn-Institute in Braunschweig: [http://www.jki.bund.de/fileadmin/dam\\_uploads/\\_AT/ger%20C3%A4telisten/anerkannte\\_Duesen/Tabelle%20der%20JKI%20anerkannten%20Pflanzenschutzduesen.pdf](http://www.jki.bund.de/fileadmin/dam_uploads/_AT/ger%20C3%A4telisten/anerkannte_Duesen/Tabelle%20der%20JKI%20anerkannten%20Pflanzenschutzduesen.pdf), dostęp 25.04.2012.
- [19] Klein R., J. Golus, A. Cox: Spray droplets size and how it is affected by pesticide formulation, concentrations, carriers, nozzle tips, pressure and additives. *Aspects of Applied Biology* 84, s. 231-237. 2008.
- [20] Lipiński A., D. Choszcz, S. Konopka: Rozkład poprzeczny cieczy dla rozpylaczy Syngenta potato nozzle. *Inżynieria Rolnicza* 9 (97), s. 143-148. 2007.
- [21] Mathews G.A.: *Pesticide Applications Methods*. 3<sup>rd</sup> edn. Blackwell Science, Oxford, England, 432 s. 2000.
- [22] Miller P.C.H., C.R. Tuck: Factors influencing the performance of spray delivery systems: A Review of recent developments. *Journal of ASTM*, June, Vol.: 2, No. 6, Paper ID JAI12900, 13 s. 2005.
- [23] Miller P.C.H., C.R. Tuck, S. Murphy, M. da Costa Ferreira: Measurements of the droplet velocities in sprays produced by different designs of agricultural spray nozzle. *European Conference on Liquid Atomization and Spray Systems*, Como Lake, Italy, 8-10 September. Paper ID ILASS08-8-5, 8 s. 2008.
- [24] MRiRW: Krajowy Plan Działania na rzecz ograniczenia ryzyka związanego ze stosowaniem środków ochrony roślin na lata 2013-2017, 72 s. 2012.
- [25] Nuytens D., M. De Schamphelre, K. Baetens, B. Sonck: The influence of operator-controlled variables on spray drift from field crop sprayers. *Transaction of the ASABE* 50 (4), s. 1129-1140. 2007.
- [26] OECD: Report of the Seminar on Pesticide Risk Reduction Through Spray Drift Reduction Strategies as Part of National Risk Management. Joint meeting of the chemicals committee and the working party on chemicals, pesticides and biotechnology, Paris, 12 June 2008, Paper ID: ENV/JM/MONO(2009)36, 23 s. 2009. <http://www.oecd.org/dataoecd/21/22/44033714.pdf>
- [27] PIMR: Wyniki badań rozpylaczy dla sprzętu polowego i sadowniczego. 49 s. 2004.
- [28] PN-EN 12761-2: Maszyny rolnicze i leśne – Opryskiwacze oraz maszyny do nawożenia płynnymi nawozami mineralnymi – Ochrona środowiska – Część 2: Opryskiwacze polowe. Polska Norma. Polski Komitet Normalizacyjny. 30 s. 2001.
- [29] Pruszyński S., S. Wolny: Przewodnik dobrej praktyki ochrony roślin. Wydawnictwo IOR, ISBN 978-83-89867-85-8, 80 s. 2007.
- [30] Ratajkiewicz H., R. Kierzek: Effect of water hardness on droplet spectrum of spray solution including selected fungicides. *Annual Review of Agricultural Engineering*, ISSN 1429-303X, Vol. 4/1, s. 333-340. 2005.
- [31] Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 4 października 2001 r. (Dz. U. Nr 121, poz. 1303) i z dnia 15 listopada 2001 r. (Dz. U. Nr 137, poz. 1544). 2001.
- [32] Southcombe E.S.E., P.C.H. Miller, H. Ganzelmeier, J.C. van de Zande, A. Miralles, A.J. Hewitt: The international (BCPC) spray classification system including a drift potential factor. *Proceedings of the BCPC Crop Protection Conference-Weeds*, s. 371-380. 1997.
- [33] Spillman J.J.: Spray impaction, retention and adhesion: an introduction to basic characteristics. *Pestic. Sci.* 15, s. 97-106. 1984.
- [34] SPISE - 4<sup>th</sup> European Workshop on Standardized Procedure for the Inspection of Sprayers in Europe, Lana, Italy – 27-29 March. 2012. (<http://spise.jki.bund.de/>)
- [35] Szewczyk A., D. Łuczycza, K. Lejman: Wpływ parametrów opryskiwania wybranym rozpylaczem dwustrumieniowym na stopień pokrycia opryskiwanych obiektów. *Inżynieria Rolnicza*, 4 (129), s. 265-271. 2011.
- [36] Świechowski W., R. Hołownicki, G. Doruchowski, A. Godyń: Porównanie metod oceny rozpylaczy płaskostrumieniowych. *Problemy Inżynierii Rolniczej* 4, s. 5-12. 2006.
- [37] Teske M.E., A.J. Hewitt, D.L. Valcore: Drift and nozzle classification issues with ASAE standards S572 Aug99 Boundaries. Paper Number: AA03-001, written for presentation at the 2003 ASAE/NAAA Technical Session sponsored by ASAE Technical Committee PM23/6/2, 37<sup>th</sup> Annual National Agricultural Aviation Association Convention Silver Legacy Hotel and Casino, Reno, NV, December 8., 9 s. 2003.
- [38] Ustawa o zwalczaniu nieuczciwej konkurencji, Dz. U. 2003 nr 153 poz. 1503, tekst ujednolicony, 11 s. 2009.
- [39] Wachowiak M.: Technika stosowania środków ochrony roślin w uprawach polowych. *Kurier – Magazyn Bayer CropScience dla nowoczesnego Rolnika* ISSN 1731-8084, nr 1, s. 11-13. 2011.
- [40] Wachowiak M., R. Kierzek: Przydatność rozpylaczy eżektorowych w ochronie upraw polowych. *Materiały z IX Konferencji Racjonalna Technika Ochrony Roślin*, 12/13.X., ISBN 978-83-89867-47-6, s. 117-124. 2010.

Badania wykonano z dofinansowaniem, z bonów na innowacje nr: 456/BNI/DPP/11, 598/BNI/DPP/11 i 606/BNI/DPP/11, z Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości.

#### Podziękowania

Dr Clint'owi Hoffmann'owi, Kierownikowi Regionalnego Instytutu USDA (Areawide Pest Management Research Unit, College Station) w Teksasie, za dostęp do laboratorium oraz pilotowi doświadczalnemu agrolotnictwa Denham'owi Lee, za pomoc przy pomiarach wielkości kropli.

Dr.-Ing. Heinz'owi Ganzelmeier'owi, Dyrektorowi i Profesorowi w Instytucie Techniki Aplikacji Pesticydów JKI, za badania na stołach rowkowych.

Inż. Klemensowi Krupie, Prezesowi firmy Toral Gostyń, za wykonanie badań CV w SKO.