

WORKING CHARACTERISTICS OF SELECTED FLAT FAN NOZZLES FOR PROTECTION OF FIELD CROPS

Summary

This research presents findings on droplet size performance of selected flat fan nozzles available in Poland.

Key words: flat-stream-oriented sprayers; characteristics; working parameters; atomization; quality; liquid losses; reduction; experimentation

CHARAKTERYSTYKA UŻYTKOWA WYBRANYCH ROZPYLACZY PŁASKOSTRUMIENIOWYCH DO OCHRONY UPRAW POLOWYCH

Streszczenie

Przedstawiono jakość pracy wybranych rozpylaczy płaskostrumieniowych, dostępnych w Polsce.

Słowa kluczowe: rozpylacze płaskostrumieniowe; charakterystyka; parametry pracy; rozpylanie; jakość; straty cieczy; redukcja; badania

1. Wprowadzenie

W procesie redukcji zużycia pestycydów (wymóg Dyrektywy UE) oraz redukcji zagrożeń podczas stosowania środków ochrony roślin (ś.o.r.), szczególną rolę odgrywa jakość rozpylenia cieczy [19]. Rozwój techniki umożliwiający szybki i dokładny pomiar spektrum kropli, pozwala na wnikliwe analizy charakterystyk rozpylaczy [18-20]. Redukcję zagrożeń można osiągać dzięki minimalizacji frakcji kropli: mniejszych od 100 μm (znośnienie) i większych od 500 μm (osiadanie na podłożu i ociekanie z roślin). Frakcja kropli 300÷500 μm również jest mało korzystna, gdyż jest nieefektywna ekonomicznie, a dla wielu ś.o.r. również biologicznie. Częściowo ujmują to polskie zalecenia [13, 14, 22, 35, 43], jednak dość ogólnie. Jednorodność rozpylenia charakteryzuje się współczynnikiem RS (*relative span*).

Klasyfikacja ryzyka znośnienia (*drift reduction potential* - DRP) i zarządzanie nim, są w Europie od lat intensywnie rozwijane i upowszechniane [27, 32]. Dostępne są coraz nowsze i liczniejsze odmiany rozpylaczy, a brakuje informacji o ich przydatności oraz innych zależnościach [31, 36], w tym o potencjale znośnienia cieczy opryskowej [3-6, 8, 11, 18, 21, 26, 31, 38, 42]. Dzięki pojawianiu się kolejnych nowych rozpylaczy, powstaje duży potencjał możliwości podniesienia efektywności działania ś.o.r. [21, 28, 29, 41], oraz bezpieczeństwa ich aplikacji [14, 18, 25, 28, 29]. Jest wiele czynników pozwalających zredukować straty cieczy opryskowej [2, 21, 24, 26, 31, 32]. Część z nich leży w technice: rodzaj rozpylacza [18, 42], ciśnienie robocze (energia kinetyczna kropli [17]), wysokość i stabilność belki polowej, prędkość jazdy, stopień zużycia rozpylaczy [9, 12, 42] i nie są one w pełni wykorzystywane.

Jedyna wzmianka w polskich przepisach, dotycząca znośnienia cieczy opryskowej odnosi się do „kontrolowania znośnienia” w pkt. 4.3.2. PN 12761-2 [34]. Średnicę D_{v10} , nie mniejszą niż jej wartość dla rozpylacza 11002 (wg ISO), dla ciśnienia 250 kPa i wydatku $q_r = 0,72$ l/min, określa jako kryterium. W innych krajach od lat prace nad określeniem i redukcją potencjału znośnienia są intensywnie rozwijane i upowszechniane [8, 12, 20, 21, 24, 26, 31, 32, 38, 42]. Za kryterium, według którego określa się potencjał

znośnienia, lub stopień jego redukcji, często dla opryskiwaczy polowych, stosuje się rozpylacz 11003 przy ciśnieniu 300 kPa i wydatku jednostkowym 1,18 l/min [1]. Ocena ta uwzględnia trzy parametry: D_{v10} , D_{v50} (VMD) i D_{v90} (μm).

Naukowcy od lat udoskonalają metodykę klasyfikacji jakości rozpylenia ASAE [1] uwzględniającą trzy wskaźniki (D_{v10} , D_{v50} (VMD) i D_{v90}) [18, 28, 42], poszerzając ją o kolejne współczynniki, włącznie z uwzględnieniem potencjału znośnienia [20, 21, 24, 26, 31, 38, 42]. Charakterystyczne średnice to: D_{v10} (μm): średnica, od której 10% objętości cieczy, rozpylona jest na krople mniejsze; D_{v50} (VMD) (mediana objętościowa), względem której połowa objętości cieczy rozpylona jest na krople mniejsze, a połowa na większe; i D_{v90} , od której 10% objętości rozpylona jest na krople większe, a 90% na mniejsze.

Celem badań była ocena charakterystyk rozpylenia wybranych rozpylaczy z uwzględnieniem potencjału redukcji ryzyka strat, przez porównanie różnych frakcji kropli.

2. Materiały i metodyka

Badania charakterystyk rozpylenia testowanych rozpylaczy wykonano w Laboratorium Regionalnego Instytutu USDA (*Areawide Pest Management Research Unit, College Station*), w Teksasie (rys. 1), w październiku 2011 r. Możliwość scharakteryzowania jakości rozpylenia powstała podczas współpracy z Amerykanami w trakcie innych badań. Ocenie charakterystyk rozpylenia poddano 62 typy rozpylaczy (tab. 1 i 2). Badany rozpylacz przemieszczany był pionowo, na wylocie tunelu aerodynamicznego (rys. 1), emitując ciecz poziomo i zgodnie z kierunkiem ruchu powietrza (prędkość powietrza ~2 m/s) [12, 28, 29, 38], skierowaną z odległości 50 cm, w zasięg wiązki światła laserowego, emitowanej przez dyfrakcyjny analizator wielkości cząsteczek: SympaTec[®] HELOS Vario, o zakresie pomiarowym: 0,5÷3500 μm (31 przedziałów wielkości). Spektrum kropli badano stosując wodę wodociągową o dynamicznym napięciu powierzchniowym (*dynamic surface tension*) DST ~63 mN/m. Wyniki uśredniano z co najmniej trzech zbliżonych (co do wartości) pomiarów. Określono wartości charakterystycznych średnic (μm): D_{v10} , D_{v50} (VMD) i D_{v90} , oraz objętościowe wskaźniki rozpylenia na frakcje kro-

pli mniejszych od: $100\ \mu\text{m}$ ($V_{<100}$), $250\ \mu\text{m}$ ($V_{<250}$), $500\ \mu\text{m}$ ($V_{<500}$). Wyliczono także frakcje: o najwyższej efektywności (pokrycia powierzchni z rozpylonej objętości) $100\div 250\ \mu\text{m}$ i większą od $500\ \mu\text{m}$ ($V_{>500}$) oraz RS.

W uproszczonej formie (bez pełnych badań potencjału znoszenia [3]), porównano potencjały strat względem wartości zmierzonych dla rozpylacza referencyjnego TeeJet 11003 [42]:

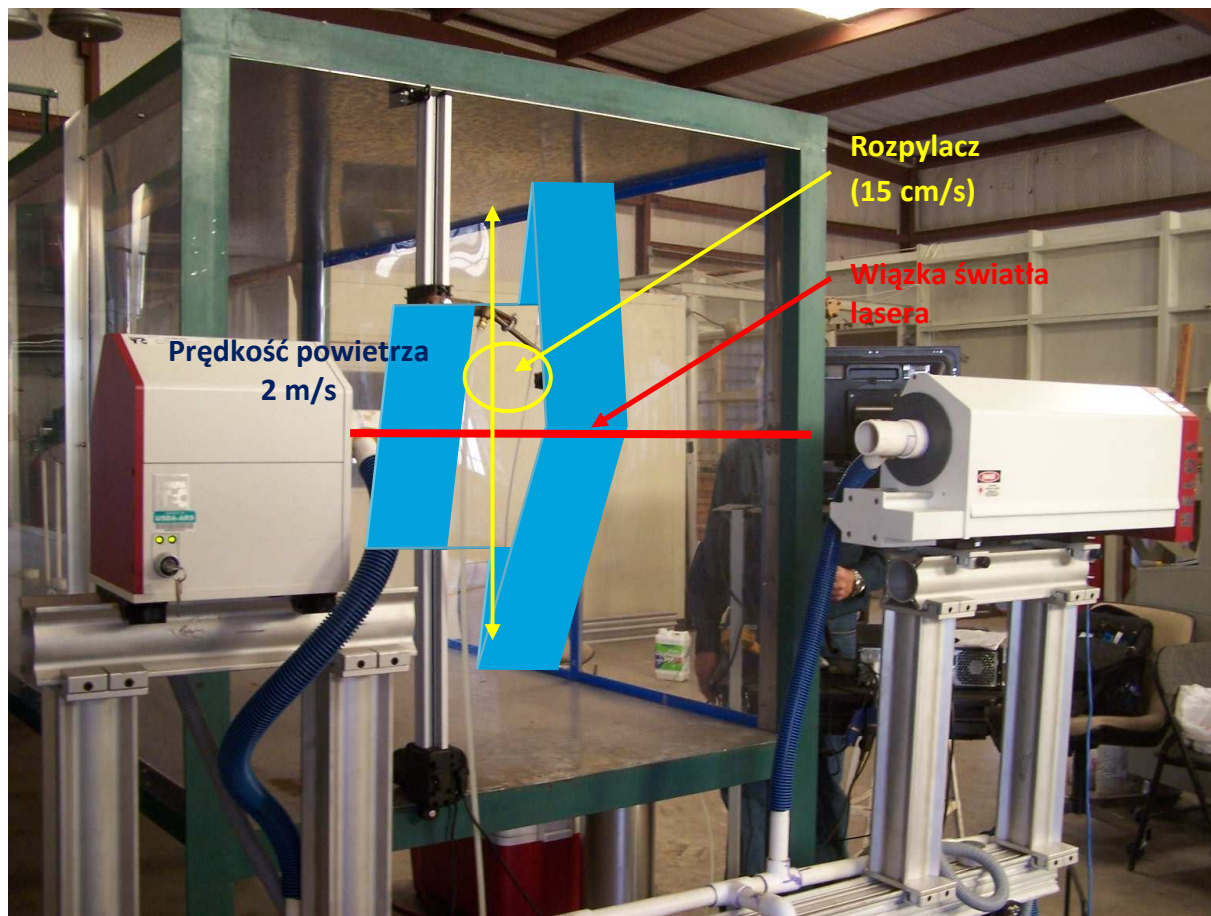
- redukcji znoszenia cieczy $\text{DRP}_{<100}$, odnosząc z proporcji wartość objętości cieczy (%), frakcji kropli mniejszych od $100\ \mu\text{m}$, do wartości tego wskaźnika dla rozpylacza referencyjnego; $V_{<100}$ ($13,2\%_{\text{obj.}}$) $\Rightarrow \text{DRP}_{<100} = 0\%$ (tab. 1 i 2),
- redukcji frakcji podatnej na osiadanie i ściekanie ($\text{DRP}_{>500}$): kropli większych niż $500\ \mu\text{m}$, (% od wartości dla rozpylacza referencyjnego): $V_{>500}$ ($98,2\%_{\text{obj.}}$) $\Rightarrow \text{DRP}_{>500} = 0\%$ (tab. 1 i 2).

3. Wyniki i dyskusja

Tab. 1 i 2 zawierają zestawienie mikroparametrów jakości pracy 58 badanych rozpylaczy i czterech referencyjnych: 21 w tab. 1, i 41 w tab. 2, oraz pięciu przybliżonych wartości rozgraniczających klasy wg ASAE [1]. Wartości $\text{DRP}_{<100}$ i $\text{DRP}_{>500}$ określono wg zasad opisanych wyżej. Tab. 1 zawiera zmierzone charakterystyki rozpylaczy: 9 standardowych, 6 z kryzą wstępną, dwu Turbo TeeJet, jednego uderzeniowego Albus APM 11002 i jednego dwustrumieniowego TeeJet Turbo TwinJet: TTJ60-11002VP.

Zamieszczono również przybliżone wartości rozgraniczenia klas [42]: bardzo drobne/drobne (VF/F) 11001,

drobne/średnie (F/M) 11003 (tab. 1), oraz średnie/grube (Medium/Coarse \Rightarrow M/C) 11006 (tab. 2). W trakcie realizacji badań, odpowiedniki rozpylaczy 11006 i 6515 (tab. 2), nie były dostępne. Tabela 2 przedstawia wyniki uzyskane dla rozpylaczy eżektorowych: jedno (34) i dwustrumieniowych (6), oraz dwóch rozpylaczy referencyjnych TeeJet 8008, oraz ograniczającego klasy: grube i bardzo grube (Coarse/Very Coarse \Rightarrow C/VC), oraz TeeJet 6510, rozgraniczającego klasy bardzo grube/ekstremalnie grube (Very Coarse/Extremely Coarse \Rightarrow VC/XC) [42]. Zamieszczono również przybliżone wartości rozgraniczające te klasy, oraz klasy ekstremalnie grube/ultra grube (Extremely Coarse/Ultra Coarse \Rightarrow XC/UC) 6515 [1]. Barwy tła w kolumnie oznaczeń badanych rozpylaczy odpowiadają kodowi *visi flow* [23]. Barwy tła w kolumnie klas jakości rozpylenia są zgodne z normą ASAE S572.1. [1]. Określenie klas jakości rozpylenia przeprowadzono wg przybliżonych wartości z wykresu normy ASAE S572.1. [1]. Metoda określania klas jakości rozpylenia nie jest precyzyjna. Stąd włączanie do badań rozpylaczy referencyjnych wydaje się być konieczne. Wartości zmierzone dla rozpylaczy referencyjnych (wg BCPC [42]), różnią się od przybliżonych z normy [1]. Stwierdzili to także inni naukowcy. Badane rozpylacze o węższym kącie rozpylenia (80°) Albus AXI 8002, charakteryzowały się niższą wartością $V_{<100}$ (tab. 1), odpowiedzialną za potencjał znoszenia, niż o kącie większym (110°) AXI 11002, co potwierdza wartość $\text{DRP}_{<100}$. Rozpylacz uderzeniowy APM 11002, wypadł jeszcze korzystniej.



Rys. 1. Widok stanowiska do pomiaru wielkości kropli w Laboratorium Regionalnego Instytutu USDA: *Areawide Pest Management Research Unit*, College Station, w Teksasie (fot. Z. Czaczyk)

Fig. 1. View of the stand to measure droplet size at Laboratory of *Areawide Pest Management Research Unit*, USDA, College Station in Texas (photo Z. Czaczyk)

Tab. 1. Charakterystyki rozpylaczy płaskostrumieniowych nieeżektorowych
 Table 1. Characteristics of the flat fan non air induction nozzles

Typ rozpylacza Nozzle type	p	D _{v0,1}	D _{v0,5} VMD	D _{v0,9}	V _{<100}	V _{<250}	V _{100÷250}	V _{<500}	DRP V _{<100}	DRP V _{>500}	RS	Klasa class
ISO [23]	kPa	μm			%obj. %vol.				%		-	ASAE [1]
TeeJet 11001 [42]	450	56,0	114,7	205,7	39,4	96,3	56,9	100	-198	1,8	1,31	VF F
11001 [1]	450	51	118	210	-	-	-	-	-	-	1,34	VF F
Albuz AXI 8002	450	71,2	158,0	291,4	22,7	82,0	59,3	100	-72,0	1,8	1,39	F
Albuz AXI 11002	276	71,0	188,0	335,0	18,9	71,5	52,6	99,8	-43,2	1,6	1,40	F
Albuz AXI 11002	450	66,0	143,8	277,8	27,5	85,4	57,9	100	-108	1,8	1,47	F
TeeJet 11003 [42]	300	88,8	216,5	394,2	13,2	60,2	47,0	98,2	0	0	1,41	F M
11003 [1]	300	95	232	421	-	-	-	-	-	-	1,41	F M
Albuz ADI 11002	276	133,5	309,3	517,5	5,3	34,5	29,2	88,6	59,8	-9,8	1,24	M
Albuz ADI 11002	450	109,6	266,7	457,7	8,3	45,1	36,8	94,7	37,1	-3,6	1,31	M
Albuz APM 11002	450	75,0	161,7	277,5	17,8	84,8	67,0	100	-34,8	1,8	1,25	F
RS 11002	150	101,3	219,4	359,9	9,7	61,6	51,9	99,9	26,5	1,7	1,18	F
RS 11002	450	62,2	138,3	264,4	30,6	90,7	60,1	100	-132	1,8	1,43	F
AZ 11002	150	105,0	231,0	396,6	8,8	22,2	13,4	98,5	33,3	0,3	1,25	F
AZ 11002	450	63,6	146,2	287,3	27,9	83,5	55,6	100	-111	1,8	1,53	F
XR 8002VS	450	72,7	162,5	310,2	21,3	79,5	58,2	100	-61,4	1,8	1,46	F
XR 11002VP	276	83,1	202,2	351,5	14,6	66,7	52,1	99,8	-10,6	1,6	1,33	F
XR 11002VP	450	64,4	142,8	266,2	27,5	87,6	60,1	100	-108	1,8	1,41	F
XR 11002VS	450	63,6	145,5	275,1	27,7	85,8	58,1	100	-110	1,8	1,45	F
DG 11002	276	143,7	331,3	532,9	4,6	29,8	25,2	86,5	65,2	-11,9	1,17	M
DG 11002	450	113,0	285,3	479,4	7,9	40,4	32,5	92,7	40,2	-5,6	1,28	M
TT 11002VP [3]	276	101,1	197,1	463,2	9,6	67,0	57,4	92,2	27,3	-6,1	1,84	F
TT 11002VP [3]	450	96,1	217,6	426,6	11,0	59,6	48,6	95,4	16,7	-2,9	1,52	F
TTJ60-11002VP	450	91,9	216,7	403,3	12,2	59,9	47,7	97,8	7,6	-0,4	1,44	F
Albuz AXI 11003	150	120,1	276,7	469,2	6,8	42,2	35,4	93,5	48,5	-4,8	1,26	M
Albuz AXI 11003	276	86,2	223,8	396,1	13,3	58,4	45,1	97,5	-0,8	-0,7	1,38	F
Albuz AXI 11003	300	84,4	218,4	377,1	13,8	60,5	46,7	99,0	-4,5	0,8	1,34	F
Albuz AXI 11003	450	74,5	194,8	346,2	17,1	69,2	52,1	99,7	-29,5	1,5	1,39	F
11006 [1]	200	144	334	584	-	-	-	-	-	-	1,32	M C
Albuz ADI 11003	150	212,2	443,2	716,5	1,5	14,6	13,1	61,3	88,6	-37,6	1,14	C
Albuz ADI 11003	276	148,6	341,5	595,7	4,1	28,9	24,8	80,4	68,9	-18,1	1,31	C
Albuz ADI 11003	300	147,6	337,4	586,3	4,2	29,3	25,1	81,9	68,2	-16,6	1,30	C
Albuz ADI 11003	450	121,5	288,1	506,4	6,6	39,8	33,2	89,6	50,0	-8,8	1,34	M
RS 11003	150	115,1	258,6	433,0	7,2	47,9	40,7	97,0	45,5	-1,2	1,21	M
AZ 11003	150	129,4	295,1	489,8	5,3	36,2	30,9	90,9	59,8	-7,4	1,21	M
RS 11004	150	124,4	281,6	474,2	5,9	40,5	34,6	93,3	55,3	-5,0	1,24	M
AZ 11004	150	148,9	348,1	588,7	3,9	27,8	23,9	80,5	70,5	-18,0	1,26	C
TT 11004VP [3]	276	140,8	353,0	698,3	4,4	31,3	26,9	72,0	66,7	-26,7	1,57	C

Rozpylacz z kryzą wstępną (Albuz ADI 11002) wykazał się redukcją znoszenia $DRP_{<100}$ względem referencyjnego o 37-60%. Potencjał osiadania $DRP_{>500}$, był jednak większy (od referencyjnego) o ok. 4-10%. Badane rozpylacze standardowe generalnie wykazały bardzo duże różnice w potencjale znoszenia $DRP_{<100}$ między skrajnymi ciśnieniami. Szczególnie wysoki potencjał znoszenia rozpylacze standardowe wykazują już od ciśnienia 250 kPa wzwyż (0-10% więcej niż referencji). Rozpylacze o zredukowanym potencjale znoszenia charakteryzuje podobna tendencja, ale ze znacznie większą redukcją znoszenia ($DRP_{<100}$), szczególnie przy niskim ciśnieniu (88-33% mniej niż referencja). Równocześnie przyrasta im wartość $DRP_{>500}$, od kilku do ok. 37% więcej niż referencja. Dwustrumieniowy rozpylacz TTJ wykazał bardzo zbliżoną charakterystykę rozpylenia do jednostrumieniowego TT, jednak o 9% korzystniejszy $DRP_{<100}$, oraz o 2,5% korzystniejszy $DRP_{>500}$ względem referencji, uzyskał dwustrumieniowy niż jednostrumieniowy. Rozpylacze tych samych konstrukcji i wydatku, bez względu na producenta, wykazały się bardzo podobnymi charakterystykami rozpylenia, ocenianymi wszystkimi wskaźnikami. Rozpylacze TeeJet XR 11002, których ele-

menty odpowiedzialne za rozpylenie, wykonane są z różnych materiałów: tworzywo (VP) i stal nierdzewna (VS), przy tych samych ciśnieniach, wykazały bardzo zbliżone charakterystyki. Rozpylacze MMAT wykazały podobne tendencje potencjału znoszenia $DRP_{<100}$, jakie wynikają z badań w tunelu aerodynamicznym [3].

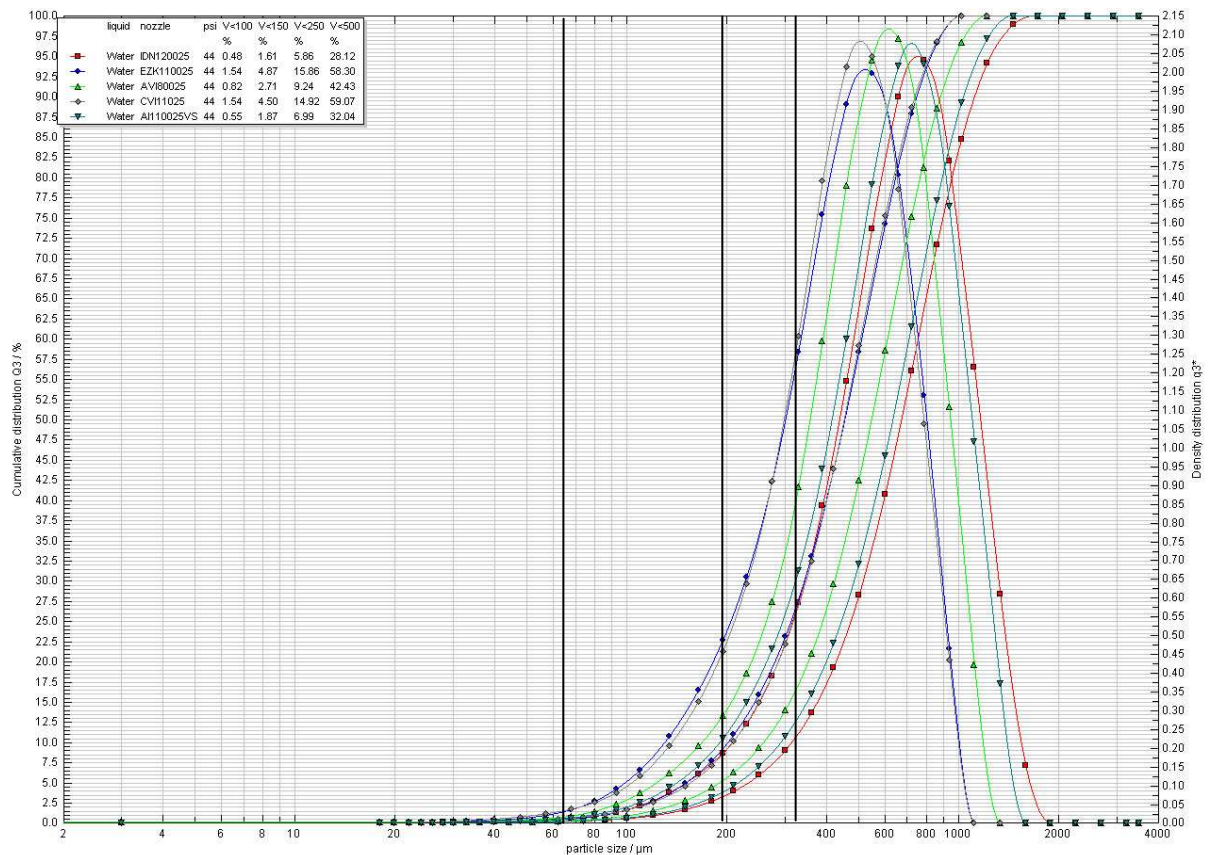
W odniesieniu do rezultatów badań uzyskanych przez Guller'a i in. [18], uzyskano potwierdzenie, że odpowiednio użyte rozpylacze nieeżektorowe, pozwalają redukować frakcje odpowiedzialne za znoszenie podobnie jak za pomocą eżektorowych. Przykładem z poniższych badań mogą być wyniki uzyskane dla rozpylaczy:

- Albuz AXI 11003 (150 kPa): $DRP_{<100} = 48,5\%$ i $DRP_{>500} = -4,8\%$ (klasa rozpylenia: średnie, VMD = 276,7 μm, $V_{<100} = 6,8\%$ obj., wydatek 0,85 l/min),
- Albuz CVI 11002 (500 kPa): $DRP_{<100} = 47,7\%$ i $DRP_{>500} = -11\%$ (klasa rozpylenia: średnie, VMD = 295,5 μm, $V_{<100} = 6,9\%$ obj., wydatek 1,03 l/min). Frakcji $V_{>500}$ porównywaną CVI wytwarzała 12,5%obj., a AXI 6,5%obj. Wydatki rozpylaczy w tym porównaniu, różniły się: AXI < ~21% od CVI.

Tab. 2. Charakterystyki rozpylaczy eżektorowych (E – certyfikat ENTAM, JKI – na liście JKI)
 Table 2. Characteristics of the air induction nozzles (E – ENTAM certificate, JKI – on JKI list)

Typ, type ISO [23]	p kPa	D _{v0,1}	D _{v0,5}	D _{v0,9}	V _{<100}	V _{<250}	V ₁₀₀₋₂₅₀	V _{<500}	DRP V _{<100}	DRP V _{>500}	RS -	Klasa [1] class [1]
		μm			% _{obj.} % _{vol.}				%			
Albuz AVI 8001 [3]	276	212,2	380,3	551,4	-	-	-	-	%		0,89	M
Albuz AVI 8001 [3]	600	118,4	308,7	554,1	7,2	36,2	29,0	84,6	45,5	-13,8	1,41	M
Albuz AVI 11001	276	180,0	325,4	481,3	-	-	-	-	-	-	0,91	M
Albuz AVI 11001	600	171,1	416,6	728,3	2,8	20,8	18,0	64,4	78,8	-34,4	1,34	C
TeeJet 8008 [42]	276	138,6	344,7	606,1	4,9	29,2	24,3	77,7	62,9	-20,9	1,36	C VC
8008 [1]	250	186	427	743	-	-	-	-	-	-	1,31	C VC
Lechler ID 9001	300	200,3	349,9	546,9	-	-	-	-	-	-	0,99	M
Lechler ID90015 [3]	300	208,9	380,9	587,8	-	-	-	-	-	-	0,99	C
AI 110015VS	500	234,0	466,4	721,7	-	-	-	-	-	-	1,05	C
AirMix 11002	450	143,0	329,4	554,5	4,6	30,5	25,9	84,8	65,2	-13,6	1,25	M
Albuz AVI 8002 [3]	450	201,0	457,2	762,5	1,9	15,5	13,6	57,8	85,6	-41,1	1,23	VC
Albuz AVI 8002 [3]	500	189,4	439,0	721,2	2,2	17,6	15,4	60,8	83,3	-38,1	1,21	C
Albuz CVI 11002	450	123,2	297,7	519,7	5,9	38,2	32,3	88,4	55,3	-10,0	1,33	M
Albuz CVI 11002	500	117,0	295,5	534,4	6,9	39,0	32,1	87,4	47,7	-11,0	1,41	M
Albuz CVI 11002	600	104,6	263,9	483,7	9,0	46,5	37,5	91,9	31,8	-6,4	1,44	M
Albuz AVI 11002	450	187,3	437,5	742,1	2,2	17,9	15,7	61,1	83,3	-37,8	1,27	C
AVI 11002 Twin	450	173,6	395,8	672,6	2,4	21,6	19,2	69,7	81,8	-29,0	1,26	C
Hypro 11002	276	218,0	428,2	667,5	0,9	14,4	13,5	65,5	93,2	-33,3	1,05	C
Lechler ID 9002	300	272,5	480,7	674,9	-	-	-	-	-	-	0,84	C
EŽK 11002	250	201,3	436,8	715,5	1,6	16,2	14,6	62,2	87,9	-36,7	1,18	C
EŽK 11002	300	179,1	398,2	673,1	2,1	20,6	18,5	69,6	84,1	-29,1	1,24	C
EŽK 11002	350	159,8	365,9	627,9	2,9	25,4	22,5	75,6	78,0	-23,0	1,28	C
EŽK 11002	450	138,6	331,6	580,8	4,4	31,7	27,3	81,6	66,7	-16,9	1,33	M
EŽK 11002	600	112,0	287,9	532,3	7,6	41,1	33,5	87,5	42,4	-10,9	1,46	M
AIXR 11002VP	276	164,2	303,4	613,5	1,7	34,0	32,3	81,2	87,1	-17,3	1,48	M
AIXR 11002VP	450	119,6	287,9	495,6	6,2	40,1	33,9	90,6	53,0	-7,7	1,31	M
AIXR 11002VP	600	105,2	260,4	477,7	8,8	47,3	38,5	92,5	33,3	-5,8	1,43	M
AI 11002VS	450	222,5	522,2	885,5	1,3	12,7	11,4	46,7	90,2	-52,4	1,27	VC
TeeJet 6510 [42]	276	177,2	456,8	820,9	3,1	18,3	15,2	56,6	76,5	-42,4	1,41	VC XC
6510 [1]	200	186	498	905	-	-	-	-	-	-	1,39	VC XC
AITT 11002VP	450	243,6	572,3	990,2	0,9	10,6	9,7	40,4	93,2	-58,9	1,30	XC
AITTT60-11002	450	158,0	370,7	637,6	3,0	25,9	22,9	74,2	77,3	-24,4	1,29	C
Albuz AVI 80025	300	257,2	545,7	887,7	0,9	9,5	8,6	43,0	93,2	-56,2	1,16	VC
CVI 110025	300	207,6	450,0	739,7	1,4	15,0	13,6	59,3	89,4	-39,6	1,18	C
Lechler ID 90025	300	281,8	491,1	682,5	-	-	-	-	-	-	0,82	C
IDN 120025 [JKI]	300	313,9	676,4	1137	0,5	5,9	5,4	27,6	96,2	-71,9	1,22	UC
IDN 120025	450	240,3	541,2	896,9	1,1	10,2	9,1	43,7	91,7	-55,5	1,21	VC
IDN 120025	500	227,4	517,2	873,7	1,3	12,1	10,8	47,4	90,2	-51,7	1,25	VC
6515 [1]	150	283	631	1017	-	-	-	-	-	-	1,16	XC UC
EŽK 110025	250	219,3	482,9	800,8	1,2	13,3	12,1	53,0	90,9	-46,0	1,20	VC
EŽK 110025	300	200,0	450,8	754,2	1,6	16,1	14,5	59,0	87,9	-39,9	1,23	VC
EŽK 110025	350	180,0	420,0	711,1	2,2	19,7	17,5	64,5	83,3	-34,3	1,26	C
EŽK 110025	450	157,6	378,2	654,7	3,1	24,8	21,7	72,7	76,5	-26,0	1,31	C
EŽK 110025	600	127,7	338,5	602,1	5,7	32,2	26,5	78,7	56,8	-19,9	1,40	M
EŽ 110025	250	201,2	452,4	647,9	2,4	-	-	-	81,8	-	0,99	C
EŽ 110025	350	175,8	423,3	651,0	3,4	-	-	-	74,2	-	1,12	C
EŽ 110025	450	151,8	375,6	584,0	4,6	-	-	-	65,2	-	1,15	C
AI 110025VS [3]	300	293,7	638,5	1057	0,6	7,1	6,5	32,5	95,5	-66,9	1,21	UC
Albuz AVI 11003	276	265,6	545,3	879,8	0,8	8,4	7,6	42,8	93,9	-56,4	1,13	VC
Albuz AVI 11003 [3]	450	217,4	469,8	781,2	1,5	13,7	12,2	55,4	88,6	-43,6	1,14	C
AVI 11003 Twin	276	304,4	600,3	925,7	0,4	5,7	5,3	34,3	97,0	-65,1	1,03	XC
AVI 11003 Twin	450	231,0	490,2	793,7	1,1	12,0	10,9	51,7	91,7	-47,4	1,15	VC
Lechler ID 9003	300	272,6	486,9	693,3	-	-	-	-	-	-	0,86	C
EŽK 11003	250	177,3	439,2	738,9	2,3	19,9	17,6	60,5	82,6	-38,4	1,28	C
EŽK 11003	300	169,4	395,8	672,8	2,6	22,0	19,4	69,7	80,3	-29,0	1,27	C
EŽK 11003	350	151,8	367,5	638,8	3,6	26,2	22,6	74,7	72,7	-23,9	1,33	C
EŽK 11003	450	137,0	339,1	591,1	4,8	30,4	25,6	80,2	63,6	-18,3	1,34	M
EŽK 11003	600	127,7	295,0	545,3	7,9	40,0	32,1	86,2	40,2	-12,2	1,47	M
EŽ 11003	250	244,7	527,6	738,9	1,6	-	-	-	87,9	-	0,94	C
EŽ 11003	350	212,0	483,2	704,7	2,3	-	-	-	82,6	-	1,02	C
EŽ 11003	450	176,7	424,5	637,2	3,4	-	-	-	74,2	-	1,08	C
EŽKT 11003	250	256,8	545,4	867,0	0,7	9,3	8,6	42,4	94,7	-56,8	1,12	VC
EŽKT 11003	300	235,5	500,0	822,4	1,0	11,4	10,4	50,0	92,4	-49,1	1,17	VC

EŻKT 11003	350	212,9	460,0	766,4	1,4	14,4	13,0	57,3	89,4	-41,6	1,20	VC
EŻKT 11003	450	189,1	424,2	709,7	2,3	19,8	17,5	66,7	82,6	-32,1	1,25	C
EŻKT 11003	600	154,7	379,7	661,8	3,5	25,3	21,8	71,9	73,5	-26,8	1,34	C
AI 11003VS ^[3]	400	219,7	519,1	870,3	1,5	13,1	11,6	47,4	88,6	-51,7	1,25	VC
Lechler ID 9004 ^[3]	300	295,1	523,8	713,7	-	-	-	-	-	-	0,80	C
EŻK 11004 ^[E]	250	158,3	397,5	691,1	3,1	24,2	21,1	67,8	76,5	-31,0	1,34	C
EŻK 11004	276	158,6	380,8	655,1	3,6	25,4	21,8	72,5	72,7	-26,2	1,35	C
EŻK 11004	300	147,4	362,8	631,1	4,0	27,0	23,0	75,6	69,7	-23,0	1,33	C
EŻK 11004	350	135,8	342,1	597,3	4,9	30,4	25,5	79,2	62,9	-19,3	1,35	M
EŻK 11004	450	131,7	327,2	579,0	5,2	33,0	27,8	81,7	60,6	-16,8	1,37	M
EŻK 11004	600	112,6	289,2	524,5	7,7	40,7	33,0	88,0	41,7	-10,4	1,42	M
EŻ 11004	250	152,7	369,9	574,2	4,7	-	-	-	64,4	-	1,14	M
EŻ 11004	350	132,0	327,9	505,1	6,3	-	-	-	52,3	-	1,14	M
EŻ 11004	450	109,2	279,3	436,7	9,4	-	-	-	28,8	-	1,17	M
EŻKT 11004 ^[E]	250	123,5	307,3	456,9	7,0	-	-	-	47,0	-	1,08	M
EŻKT 11004	350	112,7	284,6	437,5	8,6	-	-	-	34,8	-	1,14	M
EŻKT 11004	450	108,2	279,9	445,7	9,4	-	-	-	28,8	-	1,21	M
Hypro 11004 ^[3]	276	195,4	436,0	716,3	1,9	16,5	14,6	62,1	85,6	-36,8	1,19	C
AI 11004VS ^[3]	276	268,5	593,3	973,0	0,6	8,4	7,8	37,0	95,5	-62,3	1,18	XC
AIXR 11004VP ^[3]	276	204,6	452,2	737,3	1,8	15,5	13,7	59,1	86,4	-39,8	1,18	C
AITT 11004VP ^[3]	276	329,4	929,4	1554	1,5	6,6	5,1	19,3	88,6	-80,3	1,32	UC
AITTJ60-11004 ^[3]	276	226,5	657,4	1035	2,3	11,3	9,0	35,3	82,6	-64,1	1,69	XC



Rys. 2. Wykresy rozkładów objętościowych w poszczególnych klasach i frakcjach (legenda), uzyskanych dla rozpylaczy: Lechler IDN 120025, MMAT EŻK 110025, Albus AVI 80025, Albus CVI 110025 i TeeJet AI 110025VS (wg ISO *visi flow* [23]), przy ciśnieniu 300 kPa (44 psi)

Fig. 2. The graphs of volumetric distributions in each class and fractions (legend), obtained for these nozzles: Lechler IDN 120025, MMAT EŻK 110025, Albus AVI 80025, Albus CVI 110025 and TeeJet AI 110025VS (according to ISO [23]), at 300 kPa pressure (44 psi)

Wykres (rys. 2) obrazuje zróżnicowanie skumulowanych objętości w poszczególnych frakcjach wybranych rozpylaczy eżektorowych o wydatku (ISO [23]) 025, przy ciśnieniu 300 kPa (44 psi). Najkorzystniej wypadły rozpylacze Albus CVI (rozpylenie grube \Rightarrow C) i EŻK (VC), uzyskując prawie identyczne wartości: frakcje 100÷500 μ m

\sim 57%_{obj.}, czyli frakcji generujących straty i obciążenie środowiska (<100 μ m i >500 μ m) \sim 43%_{obj.}. Rozpylacz Albus AVI (VC) o kącie rozpylenia 80° wykazał się wynikami \sim 41%_{obj.} frakcji 100÷500 μ m, zatem ok. 59%_{obj.} rozpyłał w sposób niekorzystny. Najmniej korzystnie wypadły rozpylacze TeeJet AI (UC) i Lechler IDN (UC), uzyskując

wyniki: frakcji 100÷500 μm , odpowiednio: $\sim 31,5\%_{\text{obj}}$ i $\sim 28\%_{\text{obj}}$, równocześnie frakcji rozpylanych niekorzystnie ($<100 \mu\text{m}$ i $>500 \mu\text{m}$) uzyskały w sumie odpowiednio: $\sim 68,5\%_{\text{obj}}$ i $72\%_{\text{obj}}$. Zróżnicowanie wyników potwierdza potrzebę opracowania indywidualnych zakresów zastosowań poszczególnych rozpylaczy, czyli określenie najkorzystniejszych parametrów pracy do ściśle określonych zastosowań [7].

Tab. 3. przedstawia rozkłady objętościowe cieczy rozpylanej przez testowane rozpylacze różnej konstrukcji, o wydatku ISO 02 [23], przy ciśnieniu 276 kPa (40 psi) ($q_r \sim 0,74 \text{ l/min}$) (i zbliżonym), z założonej dla prędkości roboczej 6 km/h \Rightarrow dawka cieczy $\sim 168 \text{ l/ha}$. Barwy tła ko-

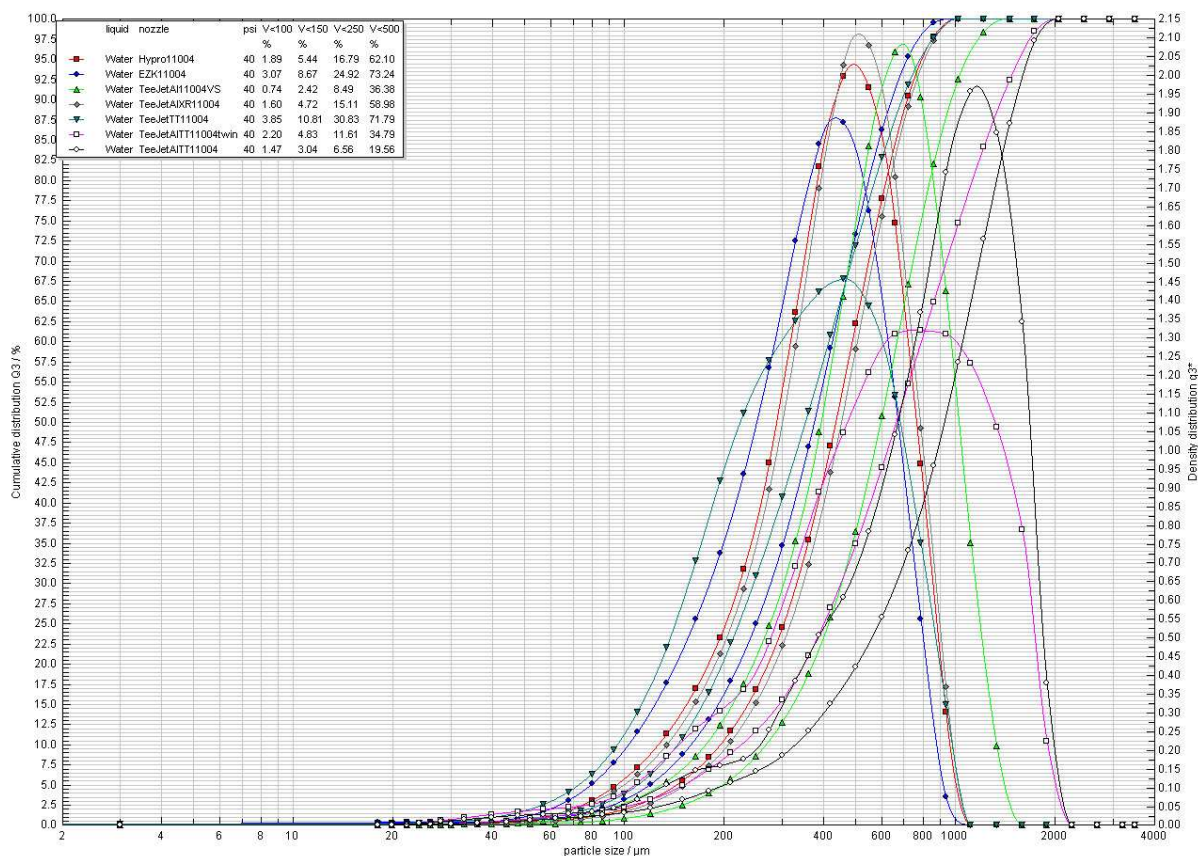
lumny z oznaczeniami rozpylaczy odpowiadają wg normy ASAE klasom jakości rozpylenia [1]. Podział na takie frakcje pozwala porównać charakterystyki rozpylaczy z punktu widzenia potencjału strat (znoszenie, osiadanie na podłożu i ściekanie z roślin) i frakcji najefektywniejszych.

Badanie skuteczności aplikacji i działania ś.o.r., dostarcza nowych informacji, co potwierdza potrzebę kontynuowania prac badawczych w zakresie ich właściwego aplikowania. Modyfikowane są formułacje ś.o.r., rozpylacze i opryskiwacze, co pozwala na bezpieczniejszą i skuteczniejszą ochronę roślin. Im krople mniejsze ($50\div 150 \mu\text{m}$) tym mniej cieczy potrzeba na wykonanie skutecznego zabiegu i jest to zbieżne z potrzebą podnoszenia wydajności

Tab. 3. Zestawienie objętościowych rozkładów cieczy (l/ha), rozpylonej na założone frakcje, dla rozpylaczy o wydatku (ISO) 02 [23] z dawki 168 l/ha

Table 3. The list of volumetric distribution of sprayed liquid (from 168 l/ha) to determined fractions (l/ha), for nozzles with 02 (ISO) flow rate [23]

Typ, type	p	$V_{<100}$	$V_{100-250}$	$V_{250-360}$	$V_{360-500}$	$V_{250-500}$	$V_{>500}$
Klasa, class [1]	kPa	Objętość z dawki/volume from dose rate $Q = 168 \text{ l/ha}$					
AXI 11002 (F)	276	30,2	84,2	-	-	45,3	0,3
RS 11002 (F)	276	33,6	91,4	30,6	4,4	35,0	0
AZ 11002 (F)	276	28,5	48,9	36,3	43,8	80,1	2,5
ADI 11002 (M)	276	8,5	46,7	44,2	42,4	86,6	18,2
XR 11002VP (F)	276	23,4	83,4	39,6	13,3	52,9	0,3
DG 11002 (M)	276	7,4	40,3	-	-	90,7	21,6
Hypro 11002 (C)	276	1,4	21,6	-	-	81,8	55,2
EŻK 11002 (C)	250	2,6	23,4	-	-	73,6	60,4
EŻK 11002 (C)	300	3,4	29,6	-	-	78,4	48,6
AIXR 11002VP (M)	276	2,7	51,7	-	-	75,5	30,1



Rys. 3. Wykresy rozkładów objętościowych w poszczególnych klasach i frakcjach (legenda), uzyskanych dla rozpylaczy: Hypro 11004, MMAT EŻK 11004, TeeJet: AI 11004VS, AIXR11004VP, TT 11004VP, AITTJ60-11004VP i AITT 11004VP (wg ISO visi flow [23]), przy ciśnieniu 276 kPa (40 psi)

Fig. 3. The graphs of volumetric distributions in each class and fractions (legend), obtained for these nozzles: Hypro 11004, MMAT EŻK 11004, TeeJet: AI 11004VS, AIXR11004VP, TT 11004VP, AITTJ60-11004VP and AITT 11004VP (according to ISO [23]), at 276 kPa pressure (40 psi)

pracy. Takie krople są jednak bardzo podatne na znoszenie i odparowanie [16, 27]. Od wielu lat poszukuje się kompromisu między wysoką skutecznością, bezpieczeństwem i wydajnością opryskiwania. Tylko niektóre s.o.r., głównie systemiczne, stosowane grubymi kroplami dają korzystny efekt, gdyż wnikanie preparatu w tkankę roślinną możliwe jest tylko w fazie ciekłej, która dla kropli większych trwa znacznie dłużej [7, 27].

Rys. 3 przedstawia zróżnicowanie charakterystyk rozpylenia testowanych rozpylaczy o wydatku 04 [23], przy ciśnieniu 276 kPa (40 psi). Frakcja podatna na znoszenie (<100 μm) wypadła pomiędzy 0,74 (TeeJet AI) a 3,85%_{obj.} (TeeJet TT). Frakcja >500 μm, wypadła pomiędzy ~80%_{obj.} (AITT) i ~65%_{obj.} (AITTJ), a ~28%_{obj.} (TT) i 27%_{obj.} (EŻK). Frakcje 100÷500 μm najkorzystniej wypadły dla EŻK: ~70%_{obj.}, a najmniej korzystnie dla AITT: ~18%_{obj.} Frakcji kropli najefektywniejszych (100÷250 μm) najwięcej wytworzył rozpylacz TeeJet TT ~27%_{obj.}, następnie EŻK ~21%_{obj.}, a najgorzej wypadły TeeJet AI (~8%_{obj.}) i AITT (~5%_{obj.}). Frakcji 250÷500 μm najwięcej wytworzyły rozpylacze EŻK (~48%_{obj.}) i Hypro (~45%_{obj.}), a najmniej: AITT (13%_{obj.}) i AITTJ (~23%_{obj.}).

Odnosząc się do propozycji zmiany aktywnego rozpylacza ze standardowego na eżektorowy o tym samym wydatku (przy wzroście prędkości wiatru >2 m/s), w celu redukcji znoszenia cieczy (wariant automatyczny: np. *vario wind select* [23], bądź manualny), można rozważyć następujące porównanie (tab. 4):

- ciśnienie 300 kPa ⇒ wydatek cieczy 1,6 l/min, prędkość 6 km/h ⇒ dawka cieczy 320 l/ha:
- efekt rozpylacza RS 11004 [4] (F), VMD = 225,6 μm, V_{<100} = 13,3%_{obj.} i V_{<500} = 96,2%_{obj.}, DRP_{<100} = 0,5%, i DRP_{>500} = -2,1%,
- z EŻK 11004 (C), VMD = 362,8 μm, V_{<100} = 4,0%_{obj.} i V_{<500} = 75,6%_{obj.}, DRP_{<100} = 69,7% i DRP_{>500} = -23,0%.

Przy porównaniu powyższego scenariusza, ale zmniejszając prędkość roboczą do 5 km/h, dawka cieczy wzrosła o 16,7%_{obj.} do 384 l/ha. Przy próbie utrzymania stałej dawki 320 l/ha, przy prędkości 5 km/h, wymagany wydatek wyniósłby ⇒ q_r = 1,33 l/min (p ~210 kPa). Przy takim ciśnieniu rozpylacz EŻK 11004 nie pracowałby poprawnie, a RS 11004 rozpylałby ciecz efektywniej z punktu widzenia skuteczności biologicznej i wydajności agrotechnicznej, jednak ciągle zbyt dużą objętość na frakcję podatną na zno-

szenie (~10%).

Lepszą alternatywą (spośród uzyskanych danych - tab. 1 i 2) byłaby zmiana czynnego rozpylacza (przy stałym ciśnieniu 300 kPa) z RS 11004 (F) na ADI 11003 (C), q_r = 1,2 l/min. Uzyskanie dawki cieczy roboczej 320 l/ha wymagałoby prędkości 4,5 km/h. Wtedy frakcji V_{<100} będzie mniej o 2 l/ha, frakcji V_{>500} o 35,8 l/ha mniej, frakcji 100÷250 μm o 8 l/ha mniej niż dla EŻK 11004 (z 384 l/ha), a frakcji 250÷500 μm wytworzy o 18,3 l/ha mniej od porównywanego EŻK. W porównaniu obu rozpylaczy przy dawce 320 l/ha, ADI wypadnie jeszcze korzystniej. W porównaniu do parametrów z RS 11004, rozpylacz ADI 11003 z 320 l/ha, rozpyli o 9,1%_{obj.} mniej we frakcji V_{<100}, (29 l/ha); o 14,3%_{obj.} więcej (45,8 l/ha) we frakcji V_{>500}; we frakcji 250÷500 μm, o 13,7%_{obj.} więcej (43,9 l/ha). Frakcja 100÷250 μm zmniejszy się o ~19%_{obj.} (60,6 l/ha). Kolor czerwony (tab. 4) oznacza wartości niepożądane w kolumnach, a pomarańczowy niekorzystne.

Korzystny efekt można stwierdzić także (tab. 4) po obniżeniu prędkości do 4,5 km/h i ciśnienia do 150 kPa, przy użyciu rozpylacza RS 11004 (dawka 320 l/ha). Przy znacznej redukcji objętości frakcji V_{<100}, rozpylał on najwięcej (110,7 l) we frakcji najefektywniejszej (100÷250 μm), czyli znacznie więcej niż alternatywne rozpylacze antyznoszeniowe, równocześnie wytwarzając kilkakrotnie mniej frakcji V_{>500}. W drugiej części tabeli czwartej zestawiono wyniki innych alternatywnych scenariuszy zmiany parametrów pracy rozpylaczy. Można z nich wyciągnąć zróżnicowane wnioski, należałoby wziąć również pod uwagę rodzaj zabiegu/preparatu, gdyż determinuje to, która frakcja w indywidualnych warunkach jest najkorzystniejsza, a które frakcje są najmniej przydatne. Możliwe jest bardziej zaawansowane (szczegółowe) analizowanie frakcji – adekwatnie do indywidualnych potrzeb. Inne porównanie (rys. 4) wykazało jednoznacznie korzystniejsze charakterystyki dla konwencjonalnego rozpylacza niż eżektorowego (wydatek ok. 1 l/min). W zakresie wielkości kropli do ~400 μm rozpylacz RS 11004 wykazał znacznie wyższe wartości niż EŻK 11002. Powyżej tej średnicy relacja rozpylonych objętości pozostała także na korzyść RS 11004. Różnica na niekorzyść RS 11004 we frakcji <100 m, stanowi ok. 1,5%_{obj.} co przy dawce ~220 l/ha, daje 3,3 l/ha. W tych samych okolicznościach RS 11004 rozpylał 6,7%_{obj.} (~14,5 l/ha) frakcji >500 μm, a EŻK 11002 18,4%_{obj.} (~37 l/ha) tej frakcji.

Tab. 4. Porównanie charakterystyk (frakcji) rozpylaczy w scenariuszu przyrostu prędkości wiatru (>2 m/s).

Table 4. Comparison of the nozzles characteristics (fractions) during scenario of increased wind speed (>2 m/s)

Typ rozpylacza Nozzle type	p	v	q _r	Q	V _{<100}		V ₁₀₀₋₂₅₀		V ₂₅₀₋₅₀₀		V _{>500}		DRP V _{<100}	DRP V _{>500}
ASAE ¹¹⁾	kPa	km/h	l/min	l/ha	% _{obj.}	l/ha	% _{obj.}	l/ha	% _{obj.}	l/ha	% _{obj.}	l/ha	%	%
RS 11004 (F)	300	6,0	1,6	320	13,3	42,6	44,0	140,8	38,9	124,5	3,8	12,2	0,5	-2,1
RS 11004 (F)	300	5,0	1,6	384	13,3	51,1	44,0	169,0	38,9	149,4	3,8	14,6	0,5	-2,1
RS 11004 (M)	210	5,0	1,2	320	10,0	32,0	38,5	123,2	44,4	142,1	7,2	23,0	24,2	-5,5
RS 11004 (M)	150	4,5	1,2	320	5,9	18,9	34,6	110,7	52,8	169,0	6,7	21,4	55,3	-5,0
EŻK 11004 (C)	300	6,0	1,6	320	4,0	12,8	23,0	73,6	48,6	155,5	24,4	78,1	69,7	-23,0
EŻK 11004 (C)	300	5,0	1,6	384	4,0	15,4	23,0	88,3	48,6	186,6	24,4	93,7	69,7	-23,0
ADI 11003 (C)	300	4,5	1,2	320	4,2	13,4	25,1	80,3	52,6	168,3	18,1	57,9	68,2	-16,6
XR 11002VP (F)	276	8,0	0,74	111	14,6	16,2	52,1	57,8	33,1	36,7	0,2	0,22	-10,6	1,6
AIXR11002VP (M)	276	8,0	0,74	111	1,7	1,9	32,3	35,8	47,2	52,4	18,8	20,9	87,1	-17,3
DG 11002 (M)	276	8,0	0,74	111	4,6	5,1	25,2	28,0	56,7	62,9	13,5	15,0	65,2	-11,9
DG 11002 (M)	276	7,0	0,74	127	4,6	5,8	25,2	32,0	56,7	72,0	13,5	17,1	65,2	-11,9
DG 11002 (M)	276	6,0	0,74	148	4,6	6,8	25,2	37,3	56,7	83,9	13,5	20,0	65,2	-11,9
Hypro 11002 (C)	276	8,0	0,74	111	0,9	1,0	13,5	15,0	51,1	56,7	34,5	38,3	93,2	-33,3
ADI 11003 (C)	150	8,0	0,83	124	1,5	1,9	13,1	16,3	46,7	58,1	38,7	48,2	88,6	-37,6

Powyższe przykłady potwierdzają istnienie w charakterystykach rozpylaczy, dużego potencjału poprawy efektywności i bezpieczeństwa aplikacji ś.o.r. oraz potrzebę badań w tym zakresie, z uwzględnieniem indywidualnych warunków zabiegu.

W ogólnych zaleceniach Przewodników Dobrej Praktyki Ochrony Roślin [28], Dobrej Praktyki Organizacji Ochrony Roślin [10 i opracowania pt.: Ewidencja zabiegów ochrony roślin [9], wskazane są zaledwie zarysy ważnych zagadnień i postępowania z rozpylaczami. Przydatny operatorowi opryskiwacza notatnik pt.: Ewidencja Zabiegów Ochrony Roślin [9] w tabeli 3 (str. 5), podaje bardzo skrócone i ogólny zakres informacji o właściwościach różnych rodzajów rozpylaczy (bez źródła ich pochodzenia i sposobie walidacji), w wąskim zakresie ciśnień: „3-4 barów” (wg SI: 1 bar = 1000 hPa = 100 kPa). Cytowana niejednoznacznie norma Międzynarodowej Organizacji Normalizacyjnej ISO (*International Organization for Standardization*), dotyczy raczej wydatków cieczy, a nie „wielkości rozpylaczy”. Określenie to jest często myląco używane. Wydatek jednostkowy (ang. *flow rate*) (l/min) wynika z wielkości otworu dozującego ciecz, co wg kodu barwnego *visi flow*, określa norma ISO [18], oraz ze stopnia zużycia [5, 7, 22], a nie z wymiarów (wielkości) rozpylacza. Rozpylacze płaskostrumieniowe - nieeżektorowe, z uwagi na jakość rozpylenia, przy bardzo szerokim wyborze różnych odmian i wydatków, w zasadzie nie powinny być użytkowane przy ciśnieniu powyżej 300 kPa. Większość eżektorowych od tej wartości ciśnienia zaczyna poprawnie funkcjonować [3]. Zalecenia dotyczące rozpylaczy powinny informować o: przydatności, właściwym użytkowaniu i ich charakterysty-

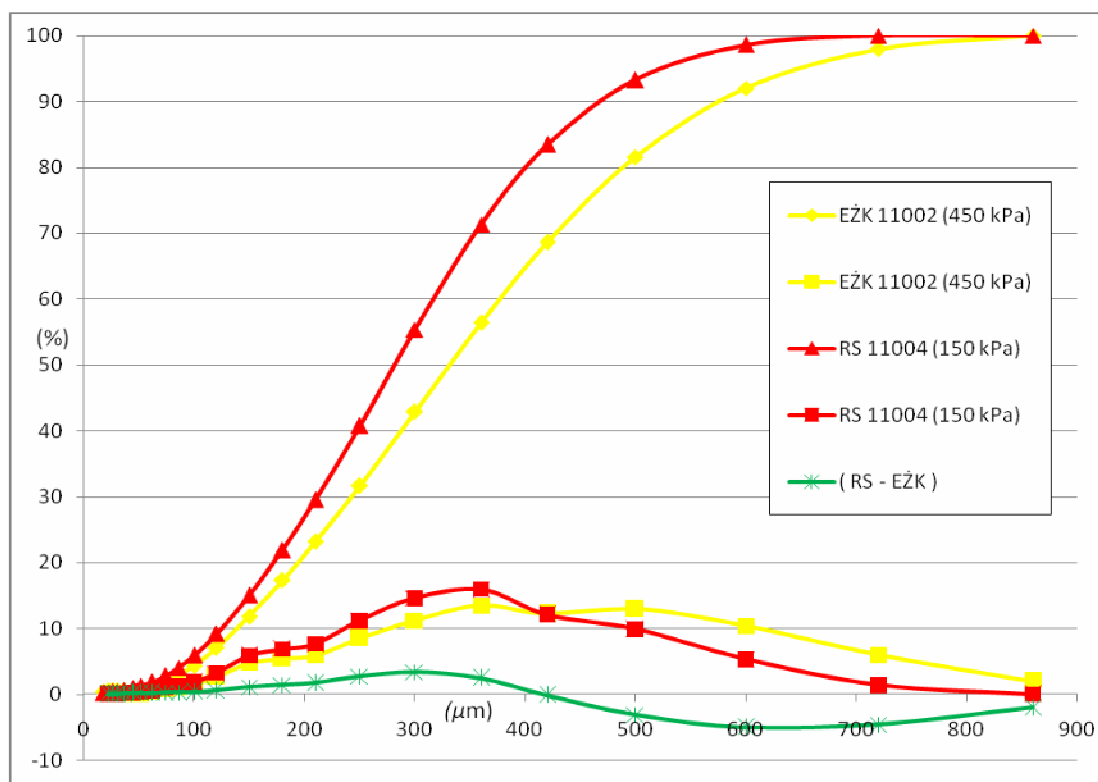
kach, w całym zakresie dopuszczalnych ciśnień. Dotychczas w Polsce takich zaleceń nie opracowano.

4. Wnioski

Ciśnienie robocze znacząco i indywidualnie decyduje o charakterystykach rozpylenia, w tym o potencjale znośzenia [4, 12] (tab. 4 i 5), co wykazały wskaźniki jakości rozpylenia i redukcji strat. Jednorodność rozpylenia (RS) wraz ze wzrostem ciśnienia pogarszała się dla wszystkich badanych rozpylaczy. Rozpylacze standardowe nie powinny być użytkowane powyżej ciśnienia 250 kPa, wtedy zbyt wiele kropli generują we frakcjach niekorzystnych.

Posiadając alternatywne możliwości, należy tak dobrać parametry pracy opryskiwacza (w tym rozpylaczy), aby świadomie wykorzystywać zalety rozpylaczy i minimalizować niekorzystne zjawiska. Propozycja zmian rozpylaczy standardowych na eżektorowe podczas wzrostu siły wiatru [22] nie jest w pełni uzasadniona. Równoczesne zmniejszenie prędkości, przy zmianie czynnego rozpylacza na eżektorowy o tym samym wydatku, może generować wzrost objętości frakcji podatnej na znośenie (<100 μm), natomiast lepszy efekt może dawać obniżenie ciśnienia (tab. 4) nawet bez zmiany rozpylacza.

Dyskusja wyników potwierdza przydatność charakterystyk rozpylenia poszczególnych rozpylaczy, do podniesienia bezpieczeństwa aplikacji pestycydów i zasadność opracowania zaleceń umożliwiających redukcję ich dawek. Badania rozpylaczy w różnych warunkach (prędkość wiatru, wysokości i różnice temperatur) [19, 21, 29, 39] oraz dla cieczy o różnych właściwościach (także mieszanin) [21, 25, 28, 36, 39], powinny być kontynuowane.



Rys. 4. Wykresy rozkładów objętościowych w poszczególnych klasach i frakcjach (legenda), uzyskanych dla rozpylaczy: RS 11004 (150 kPa, ~1,1 l/min) i EŻK 11002 (450 kPa, ~1,0 l/min), kolory krzywych wg *visi flow* [23]. Różnice (%obj.) poszczególnych frakcji – krzywa w kolorze zielonym

Fig. 4. The graphs of volumetric distributions in each class and fractions (legend), obtained for these nozzles: RS 11004 (150 kPa, ~1,1 l/min) and EŻK 11002 (450 kPa, ~1,0 l/min), color of curves according to *visi flow* [23]. The differences (%vol.) each fractions – curve in green color

Znajomość charakterystyk rozpylaczy pozwoli opracować szczegółowe scenariusze postępowania – przy zmieniających się w trakcie opryskiwania warunkach środowiskowych.

Metodyka określania klas jakości rozpylenia wymaga udoskonalenia, do czego niezbędne są dalsze badania charakterystyk rozpylenia w warunkach zbliżonych do praktycznych (jakość pracy rozpylaczy i opryskiwaczy).

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.

System *vario wind select* jest użyteczny. Skuteczny będzie jednak po opracowaniu alternatywnych rozpylaczy, czym uzyska się poprawę bezpieczeństwa stosowania ś.o.r., w sposób potwierdzony, możliwie bez redukcji skuteczności biologicznej i przedawkowywania.

Optymalne i korzystne byłoby skoordynowanie badań niezbędnych do opracowania instrukcji właściwego stosowania ś.o.r. między firmami chemicznymi, producentami rozpylaczy i opryskiwaczy oraz instytucjami odpowiadającymi za ochronę roślin. Dobór szczegółowych parametrów pracy rozpylaczy (typ, ciśnienie, wydatek, właściwości cieczy), opryskiwaczy (wysokość, ustawienie, wyposażenie belki, prędkość jazdy), w różnych warunkach środowiskowych (rodzaju i stadium rozwoju roślin, agrofaga, warunków pogodowych), leży w interesie wszystkich zainteresowanych i odpowiedzialnych za ochronę roślin stron [30].

Brak podawania źródeł i/lub metod, według których producenci rozpylaczy charakteryzują swoje rozpylacze (klasy jakości rozpylenia), może powodować złe zastosowanie rozpylaczy w praktyce i gorsze lub nieoczekiwane efekty stosowania ś.o.r.

W Polsce z powodu braku wymagań co do jakości rozpylaczy, a także braku potrzeby określania dla nich pełnych charakterystyk oraz ich przydatności w ochronie roślin, operator opryskiwacza pozbawiony jest podstawowych informacji niezbędnych do poprawnego wykonywania swojej odpowiedzialnej pracy.

Potencjał zwiększenia efektywności oraz bezpieczeństwa aplikacji ś.o.r. leży w indywidualnych charakterystykach rozpylaczy, które należy wykorzystywać adekwatnie do chwilowych warunków, łącznie z uwzględnieniem ich stopnia zużycia. Dotyczy to wszystkich dostępnych rodzajów rozpylaczy, gdyż nie wszystkie cechy przypisywane rozpylaczom eżektorowym potwierdzają się [14] (tab. 2 i 3).

5. Bibliografia

- [1] ASAE S572.1.: Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra. 2009.
- [2] 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.
- [3] Czaczyk Z.: Potencjał znoszenia cieczy wybranych rozpylaczy płaskostrumieniowych mierzony w tunelu aerodynamicznym. *Journal of Research Advances in Agricultural Engineering* 2, przyjęte do druku. 2012.
- [4] Czaczyk Z.: Spray classification for selected flat fan nozzles. *Journal of Plant Protection Research* 52 (1), s. 180-183. 2012.
- [5] Czaczyk Z.: Wstępne wyniki oceny jakości pracy rozpylaczy eżektorowych MMAT. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna* 6, s. 10-12. 2011.
- [6] Czaczyk Z.: Nierównomierność rozkładu poprzecznego cieczy i podatność wybranych rozpylaczy na zużycie. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna* 5, s. 16-18. 2011.
- [7] Czaczyk Z., 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.
- [8] Czaczyk Z., 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.
- [9] Czaczyk Z., H. Kramer, S. Kleisinger: Influence of wear on spray quality of flat fan nozzles. *Parasitica* 57, s. 69-73. 2001.
- [10] Czaczyk Z., H. Kramer, S. Kleisinger: Evaluation of the working quality of TIM flat fan nozzles with reference to European spraying standards. 8th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture, Kuşadası, Turcja, Proceedings, ISBN 975-483-560-8, October 15-17, s. 321-324. 2002.
- [11] Czaczyk Z., G. Kruger, A. Hewitt. Droplet size classification of air induction flat fan nozzles. *Journal of Plant Protection Research*, 3, (przyjęte do druku). 2012.
- [12] 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.
- [13] Doruchowski G., R. Hołownicki: Ewidencja zabiegów ochrony roślin. *Plantpress* Kraków, ISBN 978-83-89874-73-3. 32 s. 2008.
- [14] Doruchowski G., R. Hołownicki: Przewodnik Dobrej Organizacji Ochrony Roślin. *Instytut Sadownictwa i Kwiaciarnictwa*, ISBN 978-83-60573-23-5, wyd. 2, 90 s. 2008.
- [15] Dyrektywa maszynowa 2006/42/WE, Dz. U. 2008 nr 199, poz. 1228, 32 s. 2008.
- [16] Gajtkowski A.: *Technika Ochrony Roślin*. Wydawnictwo AR w Poznaniu, ISBN 83-7160-208-1, 257 s. 2000.
- [17] Giles D. K., P. G. Andersen, M. Nilars: Flow Control and Spray Cloud Dynamics Form Hydraulic Atomizers. *Transactions of the ASAE*, 45 (3), s. 539-546. 2002.
- [18] 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.
- [19] Hewitt A.J.: The importance of droplet size in agricultural spraying. *Atomization and Sprays* 7 (3), s. 235-244, 1997.
- [20] Hewitt A.J.: Developments in international harmonization of pesticide drift management, *Phytoparasitica* 29 (2), s. 93-96. 2001.
- [21] 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.
- [22] Hołownicki R.: *Technika Opryskiwania Roślin dla Praktyków*. ISBN 83-89874-50-4, *Plantpress*, 211 s. 2006.
- [23] ISO 10625: Equipment for crop protection. Sprayer nozzles. Colour coding for identification. *International Standardization Organization*. 12 s. 2005.
- [24] JKI: The list of certified nozzles at Julius Kühn-Institute in Braunschweig: http://www.jki.bund.de/fileadmin/dam_uploads

- /AT/ger%C3%A4telisten/anerkannte_Duesen/Tabelle%20der%20JKI%20anerkannten%20Pflanzenschutzduesen.pdf, dostęp 25.04.2012.
- [25] 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.
- [26] Lund I.: Nozzles for drift reduction. *Aspects of Applied Biology* 57, s. 97-102. 2000.
- [27] Mathews G.A.: *Pesticide Applications Methods*. 3rd edn. Blackwell Science, Oxford, England, 432 s. 2000.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] MRiRW: Krajowy Plan Działania na rzecz ograniczenia ryzyka związanego ze stosowaniem środków ochrony roślin na lata 2013-2017, 72 s. 2012.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] PIMR: Wyniki badań rozpylaczy dla sprzętu polowego i sadowniczego. 49 s. 2004.
- [34] 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.
- [35] Pruszyński S., Wolny S.: *Przewodnik dobrej praktyki ochrony roślin*. Wydawnictwo IOR, ISBN 978-83-89867-85-8, 80 s. 2007.
- [36] 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.
- [37] 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.
- [38] 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.
- [39] Spillman J.J.: Spray impaction, retention and adhesion: an introduction to basic characteristics. *Pestic. Sci.* 15, s. 97-106. 1984.
- [40] SPISE – European Workshop on Standardized Procedure for the Inspection of Sprayers in Europe, Lana, Italy – 27-29 March. 2012. (<http://spise.jki.bund.de/>)
- [41] 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.
- [42] 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 Hotel and Casino, Reno, NV, December 8., 9 s. 2003.
- [43] 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.

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 w pomiarach.

Dr. Andrew Hewitt'owi, za motywację, wartościowe konsultacje i wsparcie w realizacji.