

DROPLET SIZE CHARACTERISTICS OF SELECTED NOZZLES FOR PROTECTION OF SPATIAL CROPS

Summary

This paper describes the emission droplet size spectra from agricultural nozzles under spatial operating conditions with respect to the spray proportion contained in droplets optimized for pesticide efficacy relative to the drift-prone droplets.

Key words: *sprayers; technical characteristics; atomization; quality; liquid losses; reduction; wind tunnels; laboratory experimentation*

CHARAKTERYSTYKA UŻYTKOWA WYBRANYCH ROZPYLACZY DO OCHRONY UPRAW PRZESTRZENNYCH

Streszczenie

Przedstawiono jakość rozpylenia i objętościowy bilans rozkładu cieczy na frakcje odpowiedzialne za poziom jej strat i efektywność biologiczną wybranych rozpylaczy stosowanych w ochronie upraw przestrzennych.

Słowa kluczowe: *rozpylacze; charakterystyka techniczna; rozpylanie; jakość; straty cieczy; redukcja; tunele aerodynamiczne; badania laboratoryjne*

1. Wprowadzenie

Skuteczność, bezpieczeństwo opryskiwania jak i poziom zużycia pestycydów w ochronie wieloletnich upraw rzędowych (sady, jagodniki), podobnie jak w przypadku upraw polowych, zasadniczo zależy od jakości rozpylenia cieczy [12, 28]. W Polsce badania w zakresie wpływu wielkości kropli na rozkład cieczy opryskowej prowadzono już od wielu lat [43]. Udokumentowane początki rozwoju konstrukcji rozpylaczy ciśnieniowych, skoncentrowane na efektywności zabiegów, sięgają połowy XIX w. [27]. Redukcję zagrożeń związanych ze stosowaniem środków ochrony roślin (ś.o.r.) można osiągać dzięki minimalizacji frakcji kropli mniejszych od 100 μm (podatnych na znoszenie) [4, 10, 12, 50], oraz większych od 500 μm (osiadanie na podłożu i ociekanie z roślin). Frakcja kropli 300÷500 μm również jest niekorzystna, gdyż jest mało efektywna ekonomicznie, a dla wielu ś.o.r. również biologicznie. Niektórzy uważają już krople większe od 400 μm za grube i nieefektywne [40]. W warunkach aplikacji ś.o.r., w wieloletnich uprawach rzędowych (ulistnionych), problem znoszenia cieczy wywołany podmuchem wiatru, jest znacznie mniejszy niż w uprawach polowych i dotyczy tylko górnej części rzędów, oraz przypadku gdy kierunek wiatru jest zbliżony do kierunku rzędów roślin. Natomiast bardzo wiele zależy od konstrukcji przystawki wentylatorowej [20, 49]. Wadą opryskiwaczy PSP (z pomocniczym strumieniem powietrza), z typowym wentylatorem osiowym [12] (bez deflektora) jest niedostateczne pokrycie górnych powierzchni liści [46], co w ochronie np. przed parchem jabłoni (łac. *Venturia inaequalis*) ma szczególne znaczenie, gdyż infekuje on na górnych powierzchniach liści. Salyani i Hoffmann [40] wykazali, że wyższe dawki stosowane grubszymi kroplami powodują gorsze pokrycie niż niższymi dawkami i drobniejszymi kroplami. Opryskiwacz wytwarzał następującą jakość rozpylenia: frakcje: $V_{<200} \sim 9\%$ obj., $V_{>400} \sim 40\%$ obj., $D_{v10} \sim 208 \mu\text{m}$, VMD $\sim 367 \mu\text{m}$, $D_{v90} \sim 564 \mu\text{m}$, klasa rozpylenia: średnie M (*Medium*). Przy stosowa-

niu PSP, energia kropli nadana im w rozpylaczu nie jest tak ważna jak na belce polowej, gdyż są transportowane przez powietrze o wysokiej prędkości ($>10 \text{ m/s}$), a lot ich do celu trwa ułamki sekund. Ważne są relacje objętości frakcji kropli przydatnych do tych, które w określonych warunkach generują ryzyko strat i decydują o efekcie końcowym zabiegu, w tym o poziomie strat rzeczywistych [26, 34].

Dostępność nowych odmian rozpylaczy sprzyja poprawie efektywności stosowania ś.o.r. [23, 24, 26, 29, 31, 50], oraz bezpieczeństwa ich aplikacji [14, 15, 19, 25, 30, 33, 46]. Czynniki pozwalających redukować straty cieczy opryskowej jest wiele. Część z nich leży w technice: rodzaj rozpylacza [3, 5-7, 13, 17, 21, 26, 29, 50], ciśnienie robocze, jakość rozpylenia, prędkość jazdy, siła podmuchu PSP [40], stopień zużycia rozpylaczy. Nie są one w pełni wykorzystane. Profesor Heping Zhu (USDA) uważa m.in., że rodzajów rozpylaczy jest już za dużo [konsultacja osobista] i brakuje niezbędnej wiedzy o dostępnych, w celu właściwego wykorzystania ich potencjału w różnych warunkach i zastosowaniach. Wytyczne FAO [9] już od 2001 r. zawierają obowiązek określania w instrukcjach obsługi opryskiwaczy m.in. klas jakości rozpylenia dla stosowanych rozpylaczy (pkt. 8.1 str. 28) (i zakres ich zużycia 25%).

W innych krajach prace nad określaniem i redukcją potencjału znoszenia są od lat intensywnie rozwijane i upowszechniane [3, 7, 11-16, 25, 26, 30, 34, 40, 45]. Stwierdzono przemieszczanie w powietrzu znoszonych pestycydów na ponad 140 km [47]. Za kryterium, według którego określa się potencjał znoszenia, lub stopień jego redukcji w warunkach upraw polowych, stosuje się rozpylacz 11003 przy ciśnieniu 300 kPa i wydatku jednostkowym 1,18 l/min [1]. Jest on także rozpylaczem referencyjnym rozgraniczającym klasy rozpylenia drobne F (*Fine*) i średnie M (*Medium*) [1]. Ocena klas jakości rozpylenia uwzględnia trzy wyliczane parametry (μm): D_{v10} , D_{v50} (VMD) i D_{v90} . Średnica D_{v10} to wartość, od której 10% objętości cieczy, rozpylona jest na krople mniejsze; VMD - mediana objętościowa

(D_{v50}), względem której połowa cieczy rozpylona jest na krople mniejsze, a druga połowa na większe, oraz D_{v90} , od której 10% objętości rozpylona jest na krople większe, a 90% na mniejsze.

Za rozpylacz referencyjny w warunkach sadowniczych do oceny potencjału znoszenia DRP (*drift reduction potential*), uznawany jest typowy rozpylacz wirowy Albus ATR lilac [50]. Jednorodność rozpylenia charakteryzuje wskaźnik RS = $(D_{90} - D_{10}) \cdot D_{50}^{-1}$ (*relative span*).

Metodykę klasyfikacji jakości rozpylenia ASAE/BCPC, opartą na trzech współczynnikach (D_{v10} , D_{v50} i D_{v90}) [1, 9, 18, 20, 29, 35, 41, 45, 50], naukowcy udoskonalają od wielu lat, włączając kolejne uwzględniające potencjał znoszenia [4, 10, 23, 26, 50]. Trwają także konsultacje w ramach np. warsztatów OECD [33], czy SPISE [44], w celu poprawy bezpieczeństwa aplikacji ś.o.r. Różne państwa prowadzą własne działania w tym zakresie (Australia, Holandia, Niemcy, Nowa Zelandia, USA, Wielka Brytania). Polska nie uczestniczy w działaniach OECD, czy <http://sdrtr.info/>. Materiały informacyjno szkoleniowe instytucji branżowych nie obejmują wyczerpująco problematyki jakości rozpylenia [2, 8, 19, 20, 37]. Publikacja charakteryzuje część rozpylaczy aktualnie dostępnych w Polsce [34].

Celem badań było określenie charakterystyk jakości rozpylenia końcówek stosowanych w opryskiwaczach PSP i porównanie wybranych frakcji kropli, z uwzględnieniem potencjału redukcji ryzyka strat (znoszenia, osiadania, ściekania) i efektywności wykorzystania cieczy.

2. Materiały i metodyka badań

Badania testowanych rozpylaczy wykonano w Laboratorium Regionalnego Instytutu USDA (*Areawide Pest Management Research Unit, College Station*), w październiku 2011 r., w Teksasie. Ocenie charakterystyk rozpylenia, poddano wycinkowo 29 typów rozpylaczy (tab. 1 i 2), w tym pięć referencyjnych (TeeJet 11001, TeeJet 11003, TeeJet 8008, TeeJet 6510 [1, 9, 45] i Albus ATR lilac [50]).

Badany rozpylacz przemieszczany był pionowo w dół, na wylocie tunelu aerodynamicznego, rozpylając ciecz poziomo i zgodnie z kierunkiem podmuchu (prędkość powietrza ~2 m/s), skierowaną z odległości 50 cm (wg zaleceń BCPC), w zasięg wiązki światła laserowego, emitowanej przez dyfrakcyjny analizator wielkości cząsteczek: SympaTec® HELOS Vario, o zakresie pomiarowym: 0,5-3500 μm (31 frakcji). Widmo kropli badano stosując wodę wodociągową o dynamicznym napięciu powierzchniowym (*dynamic surface tension*) DST ~63 mN/m, oraz w kilku wariantach wodę z dodatkiem jednego z dwóch niejonowych surfaktantów: Agral (0,1%_{obj.}); DST ~32 mN/m i R11 (0,25%_{obj.}); DST ~33 mN/m. Temperatury cieczy i powietrza były zbliżone i wynosiły ~18°C, przy Rh ~65%. Wyniki wielkości kropli uśredniano z co najmniej trzech zbliżonych pomiarów (rys. 1). Określono wartości charakterystycznych średnic (μm): D_{v10} , D_{v50} (VMD) i D_{v90} , oraz RS. Obliczono również objętościowe wskaźniki rozpylenia (%_{obj.}) na frakcje kropli mniejszych od: 100 μm ($V_{<100}$), 150 μm ($V_{<150}$), 250 μm ($V_{<250}$) i od 500 μm ($V_{<500}$), oraz dwie ważne frakcje: 100-150 μm i 100-250 μm . Frakcja 100÷150 μm (74÷150 μm) jest najefektywniejszą w warunkach upraw rządowych, przy sprzyjających warunkach środowiskowych (t ~10-20°C, Rh >60%, wiatr 0,5-2 m/s), zarówno co do skuteczności biologicznej jak i agrotechnicznego wykorzystania opryskiwacza [11, 12, 25, 26, 46]. Badania

z przyczyn technicznych były możliwe tylko w zakresie ciśnień do 750 kPa.

W uproszczonej formie porównano potencjały strat względem wartości zmierzonych w tych samych warunkach, dla rozpylacza referencyjnego Albus ATR lilac [50]: DRP_{<100}: redukcji znoszenia cieczy, odnosząc z proporcji objętość frakcji kropli mniejszych od 100 μm , do wartości dla rozpylacza referencyjnego; $V_{<100} = 51,9\%$ _{obj.} \Rightarrow DRP_{<100} = 0%, DRP_{>500}: redukcji frakcji podatnej na osiadanie i ściekanie, czyli kropli większych od 500 μm , (% od wartości dla rozpylacza referencyjnego): $V_{>500} = 100\%$ _{obj.} \Rightarrow DRP_{>500} = 0%, tab. 1.

3. Wyniki i dyskusja

Tab. 1 i 2, zawierają zestawienie mikroparametrów jakości pracy 29 badanych rozpylaczy w tym pięciu jako referencyjnych: 12 w tab. 1, i 17 w tab. 2, oraz sześciu przybliżonych wartości rozgraniczających klasy wg ASAE [1]. Określono wskaźniki: D_{v10} , D_{v50} , D_{v90} (μm); $V_{<100}$, $V_{<150}$, $V_{<250}$, $V_{<500}$ (%_{obj.}); DRP_{<100}, DRP_{>500} (%), RS i klasy rozpylenia wg ASAE (oznaczenie i barwa) [1]. Dla niektórych wariantów określono także frakcje: V_{74-150} . Wartości DRP_{<100} i DRP_{>500} obliczono wg zasad opisanych w rozdziale Materiały i Metodyka.

Tab. 1 zawiera zmierzone charakterystyki rozpylaczy: ośmiu wirowych, w tym referencyjny - Albus ATR lilac (ocena potencjału redukcji znoszenia DRP) [50] i pięciu płaskostrumieniowych, w tym dwóch rozpylaczy referencyjnych: TeeJet 11001 - granica jakości rozpylenia: bardzo drobne i drobne VF/F (*Very Fine/Fine*), oraz TeeJet 11003 - granica jakości rozpylenia: drobne i średnie F/M (*Fine/Medium*) [1, 9, 45]. Zamieszczono również przybliżone wartości rozgraniczenia klas: bardzo drobne i drobne (VF/F) 11001; drobne i średnie (F/M) 11003 – tab. 1.

Tab. 2 przedstawia wyniki uzyskane dla 17 rozpylaczy: siedmiu eżektorowych wirowych i 10 płaskostrumieniowych: dwóch standardowych referencyjnych; TeeJet 8008, rozgraniczającego klasy: grube i bardzo grube C/V (*Coarse/Very Coarse*), oraz TeeJet 6510, rozgraniczającego klasy bardzo grube i ekstremalnie grube VC/XC (*Very Coarse/Extremely Coarse*) oraz ośmiu eżektorowych płaskostrumieniowych. Zamieszczono także przybliżone cztery wartości rozgraniczające powyższe klasy i klasy: średnie i grube M/C (*Medium/Coarse*) oraz ekstremalnie grube i ultra grube XC/UC (*Extremely Coarse/Ultra Coarse*) [1].

Odpowiedniki rozpylaczy 11006 jak i 6515 (tab. 2), nie były dostępne w trakcie realizacji badań. Barwy tła w kolumnie klas jakości rozpylenia są zgodne z normą ASAE S572.1. [1].

Poza wyjątkiem ATR white, badane rozpylacze (tab. 1 i 2), uzyskały lepsze wartości DRP_{<100} (-99,4÷ -9,2%), niż rozpylacz referencyjny ATR lilac (przy ciśnieniu 750 kPa). Potencjał strat DRP_{>500}, tylko dla rozpylaczy eżektorowych był większy od referencyjnego o ok. 5,8-85%. Spośród rozpylaczy eżektorowych najniższą redukcję potencjału znoszenia (DRP_{<100}) w zakresie stosowanych ciśnień uzyskał AVI 8001 (-82,7%). Rozpylacze TVI wykazały redukcję potencjału znoszenia (DRP_{<100}) powyżej 95%. Natomiast o ile rozpylacze nieeżektorowe (tab. 1), nie wytwarzały nieefektywnej frakcji generującej straty (DRP_{>500}), mimo niskich ciśnień, to rozpylacze eżektorowe uzyskały jej stosunkowo wysokie wartości: 5-55%, a nawet 85% (TVI 8004). Proporcje te mogą ulec zmianie w wyższym zakresie

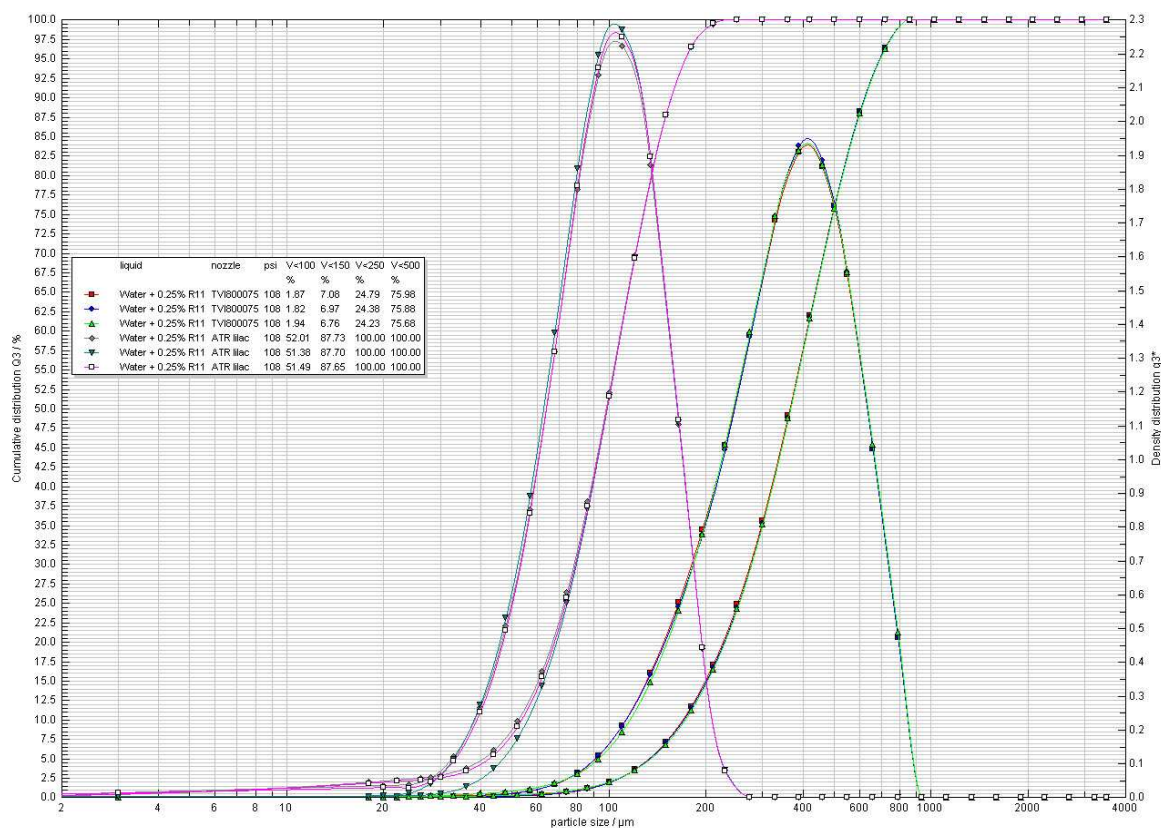
ciśnien. W porównaniu do objętości frakcji najefektywniejszej biologicznie (100-250 μm), wynoszącej dla rozpylaczy eżektorowych 2-46% i w porównaniu do wyników uzyskanych dla rozpylaczy nieeżektorowych (~33-64%), wysokie wartości $\text{DRP}_{>500}$ (strat) są zjawiskiem niekorzystnym. Zakres frakcji najefektywniejszej w określonych warunkach jest zmienny: 74(100)-150, 100-250 μm i wynika z wielu czynników [12, 27, 46].

Udokumentowana, niższa skuteczność biologiczna wynika głównie z aplikacji grubokroplistej [3, 12, 24-26, 29, 40, 46]. Niższa jest też efektywność agrotechniczna ochrony wykonanej za pomocą rozpylaczy eżektorowych [46]. Rozpylacze zamieszczone w tab. 1, w zasadzie nie wytwarzały więcej niż kilka do kilkunastu procent frakcji 250-500 μm , co jest jedną z ich zalet. Z uwagi na korzystny rozkład rozpylanej cieczy w efektywnych frakcjach, szczególnie ATR lilac do orange, wydają się one być najkorzystniejszym rozwiązaniem w ochronie upraw rzędowych, co wykazał m.in. Triloff [46]. Potwierdza to tezy Butlera Ellisa i in. [3]. Triloff wykazał także [46], że w odpowiednim scenariuszu wg modelu MABO (dobranych prędkości: powietrza z wentylatora i jazdy opryskiwacza oraz liczby czynnych rozpylaczy ATR do parametrów koron drzew), można uzyskać wysoką efektywność zabiegu (biologiczną i agrotechniczną), równocześnie znacznie redukując znoszenie cieczy. Zostało to potwierdzone wpisem na listę technik redukujących znoszenie cieczy opryskowej w Instytucie Juliusza Kühn'a (*Julius Kühn-Institut*) w Braunschweigu (www.jki.bund.de) i uzyskało klasę 75% redukcji znoszenia [23] (dwa górne rozpylacze z każdej strony są antyznoszeniowe). Również w ochronie drzew cytrusowych właściwie dobrane rozpylenie drobnokropliste daje korzystne efekty [18]. Heijne i in. wykazali także, że w warunkach holender-

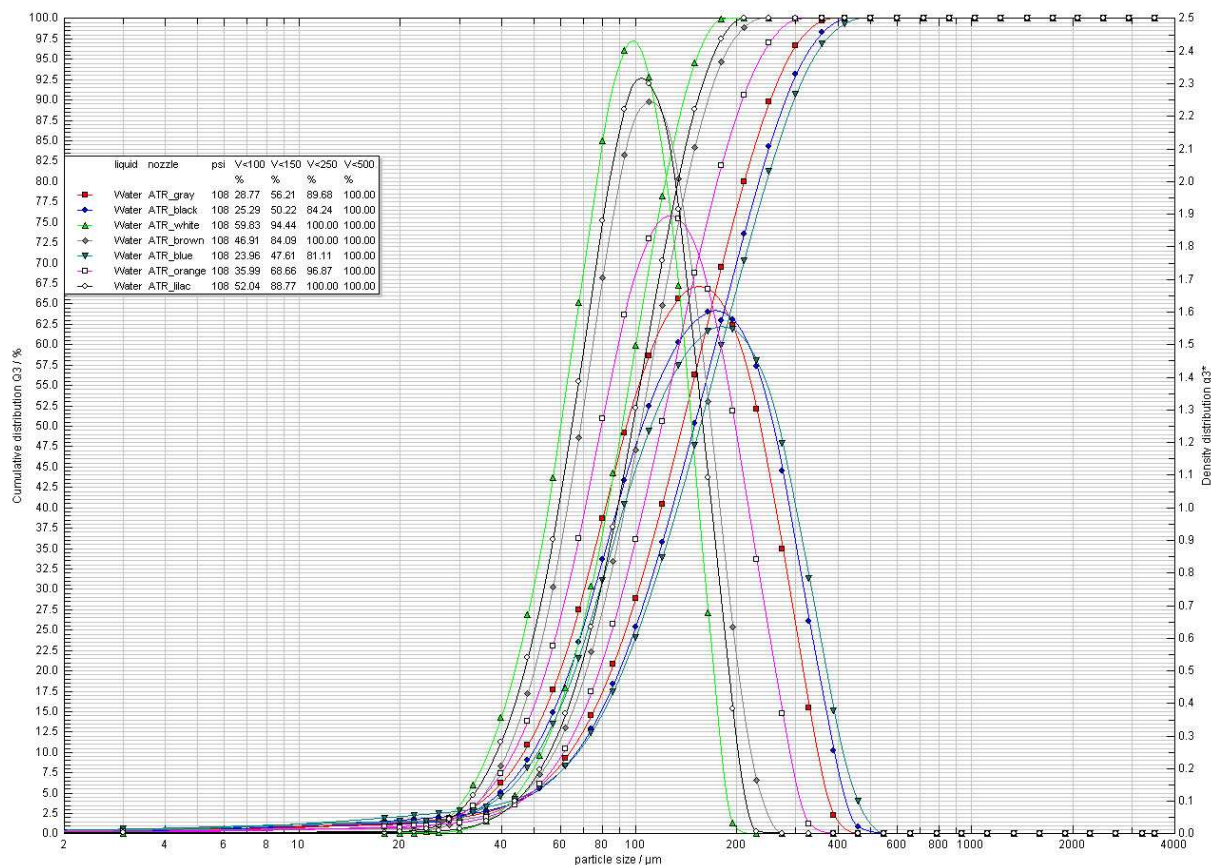
skich rozpylacze eżektorowe, w porównaniu do ATR, nie zmniejszają stopnia skażenia wód powierzchniowych [14]. Wyższą przydatność rozpylenia drobnokroplistego w ochronie sadów, w korzystnych warunkach pogodowych (niż grubokroplistego), uznawano już od przełomu XIX i XX w. [25].

Zastosowane wycinkowo niejonowe substancje powierzchniowo czynne (surfaktanty), mimo zbliżonych wartości DST rzędu 32-33 mN/m, powodowały zróżnicowane zmiany w jakości rozpylenia dla różnych ciśnień (np. AVI 8001 i AVI 11001). Dla rozpylacza wirowego ATR lilac, przy ciśnieniu 450 jak i 600 kPa (tab. 1), właściwości antyznoszeniowe (niższe objętości w niekorzystnych frakcjach) wykazał surfaktant Agral, natomiast R11 nie spowodował znaczących różnic względem wartości uzyskiwanych dla wody wodociągowej (tab. 1). W przypadku rozpylaczy eżektorowych R11 wywoływał bardziej korzystne zmiany w jakości rozpylenia w porównaniu z Agral'em. Mały objętości frakcji niekorzystnych, a rosła objętość frakcji korzystnej. Potwierdza to indywidualne działanie dodatków powierzchniowo czynnych na jakość rozpylenia. Właściwości surfaktantów [17], wody [38] i cieczy opryskowych [10, 22, 27, 42], powodują zmiany jakości rozpylenia wraz z ciśnieniem oraz typem (i budową) rozpylacza (tab. 1 i 2). Odrębnym zagadnieniem jest zjawisko rozplywu kropli (wpływ różnych surfaktantów) na powierzchniach (częściach roślin) o różnych właściwościach [17, 24, 43] i wielkościach [3], zależne także od wielkości kropli.

Wykresy (rys. 1) przedstawiają znaczne różnice w spektrum kropli wytwarzanych przez rozpylacze: standardowy - wirowy ATR lilac ($q_r \sim 0,44$ l/min, VF [1]) i wirowy eżektorowy - TVI 800075 ($q_r \sim 0,47$ l/min, C [1]) proponowane alternatywnie w opryskiwaczu CASA [49].



Rys. 1. Wykresy rozkładów objętościowych w poszczególnych klasach i frakcjach (legenda), uzyskanych dla rozpylaczy: Albuz: ATR lilac i TVI 800075, przy ciśnieniu 750 kPa (108 psi), ciecz 0,25%obj. surfaktantu R11
 Fig. 1. The graphs of volumetric distributions in each class and fractions (legend), obtained for these nozzles: Albuz ATR lilac and TVI 800075, at 750 kPa pressure (108 psi), liquid 0.25%vol. R11 surfactant



Rys. 2. Wykresy rozkładów objętościowych w poszczególnych klasach i frakcjach, uzyskanych dla rozpylaczy wirowych Albuz ATR: white, lilac, brown, orange, grey, black, blue, przy ciśnieniu 750 kPa (108 psi)

Fig. 2. The graphs of volumetric distributions in each class and fractions, obtained for these nozzles: Albuz ATR: white, lilac, brown, orange, grey, black, blue, at 750 kPa pressure (108 psi)

Tab. 1. Charakterystyki rozpylaczy nieżeektorowych, oznaczenia: A, R: surfaktanty Agral i R11

Table 1. Characteristics of the non air induction nozzles, symbol: A, R: Agral and R11 surfactant

Typ rozpylacza	P	D _{v0,1}	D _{v0,5} VMD	D _{v0,9}	V <100	V <150	V <250	V <500	V _{74÷150*} /100÷150	DRP (V<10 0)	DRP (V>50 0)	RS	Klasa Class
Nozzle type	kPa	μm			%obj. %vol.				%		-	[1]	
ATR white	750	53,2	91,4	141,7	59,7	94,5	100	100	34,8	15,0	0	0,98	VF
ATR lilac	450	53,1	103,1	165,8	47,2	84,6	100	100	37,4	-9,1	0	1,09	VF
ATR lilac _A	450	48,7	111,2	197,6	42,5	73,1	97,8	100	48*/31	-18,1	0	1,34	VF
ATR lilac _R	450	53,0	104,0	168,6	46,5	83,4	100	100	36,9	-10,4	0	1,12	VF
ATR lilac	500	53,5	101,1	161,8	49,0	86,2	100	100	37,2	-5,6	0	1,07	VF
ATR lilac _R	500	52,2	103,1	166,7	47,2	84,2	100	100	37,0	-9,1	0	1,11	VF
ATR lilac	600	54,5	98,3	155,8	51,7	88,3	100	100	36,6	-0,4	0	1,03	VF
ATR lilac _A	600	61,8	118,9	186,1	34,7	73,4	99,0	100	57*/39	-33,1	0	1,04	VF
ATR lilac _R	600	51,4	99,8	162,0	50,2	86,2	100	100	36,0	-3,3	0	1,09	VF
ATR lilac ^[50]	750	55,1	98,1	153,9	51,9	88,8	100	100	36,9	0	0	1,01	VF
ATR lilac _R	750	53,8	98,4	157,9	51,6	87,7	100	100	36,1	-0,6	0	1,06	VF
ATR brown	750	57,0	103,2	166,5	47,1	84,3	100	100	37,2	-9,2	0	1,06	VF
ATR orange	750	60,0	119,7	208,4	35,9	68,4	96,9	100	32,5	-30,8	0	1,22	VF
TeeJet 11001 ^[45]	450	57,3	117,5	206,3	37,7	70,1	96,7	100	32,4	-27,4	0	1,27	VF
11001 ^[1]	450	51	118	210	-	-	-	-	-	-	-	1,34	VF F
ATR grey	750	63,3	138,3	252,3	28,8	56,2	89,7	100	27,4	-44,5	0	1,37	F
ATR black	750	66,2	149,8	283,3	25,3	50,1	84,1	100	24,8	-51,3	0	1,45	F
ATR blue	750	67,2	156,4	297,5	23,9	47,4	81,0	100	23,5	-53,9	0	1,47	F
AXI 8002 ^[22]	450	71,2	158,0	291,4	22,7	46,6	82,0	100	23,9	-56,3	0	1,39	F
TXA 8002 ^[22] _A	450	60,5	148,1	260,8	26,5	51,0	88,4	99,9	36*/24	-48,9	-0,1	1,35	F
XR 8002VS ^[22]	450	72,7	162,5	310,2	21,3	44,7	79,5	100	23,4	-59,0	0	1,46	F
TeeJet 11003 ^[45]	300	77,5	190,0	358,1	17,8	36,2	68,2	99,5	18,4	-65,7	-0,5	1,47	F
11003 ^[1]	300	95	232	421	-	-	-	-	-	-	-	1,41	F M

Tab. 2. Charakterystyki rozpylaczy eżektorowych, oznaczenia: A, R: surfaktanty Agral i R11
 Table 2. Characteristics of the air induction nozzles, symbol: A, R: Agral and R11 surfactant

Typ, type visi flow ^[22]	P kPa	D _{v0,1}	D _{v0,5}	D _{v0,9}	V _{<100}	V _{<150}	V _{<250}	V _{<500}	V _{74÷150*} V _{100÷150}	DRP V _{<100}	DRP V _{>500}	RS -	Klasa[1] Class[1]
		μm			%obj.		%vol.			%			
11006 ^[1]	200	144	334	584	-	-	-	-	-	-95,2	-23,1	1,32	M C
TVI 800050	750	178,4	372,1	598	2,5	6,5	22,3	76,9	4,0	-95,2	-23,1	1,13	C
TVI 800075	450	239,1	514,2	852	0,8	2,9	11,0	47,7	2,1	-98,5	-52,3	1,19	VC
TVI 800075 _A	450	282,7	526,5	795	0,4	1,4	6,8	44,8	1,3*/1,0	-99,2	-55,2	0,97	VC
TVI 800075	500	223,1	485,1	812	1,2	3,6	12,9	52,6	2,4	-97,7	-47,4	1,21	VC
TVI 800075	600	200,8	447,7	738	1,9	4,9	16,2	59,7	3,0	-96,3	-40,3	1,20	C
TVI 800075 _A	600	236,8	439,5	647	0,6	2,4	11,6	64,5	2,2*/1,8	-98,8	-35,5	0,93	C
TVI 800075	750	182,0	381,5	626	2,2	6,1	21,1	74,5	3,9	-95,8	-25,5	1,16	C
TVI 800075 _R	750	170,6	365,3	627	1,9	6,9	24,5	75,8	5,0	-96,3	-24,2	1,25	C
TVI 8001	750	241,3	490,9	802	1,0	2,8	10,8	51,7	1,8	-98,0	-48,3	1,14	VC
AVI 8001 _A	450	209,7	391,7	652	1,7	4,2	16,5	72,9	3,4*/2,5	-96,7	-27,1	1,13	C
AVI 8001	500	144,0	348,8	611	4,4	10,8	28,3	78,7	6,4	-91,5	-21,3	1,31	C
AVI 8001	600	118,4	308,7	554	7,2	15,4	36,2	84,6	8,2	-86,1	-15,4	1,41	M
AVI 8001 _A	600	191,4	369,5	563	1,7	5,2	19,5	82,4	4,5*/3,5	-96,7	-17,6	1,00	M
AVI 8001	750	104,0	264,2	452	9,0	19,6	45,9	95,2	10,6	-82,7	-4,8	1,31	M
AVI 11001	600	144,8	317,2	504	4,1	10,8	32,0	90,2	8,9*/6,7	-92,1	-9,8	1,13	M
AVI 11001 _A	600	158,0	307,7	471	2,8	8,6	31,4	94,2	7,5*/5,8	-94,6	-5,8	1,02	M
AVI 80015	750	121,9	306,3	514	6,6	14,8	35,9	88,8	8,2	-87,3	-11,2	1,29	M
8008 ^[1]	250	186	427	743	-	-	-	-	-	-	-	1,31	C VC
TeeJet 8008 ^[45]	276	138,6	344,7	606	4,9	11,4	29,2	77,7	6,5	-90,6	-22,3	1,36	M
TeeJet 8008 _R	276	111,2	288,8	551	7,8	17,9	40,9	86,3	10,1	-85,0	-13,7	1,52	M
AVI 8002	450	201,0	457,2	762	1,9	5,2	15,5	57,8	3,3	-96,3	-42,2	1,23	VC
AVI 8002	500	189,4	439,0	721	2,2	6,0	17,6	60,8	3,8	-95,8	-39,2	1,21	C
AVI 8002	750	145,0	349,0	590	4,4	10,6	27,9	79,6	6,2	-91,5	-20,4	1,27	C
AVI 8002 _R	750	126,0	310,2	571	5,5	14,6	36,9	83,2	9,1	-89,4	-16,8	1,44	M
TVI 8002	750	292,0	607,1	1003	0,6	1,8	6,8	34,6	1,2	-98,8	-65,4	1,18	XC
TeeJet 6510 ^[45]	276	177,2	456,8	821	3,1	7,3	18,3	56,6	4,2	-94,0	-43,4	1,41	C
TeeJet 6510 _R	276	143,3	384,6	728	4,5	10,9	26,6	68,4	6,4	-91,3	-31,6	1,51	C
6510 ^[1]	200	214	498	905	-	-	-	-	-	-	-	1,39	VC XC
AVI 80025	750	139,5	344,9	587	4,8	11,5	29,2	80,1	6,7	-90,8	-19,9	1,30	M
TVI 80025	750	306,7	627,7	1042	0,5	1,5	5,9	32,2	1,0	-99,0	-67,8	1,16	XC
IDN 120025	500	247,6	567,7	962	1,14	3,4	10,8	42,6	2,26	-97,8	-57,4	1,32	C
AVI 8003	750	167,7	401,0	683	3,1	7,9	21,5	68,7	4,8	-94,0	-31,3	1,28	C
TVI 8003	750	257,0	525,8	859	0,8	2,4	9,3	45,8	1,6	-98,5	-54,2	1,14	VC
AVI 8004	750	160,3	401,2	696	3,4	8,7	22,7	67,7	5,3	-93,4	-32,3	1,34	C
6515 ^[1]	150	283	631	1017	-	-	-	-	-	-	-	1,16	XC UC
TVI 8004	750	428,8	842,9	1372	0,3	0,7	2,4	15,0	0,4	-99,4	-85,0	1,11	UC

Jak wynika z porównania w tab. 3, stosowanie rozpylaczy eżektorowych pociąga za sobą zwiększenie dawek, w celu uzyskania podobnej jakości pokrycia. Obniża to efektywność opryskiwania (wymaga więcej czasu na transport i napełnianie opryskiwacza cieczą roboczą), czyli wydajność sprzętu, zmniejsza możliwość wykonania zabiegu we właściwym terminie i odpowiednich warunkach, oraz stwarza ryzyko fitotoksyczności. Wtórne rozpryskiwanie się grubych „napowietrzonych” kropli po natrafieniu na pierwszą przeszkodę (ang. *spreading*), jak wynika z badań np. Webb’a [48], nie następuje w każdym warunkach. Znacząco zależy ono także od cech traktowanej powierzchni (indywidualnych właściwości roślin i pozycji/kąta docelowej powierzchni względem trajektorii lotu kropli) i nie jest dotychczas szerzej zbadane.

Dzięki udoskonalaniu formulacji ś.o.r., konstrukcji rozpylaczy i opryskiwaczy; powstają nowe możliwości bezpieczniejszej i skuteczniejszej ochrony roślin. Im krople mniejsze (74÷150 μm) tym mniej cieczy potrzeba na wy-

konanie skutecznego zabiegu, co jest zbieżne z potrzebą podnoszenia wydajności pracy [12, 27]. Takie kropelki są jednak bardzo podatne na znoszenie i odparowanie [17]. Wyniki badań znoszenia, z uwagi na to, że niektóre metody ilościowe (zwłaszcza fluorymetryczne), jak twierdzi m.in. dr A. Hewitt [konsultacja osobista] mają niską czułość (próbki [47] i barwniki), mogą dawać rozbieżne interpretacje rezultatów.

Od wielu lat poszukuje się kompromisu, aby pogodzić wysoką skuteczność, bezpieczeństwo i wydajność opryskiwania. Niektóre preparaty stosowane grubszymi kroplami (systemiczne i nawozy) dają korzystny efekt [5, 30], gdyż wnikiwanie preparatu w tkankę roślinną możliwe jest tylko w fazie ciekłej, która dla kropli większych trwa znacznie dłużej. Niestety transfer wiedzy naukowej do opracowań dedykowanych praktyce rolniczej z zakresu techniki ochrony roślin postępuje wolno i nie zawsze przebiega w sposób kompleksowy [2, 8, 19, 20, 32, 37].

W Polsce jedyną regulacją dotyczącą rozpylaczy traktującą znoszenie jest PN-EN 12761-2 [36]. Wg niej wartość D_{v10} dla rozpylacza 11002 (przy 250 kPa), przybliżona z aproksymacji, wynosi $\sim 90 \mu\text{m}$. Rozpylacze w tabeli 1, przy znacznie wyższej efektywności ochrony i z redukcją znoszenia 75% [23], dają wartości D_{v10} znacznie niższe od referencyjnej ($\sim 90 \mu\text{m}$). Rozpylacze w tab. 2 wielokrotnie tę wartość przekraczają, nie zapewniając dobrej efektywności agrotechnicznej, co pozwala uznać ten wskaźnik i tę metodę weryfikacji potencjału znoszenia za niedoskonałą. Zagadnienie znoszenia wymaga głębszego ujęcia jednoznaczными regulami i zaleceniami, w innym razie jakiegokolwiek rzetelne ujęcie bezpieczeństwa ochrony [32], w tym opracowanie stref buforowych nie będzie możliwe.

Odnosząc się do propozycji zmiany aktywnego rozpylacza przy wzroście siły wiatru $>2 \text{ m/s}$: automatycznej (np. *vario wind select* [20], CASA [49]), bądź manualnej: ze standardowego na eżektorowy o tym samym wydatku, w celu uzyskania pozornie wyższego potencjału redukcji strat, w tym znoszenia cieczy, można rozważyć porównanie (tab. 3) sporządzone przy założeniu 12 czynnych rozpylaczy (rozstaw rzędów 3,5 m). Kolorem czerwonym oznaczono nagłówki kolumn frakcji niekorzystnych, zielonym najkorzystniejszych, pomarańczowym frakcję o niskiej efektywności a wysokim potencjale redukcji znoszenia. Kolor wartości oznacza: czerwony – wartość niekorzystna, zielony – wartość korzystna, pomarańczowy – wartość dyskusyjna, czarny – bez komentarza.

Z zestawienia w tab. 3 zauważyć można znaczące różnice bilansu frakcji kropli efektywnych w ochronie roślin, na niekorzyść rozpylaczy eżektorowych. Barwy tła kolumny z oznaczeniami rozpylaczy odpowiadają klasom jakości rozpylenia wg ASAE [1]. Stwierdzić należy, że rozpylacze o drobniejszym rozpyleniu wykazują wyższe wskaźniki frakcji bardziej przydatnych, co stwierdzono już w innych pracach. W warunkach upraw polowych Butler Ellis i in. [3] wykazali jednoznacznie, że rozpylacze eżektorowe wywołują gorsze pokrycie, poprzez znacznie większe odległości między śladami kropli uzyskanymi dla jakości opryskiwania: grubym (C), średnim (M), a drobnym (F). Stąd dawki dla uzyskania podobnego efektu biologicznego, kroplami większymi od drobnych (F) muszą być wyższe [29, 40], szczególnie nalistnie (ang. *foliage acting*). Dotyczyło to części roślin mniejszych od $2,5 \div 5 \text{ cm}$ szerokości i liczbie liści mniejszej niż trzy [3]. W efekcie udoskonalania właściwości cieczy (stopnia rozplywu kropli) czynnikiem decydującym o skuteczności biologicznej okazuje się gęstość kropli w strumieniu i ich liczba na powierzchni, która nie może być zbyt niska [17]. W sadownictwie ma to wyjątkowe znaczenie, gdyż ochrona młodych, szybko rozwijających się pędów, pąków i liści, dotyczy właśnie niewielkich części roślin i wymaga ich dokładnego pokrycia szczególnie środkami zapobiegawczymi [46]. Autorzy [3] donoszą również o różnicach w jakości rozpylenia dla podobnych wizualnie końcówek eżektorowych różnych producentów.

Tab. 3. Porównanie charakterystyk (frakcji) rozpylaczy dla scenariusza przyrostu prędkości wiatru ($>2 \text{ m/s}$), oznaczenia: A – $0,1\%_{\text{obj}}$ surfaktantu Agral, R – $0,25\%_{\text{obj}}$ surfaktantu R11

Table 3. Comparison of the nozzles characteristics (fractions) for scenario of increased wind speed ($>2 \text{ m/s}$), symbol: A – $0.1\%_{\text{vol}}$ of Agral surfactant, R – $0.25\%_{\text{vol}}$ R11 surfactant

Typ rozpyl. Nozzle type	p	v	$q_{r\text{ISO}}$	Q_{12}	$V_{<100}$		$V_{100-150}$		$V_{100-250}$		$V_{250-500}$		$V_{>500}$		DRP $V_{<100}$	DRP $V_{>500}$
ASAE [1]	kPa	km/h	l/min	l/ha	% _{obj}	l/ha	% _{obj}	l/ha	% _{obj}	l/ha	% _{obj}	l/ha	% _{obj}	l/ha	% _{ATR lilac}	
ATR lilac	450	5,0	0,35	144	47,2	68,0	37,4	53,9	52,8	76,0	0	0	0	0	-9,1	0
ATR lilac	450	6,0	0,35	120	47,2	56,6	37,4	44,9	52,8	63,4	0	0	0	0	-9,1	0
ATR lilac	500	5,0	0,36	148	49,0	72,6	37,2	55,1	51,0	75,5	0	0	0	0	-5,6	0
ATR lilac	600	6,0	0,39	134	51,7	69,3	36,6	49,0	48,3	64,7	0	0	0	0	-0,4	0
ATR lilac	600	6,0 _A	0,39	134	34,7	46,5	64,3	86,2	39,0	52,3	1,0	1,3	0	0	-33	0
ATR lilac	600	6,0 _R	0,39	134	50,2	67,3	36,0	48,2	49,8	66,7	0	0	0	0	-3,3	0
ATR lilac	750	6,0	0,44	151	51,9	78,4	36,9	55,7	48,1	72,6	0	0	0	0	0	0
AXI 8002	450	6,0	0,97	332	22,7	75,4	23,9	79,3	59,3	197	18,0	60	0	0	-56	0
TXA 8002	450	6,0 _A	0,97	332	26,5	88,0	24,5	81,3	61,9	205	11,5	38	0,1	0,3	-49	-0,1
AVI 8002	450	6,0	0,97	332	1,9	6,3	3,3	11,0	13,6	45,2	42,3	140	42,2	140	-96	-42
AVI 8002	450	5,0	0,97	399	1,9	7,6	3,3	13,2	13,6	54,3	42,3	169	42,2	168	-96	-42
AVI 8002	750	6,0	1,26	432	4,4	19,0	6,2	26,8	23,5	102	51,7	223	20,4	88	-91	-20
TVI 800050	750	5,0	0,32	132	2,5	3,3	4,0	5,3	19,8	26,1	54,6	72	23,1	30	-95	-23
TVI 800075	500	5,0	0,39	160	1,2	1,9	2,4	3,9	11,7	18,8	39,7	64	47,4	76	-98	-47
TVI 800075	750	6,0	0,47	161	2,2	3,5	3,9	6,3	18,9	30,4	53,4	86	25,5	41	-96	-25
TVI 800075	750	5,0	0,47	193	2,2	4,2	3,9	7,5	18,9	36,5	53,4	103	25,5	49	-96	-25
TVI 800075	750	6,0 _R	0,47	161	1,9	3,1	5,0	8,0	17,6	28,3	51,3	83	24,2	39	-96	-24
TVI 800075	750	5,0 _R	0,47	193	1,9	3,7	5,0	9,7	17,6	34,0	51,3	99	24,2	47	-96	-24
AVI 80015	750	6,0	0,94	322	6,6	21,2	8,2	26,4	29,3	94,3	52,9	170	11,2	36	-87	-11
AVI 8001	750	6,0	0,63	216	9,0	19,4	10,6	22,9	36,9	80	49,3	106	4,8	10	-83	-4,8

Z tego mogą wynikać różnice w efekcie biologicznym szczególnie dla rozpylaczy eżektorowych o drobniejszej jakości rozpylenia [3], co potwierdzają wyniki w tab. 2. Zatem generalizowanie opinii o wyższości w ochronie roślin rozpylenia grubokroplistego i rozpylaczy eżektorowych nad innymi, czy ich równoważności z drobnokroplistymi, nie jest uprawnione [13, 21, 29, 46], gdyż każdy rozpylacz cechuje indywidualna charakterystyka.

Celem badań nad parametrami i doborem rozpylaczy winien być właściwy skutek biologiczny i optymalizacja bilansu rozkładu ś.o.r., a nie redukcja znoszenia cieczy przez wiatr, kosztem np. większych strat przez osiadanie, ściekanie (fitotoksyczność, pozostałości ś.o.r.), czy niższej efektywności [49, 50].

Przyjęcie porównywanych parametrów pracy opryskiwacza przez Wennekera i in. [49] w wariantcie opryskiwacza tradycyjnego byłby korzystniejszy dla ciśnienia 750 kPa (zamiast 500 kPa), gdyż umożliwiłby opryskiwanie z podobnymi objętościami frakcji optymalnych, równocześnie pozwalając zwiększyć prędkość o 1 km/h (i wydajność o 20%) (tab. 3). Zwyżka wydajności z użyciem rozpylaczy ATR może być jeszcze większa (w porównaniu do TVI), w powodu mniejszej liczby napełnień wynikającej z niższej dawki na jednostkę powierzchni. Rozpylacz TVI 800075 przy ciśnieniu 600 kPa generuje nieefektywne krople większe od 500 μm , podatne na ściekanie i osiadanie na podłożu, z ok. 40% objętości rozpylanej cieczy (tab. 2). Koch i in. [25], stwierdzili, że w porównywanych wariantach opryskiwania rozpylacze ATR wykazały jeszcze potencjał redukcji zużycia cieczy opryskowej, co świadczy o niewykorzystaniu ich możliwości w przyjętym porównaniu. Frießleben i in. [11], Heijne i in. [14], Koch i in. [25], Leśnik i in. [26] oraz McArtney i Obermiller [29] również donoszą, że skuteczność biologiczna rozpylaczy wirowych w porównywanych scenariuszach z rozpylaczami eżektorowymi była wyższa. Rozpylacze ATR już przy niskich ciśnieniach nie wytwarzają kropli większych od 250 μm . Porównanie rozpylaczy ATR i TVI z użyciem inteligentnego opryskiwacza CASA-CIS [49], a szczególnie rzeczywistych dawek (460 \pm 0 l/ha, zależnych od wielkości koron; przy średniej 256 l/ha) wydaje się nie sprzyjać poprawie efektywności ochrony zarówno biologicznej, a także agrotechnicznej [26, 40]. Badania porównujące efekty pracy rozpylaczy ATR i eżektorowych, często nie uwzględniają ważnych czynników (np. charakterystyk rozpylaczy), decydujących o efekcie końcowym. Dobór rozpylaczy często opiera się na klasie rozpylenia określanej wg samego VMD, bez analiz objętości we frakcjach ważnych w danym przypadku (rodzaj ś.o.r.).

Wyniki badań Wennekera i in. [49] potwierdziły także tendencje, jakie wcześniej (2007) uzyskali Czaczyk i Gnuśowski [5], w zakresie niższego poziomu pozostałości ś.o.r. w jabłkach, korzystniejszego z aplikacji drobnokroplistej (ATR lilac), przy 1,0 MPa (niskie dawki cieczy, wyższe stężenie ś.o.r.).

Wyniki klasyfikacji wg ASAE [1] pokazują niedoskonałość tej metody. Wartości wskaźników D_{v10} (208 μm) i VMD (367 μm) (Salyani i Hoffmann [40]), kwalifikują taką jakość rozpylenia do grubokroplistego (C), a wszystkie trzy łącznie do klasy średniej (M). Wśród prezentowanych wyników np. rozpylacze TVI 800075 i TVI 8003 (tab. 2) wykazały podobne rozbieżności w określaniu klas, co potwierdza niewłaściwe znaczenie D_{v90} w tej ocenie, gdyż jego wpływ na znoszenie jest znikomy w porównaniu do pozostałych wskaźników.

4. Wnioski

Czynnikiem znacząco i indywidualnie decydującym o charakterystykach pracy rozpylaczy, w tym o potencjale znoszenia, jest ciśnienie robocze (tab. 1, 2 i 3), co wykazały wskaźniki jakości rozpylenia i redukcji strat.

Dyskusja wyników potwierdza przydatność charakterystyk poszczególnych rozpylaczy, do podniesienia bezpieczeństwa aplikacji pestycydów i do opracowania zaleceń redukujących dawki cieczy i ś.o.r. Badania rozpylaczy w różnych warunkach oraz dla różnych cieczy (także mieszanin), powinny być kontynuowane, a wyniki uwzględniane w aktualizacjach opracowań z zakresu ochrony roślin [2, 8, 12, 19, 20, 37] oraz przepisach [36, 39].

Potencjał redukcji strat i zagrożeń podczas aplikacji ś.o.r., leży bardziej w charakterystyce strumienia i właściwościach cieczy opryskowej oraz sposobie ich wykorzystania, niż w konstrukcji rozpylacza. Potwierdzają się zalety kropli mniejszych i wady kropli grubych.

Systemy sterujące pracą opryskiwacza, reagujące na zmiany warunków aplikacji, będą skuteczne po kompleksowym opracowaniu alternatywnych scenariuszy, co poprawi bezpieczeństwo i efektywność ochrony roślin.

Korzystne byłoby skoordynowanie badań niezbędnych do opracowania instrukcji właściwego stosowania ś.o.r. między firmami chemicznymi, producentami rozpylaczy i opryskiwaczy oraz instytucjami odpowiedzialnymi za ochronę roślin. Dobór szczegółowych parametrów pracy rozpylaczy (typ, ciśnienie, wydatek, właściwości cieczy), opryskiwaczy (ustawienie i liczba rozpylaczy, dynamika PSP, prędkość jazdy), w różnych warunkach środowiskowych (gatunek i stadium rozwoju roślin, agrofag, warunki pogodowe), leży w interesie wszystkich stron zainteresowanych i odpowiedzialnych za ochronę roślin [32].

Brak podawania źródeł i/lub metod, wg których producenci rozpylaczy charakteryzują swoje rozpylacze (klasy jakości rozpylenia), może skutkować ich niewłaściwym użytkowaniem i gorsze lub nieoczekiwane efekty stosowania ś.o.r. Brak precyzyjnych zasad określania klas jakości rozpylenia umożliwia ich różne (w tym tendencyjne) interpretacje. Wymóg określania charakterystyk rozpylaczy jako części zamiennych, np. wg zaleceń FAO [9] jest zasadny.

Redukcja znoszenia nie może być celem nadrzędnym i samym w sobie. Ochrona roślin to aplikacja określonych - niskich, ale skutecznych dawek na obiekt chroniony, przy możliwie niskim potencjale obciążenia środowiska i niskich stratach. Zatem w rozpoznaniu dynamicznie zmiennych interakcji między jakością rozpylenia, właściwościami cieczy a warunkami wykonania aplikacji leży duży potencjał redukcji zużycia ś.o.r. (wymóg Dyrektywy UE), wzrostu skuteczności i bezpieczeństwa ich stosowania.

5. Bibliografia

- [1] ASAE S572.1: Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra. 4 s. 2009.
- [2] Bartkowski J.: Praktyczne podstawy ochrony roślin. Krajowe Centrum Doradztwa Rozwoju Rolnictwa i Obszarów Wiejskich Oddział w Poznaniu. Opracowanie zbiorowe. ISBN – 83-86742-92-5. 212 s. 1999.
- [3] Butler Ellis M.C., P.C.H. Miller, J.H. Orson: Minimising drift while maintaining efficacy – the role of air-induction nozzles. *Aspects of Applied Biology* 84, s. 59-66. 2008.
- [4] Czaczyk Zb.: Potencjał znoszenia cieczy wybranych rozpylaczy płaskostrumieniowych mierzony w tunelu aerodynamicznym. *Journal of Research Advances in Agricultural Engineering* 2, przyjęte do druku. 2012.
- [5] Czaczyk Zb., B. Gnuśowski: Comparison of fungicide residues in apple flesh depending on spraying categories. *Annales of the University of Cracovia*, 2007, Vol. XXXVII/A-2007, s. 554-557.

- [6] Czarczyk Zb., S. Kleisinger: Drift potential of boom-mounted antidrift nozzles measured in a wind tunnel. 10th IUPAC International Congress on the Chemistry of Crop Protection, Basel, August 4 – 9th. Book of abstracts Vol. 1, s. 415 & poster No. 4d.07. 2002.
- [7] Derksen R.C., H.E. Ozkan, R.D. Fox, R.D. Brazee: Droplet Spectra and Wind Tunnel Evaluation of Venturi and Pre-orifice Nozzles. Transactions of the ASAE, 42 (6), s. 1573-1580. 1999.
- [8] Doruchowski G., R. Hołownicki: Przewodnik Dobrej Organizacji Ochrony Roślin. Instytut Sadownictwa i Kwiaciarnictwa, ISBN 978-83-60573-23-5, wyd. 2, 90 s. 2008.
- [9] FAO: Guidelines on standards for agricultural pesticide application equipment and related test procedures, ISBN 92-5-104723-5, Vehicle-mounted and trailed sprayers. 50 s. 2001.
- [10] Ferreira M.C., P.C.H. Miller, C.R. Tuck: Measurements of the droplet size and velocity distributions in the sprays produced by a range of pressure nozzle designs operating with a range of spray liquids. Aspects of Applied Biology 99, s. 219-224. 2010.
- [11] Frießleben R., G. Kifferle, W. Stahl: The influence of application system on the biological effect in weed control by LL- maize. A Report from AgrEvo. 8 s. 2000.
- [12] Gajtkowski A.: Technika Ochrony Roślin. Wydawnictwo AR w Poznaniu, ISBN 83-7160-208-1, 257 s. 2000.
- [13] 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.
- [14] Heijne B., M. Wenneker, J.C. Van de Zande: Air-inclusion nozzles don't reduce pollution of surface water during orchard spraying in the Netherlands. Aspects of Applied Biology 66, s. 193-199. 2002.
- [15] Hewitt A.J.: The importance of droplet size in agricultural spraying. Atomization and Sprays 7 (3), s. 235-244, 1997.
- [16] Hewitt A.J.: Developments in international harmonization of pesticide drift management, *Phytoparasitica* 29 (2), s. 93-96. 2001.
- [17] 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.
- [18] Hoffmann C.: Optimizing citrus sprayer operational parameters based on droplet size criteria. SuProFruit 2011, 11th Workshop 8-10th June, Ctifl Lanxade, France, Book of Abstracts, s. 40-41. 2011.
- [19] Hołownicki R., G. Doruchowski: Nowoczesna technika opryskiwania upraw sadowniczych. Wydawnictwo Plantpress, ISBN 83-85982-54-X. 44 s. 2001.
- [20] Hołownicki R.: Technika Opryskiwania Roślin dla Praktyków. ISBN 83-89874-50-4, Plantpress, 211 s. 2006.
- [21] Hołownicki R., G. Doruchowski, W. Świechowski, A. Godyń: Influence of nozzle type and headwind on spray distribution within the tree canopy. Review of Agricultural Engineering: Proceedings of International Conference on Environmentally Friendly Spray Application Techniques, Warsaw, s. 237-243. 2005.
- [22] ISO 10625: Equipment for crop protection. Sprayer nozzles. Colour coding for identification. International Standardization Organization. 12 s. 2005.
- [23] JKI: The list of drift reduced equipment: Offizielles Verzeichnis Verlustmindernde Gerate): http://www.jki.bund.de/no_cache/de/startseite/institute/anwendungstechnik/geraete_listen/verlustminderndepflanzenschutzgeraete.html, dostep 25.05.2012.
- [24] 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.
- [25] Koch H., H. Knewitz, G. Fleischer: Untersuchungen zur Abdriftreduzierung und biologischen Wirksamkeit im Obstbau bei grobtropfiger Applikation. Gesunde Pflanzen 53 (4), s. 120-125. 2001.
- [26] Leśnik M., C. Pintar, A. Lobnik, M. Kolar: Comparison of the effectiveness of standard and drift-reducing nozzles for control of some pest of apple. Crop Protection, 24, s. 93-100. 2005.
- [27] Lodeman E.G.: The spraying of plants. Edited by L.H. Bailey, The Rural Science Series, 399 s. 1908.
- [28] Mathews G.A.: Pesticide Applications Methods. 3rd edn. Blackwell Science, Oxford, England, 432 s. 2000.
- [29] McCartney S.J., J.D. Obermiller: Comparative performance of air-induction and conventional nozzles on an axial fan sprayer in medium density apple orchards. HortTechnology, 18 (3) s. 365-371. 2008.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] MRiRW: Krajowy Plan Działania na rzecz ograniczenia ryzyka związanego ze stosowaniem środków ochrony roślin na lata 2013-2017, 72 s. 2012.
- [33] 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.
- [34] Panneton B., M. Piché: Interaction Between Application Volume, Airflow, and Spray Quality in Air-Assisted Spraying. Transactions of ASAE 48 (1), s. 37-44. 2005.
- [35] PIMR: Wyniki badań rozpylaczy dla sprzętu polowego i sadowniczego. 49 s. 2004.
- [36] 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
- [37] Pruszyński S., S. Wolny: Przewodnik dobrej praktyki ochrony roślin. Wydawnictwo IOR, ISBN 978-83-89867-85-8, 80 s. 2007.
- [38] 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.
- [39] 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.
- [40] Salyani M., W.C. Hoffmann: Air and spray distribution from an air-carried sprayer. Applied Engineering in Agriculture 12 (5). s. 539-545. 1996.
- [41] 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.
- [42] Spillman J.J.: Spray impaction, retention and adhesion: an introduction to basic characteristics. Pestic. Sci. 15, s. 97-106. 1984.
- [43] Strutyńska K.: Badania rozpylaczy (Przyczynek do opracowania metodyki badań opryskiwaczy). Instytut Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa. Roczniki Nauk Rolniczych, Tom 66-C-3, s. 51-74. 1953.
- [44] SPISE – European Workshop on Standardized Procedure for the Inspection of Sprayers in Europe, Lana, Italy – 27-29 March. 2012. (<http://spise.jki.bund.de/>)
- [45] 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, 37th Annual National Agricultural Aviation Association Convention Silver Legacy Reno, NV, December 8, 9 s. 2003.
- [46] Triloff P.: Verlustreduzierter Pflanzenschutz im Baumobstbau – Abdriftminimierung und Effizienzsteigerung durch baumformabhängige Dosierung und optimierte Luftführung. Dissertation, Universität Hohenheim, Ed. Ulrich E. Grauer Stuttgart, ISBN 978-3-86186-563-6. 351 s. 2011.
- [47] Van den Berg F., R. Kubiak, W.G. Benjey, M.S. Majewski, S.R. Yates, G.L. Reeves, J.H. Smelt, A.M.A. Van der Linden: Emission of pesticides into the air. Water, Air, and Soil Pollution 115. s. 195-218. 1999.
- [48] Webb D.A.: Spreading of spray droplets on foliage. Aspects of Applied Biology 84, s. 239-244. 2008.
- [49] Wenneker M., J.C. Van de Zande, M. Poulsen, P. Balsari, G. Doruchowski, P. Marucco: Pesticide residues in apples sprayed with different application techniques (CASA sprayer – ISAFRUIT), SuProFruit 2011, 11th Workshop 8-10th June, Ctifl Lanxade, France, Book of Abstracts, s. 142-143. 2011.
- [50] Zande J.C. van de, M. Wenneker: Nozzle classification for drift reduction in orchard spraying: implementation in regulation. SuProFruit 2011, 11th Workshop 8-10th June, Ctifl Lanxade, France, Book of Abstracts, s. 138-139. 2011.

Badania wykonano z dofinansowaniem, z bonów na innowacje nr: 456/BNI/DPP/11 i 457/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 w pomiarach. Dr. Andrew Hewitt'owi, za motywację, wartościowe konsultacje i wsparcie w realizacji. Dr. Peter'owi Triloff'owi, za konsultacje w sadowniczym ujęciu problemu.