

OPRYSKIWACZ DWUWENTYLATOROWY DO OCHRONY SADÓW – BADANIA LABORATORYJNE I POLOWE

Artur Godyń, Ryszard Hołownicki, Grzegorz Doruchowski,
Waldemar Świechowski

Zakład Agroinżynierii, Instytut Sadownictwa i Kwiaciarnictwa w Skierniewicach

Streszczenie. Celem badań prowadzonych z prototypem opryskiwacza dwuwentylatorowego, opracowanego w ramach współpracy Zakładu Agroinżynierii ISK i producenta opryskiwaczy ZH-P AGROLA, była laboratoryjna i polowa ocena rozkładu cieczy opryskowej oraz laboratoryjna ocena rozkładu strumienia powietrza z wentylatorów. Skierowanie strumienia cieczy pod kątem względem strumienia powietrza, umożliwiło zwiększenie równomierności pionowego rozkładu cieczy. W sadzie o wysokości drzew wynoszącej 4,0 m istotnie mniejsze naniesienie (niż dla innych ustawień) uzyskano dla najwyższej pozycji górnego wentylatora.

Słowa kluczowe: opryskiwacz dwuwentylatorowy, opryskiwacz sadowniczy, odwrócony ciąg, rozkład cieczy opryskowej, rozkład pomocniczego strumienia powietrza

Wstęp

Technika ochrony jest jednym z głównych czynników decydujących o skuteczności ochrony w sadach, a także o ekonomicznym efekcie produkcji sadowniczej. Właściwym sposobem postępowania jest odpowiednie dobranie opryskiwacza i jego parametrów roboczych do formy i rozmiarów koron opryskiwanych drzew. Wysokie drzewa wymagają zastosowania odpowiedniej techniki ochrony, która zagwarantuje zarówno równomierne naniesienie cieczy opryskowej na całą wysokość korony, jak i ograniczenie strat do minimum. Jednym z powodów formowania wysokich drzew jest chęć przeniesienia strefy owoconośnej wyżej, w celu ochrony pąków i kwiatów przed wiosennymi przymrozkami. Zabiegu tego dokonuje się w już rosnących sadach, co uniemożliwia właściwe dobranie rozstawy rzędów do wysokości drzew. Dlatego drzewa o wysokości powyżej 4,0-4,5 m, rosące w rozstawach nie większych niż 4,0 m, nie mogą być opryskane precyzyjnie przy zastosowaniu większości dostępnych na rynku maszyn. Tradycyjne opryskiwacze sadownicze z wentylatorami osiowymi, chociaż uzyskują wymagany zasięg oprysku, przyczyniają się do znacznego znoszenia cieczy opryskowej. Na rynku krajowym pojawiły się już opryskiwacze dwu-, trzy-, a nawet czterowentylatorowe [Tifone s.r.l., Włochy; BAB Bamps N.V., Belgia] przeznaczone do opryskiwania wysokich drzew. W tych konstrukcjach wlot powietrza do wentylatorów zlokalizowany jest w sposób tradycyjny i znajduje się z tyłu opryskiwacza. Takie rozwiązanie rodzi niebezpieczeństwo zasysania przez wentylator części wypryskiwanej cieczy opryskowej. W opryskiwaczach z „odwróconym ciągiem”,

w których powietrze do wentylatorów zasysane jest z przeciwnej strony, takie zagrożenie nie istnieje. Ponadto możliwe jest odchylenie do tyłu strumienia powietrza, co umożliwia wydłużenie drogi, jaką ciecz opryskowa pokonuje w koronie drzewa. Dzięki temu straty cieczy opryskowej mogą być zmniejszone nawet o 50% [Hołownicki i in. 2000]. W badaniach nad opryskiwaczami wielowentylatorowymi autorzy uzyskali zwiększenie naniesienia i pokrycia cieczą opryskową oraz ograniczenie strat [Svensson 2001; Furnes i in. 2006, Van de Zande i in. 2005].

Opryskiwacz dwuwentylatorowy z „odwróconym ciągiem” został opracowany w ramach współpracy Zakładu Agrotechnologii ISK i producenta opryskiwaczy ZH-P AGROLA Zdzisław Niegowski (www.agrola.com). We wstępnych badaniach dokonano oceny modelu opryskiwacza dwuwentylatorowego [Godyń i in. 2007]. Zebrane spostrzeżenia zostały wykorzystane przy budowie prototypu opryskiwacza. Celem badań, które przeprowadzono z prototypem opryskiwacza, była laboratoryjna i polowa ocena rozkładu cieczy opryskowej oraz laboratoryjna ocena rozkładu strumienia powietrza z wentylatorów.

Materialy i metody

Dwuwentylatorowy opryskiwacz sadowniczy (fot. 1) wykorzystuje dwa umieszczone nad sobą wentylatory osiowe, przez które powietrze przepływa przeciwnie do zwrotu wektora ruchu opryskiwacza (tzw. „odwrócony ciąg”). Zastosowanie idei „odwróconego ciągu” w konstrukcji z dwoma wentylatorami jest rozwiązaniem niespotykanym w innych opryskiwaczach. Dolny wentylator napędzany jest mechanicznie przez dwubiegową przekładnię. Górny wentylator napędzany jest hydraulicznie. Dzięki zastosowaniu takiego rozwiązania, jego położenie może być regulowane w pionie w zakresie 80 cm (oś wentylatora na wysokości 210÷290 cm). W obu wentylatorach użyto jednakowych wirników firmy „Fieni” (ø 800 mm) ze sprzęgłami odśrodkowymi i ustawianymi kątami łopat.

W czasie badań laboratoryjnych przeprowadzono pomiary rozkładu pionowego cieczy opryskowej i rozkładu maksymalnej prędkości przepływu powietrza dla obu wentylatorów.

Pomiary rozkładu pionowego cieczy opryskowej przeprowadzono na pionowym separatorze kropel (paternatorze) firmy Pessl (Austria) o rozdzielczości pomiarowej wynoszącej 10 cm i zasięgu pionowym pomiaru do 340 cm. Wykonano je przy ciśnieniu roboczym 9 barów, dla dwóch rozmiarów rozpylaczy: Lechler TR 80-015 (1,0 l·min⁻¹) oraz Albus ATR czerwony (1,83 l·min⁻¹) różnicując kąty między strumieniem powietrza i cieczy (0, 5, 10, 15, 20, 25 i 30°). Badania wykonano w trzech powtórzeniach dla każdej kombinacji. Po wykonaniu symulacji opryskiwania z włączonym wentylatorem (górny 1500 obr·min⁻¹, dolny 1800 obr·min⁻¹), ciecz z lamelli separatora była zlewana do menzur stanowiących element wyposażenia separatora. Odczytu poziomu wypełnienia menzur dokonano wizualnie, zachowując stałą wysokość wzroku osoby odczytującej. Wartości odczytów wprowadzano do arkusza kalkulacyjnego, następnie określano równomierność rozkładu pionowego cieczy obliczając współczynniki zmienności (CV%).

Badania rozkładu maksymalnej prędkości przepływu strumienia powietrza wykonano z zastosowaniem anemometrów temperaturowych (8450-51M-V-STD-NC-GB, TSI Inc., USA). Pomiary dla górnego wentylatora wykonano przy 1500 obr·min⁻¹, różnicując kąty natarcia łopat wentylatora (35, 40, 45 i 50°) a dla dolnego przy 1400 obr·min⁻¹, różnicując

Opryskiwacz dwuwentylatorowy...

odległości czujników od wylotu powietrza (10, 30, 50 i 70 cm). Wartości maksymalnej prędkości przepływu strumienia powietrza odczytywano z wykresów, których uzyskanie umożliwiło oprogramowanie rejestratora.

W czasie badań polowych określono rozkład cieczy opryskowej w drzewach i znoszona poza nie. Pomiary wykonano w sadzie grusowym na drzewach odm. Lukaszówka rosnących na podkładce grusza kaukaska (wys. × szer. koron: 4,0×2,0 m, rozstawa: 4,0×2,0 m). Stosowano dawkę cieczy 660 l·ha⁻¹ (obliczoną metodą TRV), przy prędkości roboczej 4,8 km·h⁻¹. Pomiary wykonano dla niezmiennych ustawień dolnego wentylatora oraz dla trzech wysokości umieszczenia górnego: najniższej (+0 cm), pośredniej (+40 cm) i najwyższej (+80 cm). Parametry robocze opryskiwacza zawiera tabela 1.

Tabela 1. Parametry pracy opryskiwacza dwuwentylatorowego – badania polowe
Table 1. Two-fan spraying machine operating parameters – field tests

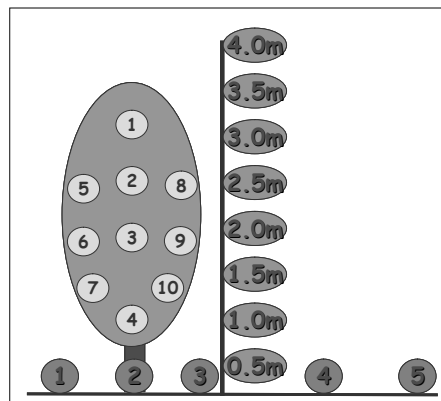
Parametr	Ustawienia wentylatora i rozpylaczy			
	Dolny wentylator	Górny wentylator		
		+ 0 cm	+ 40 cm	+ 80 cm
Liczba rozpylaczy na stronę opryskiwacza	6	5	5	5
Odległość rozpylaczy od pow. ziemi [cm]	64÷180	184÷264	224÷304	264÷344
Prędkość obrotowa wentylatora [obr·min ⁻¹]	2400	1500	1500	1500
Odległość osi wentylatora od pow. ziemi [cm]	90	210	250	290
Kąt natarcia łopat wentylatora [stopnie]	35°	45°		
Wymiary wylotu deflektora: szer. · wys. [cm]	11x140	11×100		
	Parametry opryskiwacza			
Ciągnik	MF 255 przy 540 obr·min ⁻¹			
Dawka cieczy [l·ha ⁻¹]	660			
Prędkość robocza [km·h ⁻¹]	4,8			
Rozpylacze, ciśnienie robocze (wydatek cieczy)	Lechler TR 80 015, 8 barów (1,0 l·min ⁻¹)			

W badaniach zastosowano metodę fluorescencyjną i znacznik BSF (0,05%). Próbniki z bibuły filtracyjnej umieszczano na obu pow. liści, w 10 punktach każdego z pięciu kolejnych drzew oraz na ramach umieszczanych poza drzewami i na podstawkach na ziemi (rys. 2). Analizy statystyczne (ANOVA i test Duncan'a) wykonano z zastosowaniem programu STATISTICA (StatSoft, Inc.) wersja 7.1.



Rys. 1. Opryskiwacz dwuwentylatorowy z „odwroconym ciągiem”

Fig. 1. Two-fan spraying machine with “reverse thrust”



Rys. 2. Rozkład próbek w pomiarach rozkładu i strat cieczy opryskowej

Fig. 2. Distribution of samples in measurements of spraying liquid distribution and losses

Wyniki

Wraz ze zwiększaniem kąta ciecz-powietrze obserwowano zmniejszanie wartości CV%, czyli poprawę równomierności rozkładu pionowego cieczy opryskowej (tab. 2). Jako optymalny kąt między strumieniem cieczy i strumieniem powietrza przyjęto kąt 20°, dla którego w większości badanych kombinacji (rozmiar rozpylacza - wentylator) wartość współczynnika CV% była najmniejsza lub mniejsza niż dla następnego (większego kąta).

W większości punktów pomiarowych znajdujących się „naprzeciw” rozpylaczy, obserwowano wzrost maksymalnej prędkości przepływu powietrza wraz ze wzrostem kąta natarcia łopaty. Prędkości maksymalne mierzono przy kącie natarcia łopaty wynoszącym 50°. W odległości 10 cm od wylotu, dla górnego wentylatora sięgały one 37,5 dla lewej strony i do 35,5 m·s⁻¹ dla prawej. Przy kącie natarcia łopaty 35° dla górnego wentylatora mierzono prędkości do 23,6 dla lewej i do 22,7 m·s⁻¹ dla prawej oraz dla dolnego odpowiednio do 20,8 i do 22,6 m·s⁻¹ (rys. 3a, b i 4a, b). Rozkład pionowy zmierzonych prędkości maksymalnych nie był równomierny, zarówno po każdej ze stron obu wentylatorów (na różnych wysokościach), jak i między lewą i prawą stroną każdego z wentylatorów (na jednakowych wysokościach). Nierównomierność między stronami wentylatorów, wykazywała asymetrię charakterystyczną dla wentylatorów osiowych. Przy lewych obrotach, większe wartości w górnej części wentylatora mierzono po jego lewej stronie (rys. 3c i 4c) oraz w dolnej części – po jego prawej stronie. Dla dolnego wentylatora, który zlokalizowany był w dolnej części deflektora (tab. 1), bardziej rozciągniętego w pionie (140 cm vs. 100 cm dla górnego), niesymetryczność lewa-prawa strona rozłożona była również nieproporcjonalnie. Dla wysokości pomiarowej 111 do 180 cm – większe wartości mierzono po lewej stronie, a jedynie dla wysokości pomiarowej od 64 do 85 cm – większe wartości mierzono dla pra-

Opryskiwacz dwuwentylatorowy...

wej strony dolnego wentylatora. Różnice maksymalnych prędkości przepływu strumienia powietrza, między lewą i prawą stroną wentylatora, sięgały $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

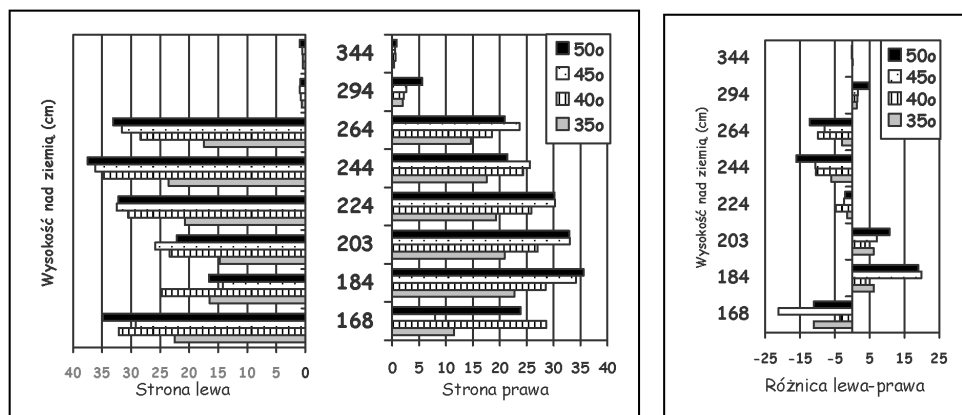
Dla najwyższej pozycji górnego wentylatora uzyskano istotnie mniejsze naniesienie (na obie powierzchnie liści „G+D” i na dolne powierzchnie „D”) niż dla pozostałych ustawień (tab. 3). Wraz z obniżaniem pozycji górnego wentylatora obserwowano tendencję do zwiększania równomierności naniesienia między górnymi i dolnymi powierzchniami liści (malejące wartości wskaźnika G/D), co jednak nie zostało potwierdzone statystycznie.

Tabela 2. Równomierność rozkładu pionowego cieczy (CV%) w zależności od kąta między strumieniem cieczy i strumieniem powietrza, dla dwóch rozmiarów rozpylaczy: TR 80-015 ($1,0 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$), ATR czerwony ($1,8 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$)

Table 2. Uniformity of liquid vertical distribution (CV%) depending on angle between liquid stream and air stream, for two sprayer sizes: TR 80-015 ($1.0 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$), red ATR ($1.8 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$)

Wentylator / wydatek rozpylacza	Kąt: strumień cieczy - strumień powietrza							
	0° bez PSP	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°
Dolny / $1,0 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$	66	55	50	47	43	40	44	40
Dolny / $1,8 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$	75	54	54	54	48	44	46	42
Górny / $1,0 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$	65	57	58	56	52	47	45	45
Górny / $1,8 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$	54	56	58	55	54	46	51	43

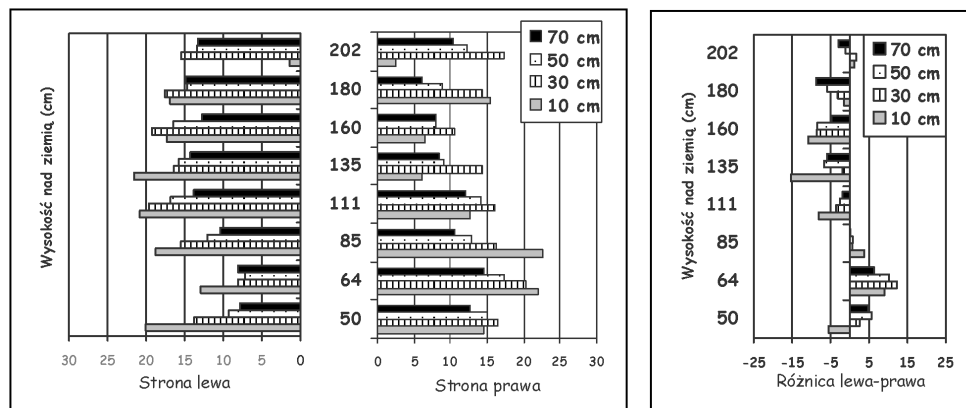
Źródło: obliczenia własne



Źródło: obliczenia własne

Rys. 3 a, b, c. Rozkład pionowy prędkości maksymalnej strumienia powietrza dla czterech kątów natarcia łopat wentylatora. Górny wentylator: $1500 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$, 10 cm od wylotu (168÷344 cm od pow. ziemi). Od lewej: lewa, prawa strona wentylatora i różnica lewa-prawa

Fig. 3 a, b, c. Vertical distribution of air stream maximum velocity for four rake angles of the fan vanes. Upper fan: 1500 rpm, 10 cm from the outlet (168÷344 cm from ground surface). From the left: left, right fan side, and difference left-right



Źródło: obliczenia własne

Rys. 4 a, b, c. Rozkład pionowy prędkości maksymalnej strumienia powietrza w czterech odległościach od wylotu powietrza. Dolny wentylator: 1400 obr·min⁻¹, kąt natarcia łopat – 35° (50÷202 cm od pow. ziemi). Lewa, prawa strona wentylatora i różnica lewa-prawa

Fig. 4 a, b, c. Vertical distribution of air stream maximum velocity for four distances from air outlet. Lower fan: 1400 rpm, vane rake angle – 35° (50÷202 cm from ground surface). left, right fan side, and difference left-right

Tabela 3. Naniesienie BSF na powierzchnie liści [μg·cm⁻²] oraz straty [%] cieczy opryskowej (potencjał znoszenia) dla prototypu opryskiwacza dwuwentylatorowego. Średnie w kolumnach, oznaczone tą samą literą, nie różnią się istotnie (5%) wg testu t-Duncana

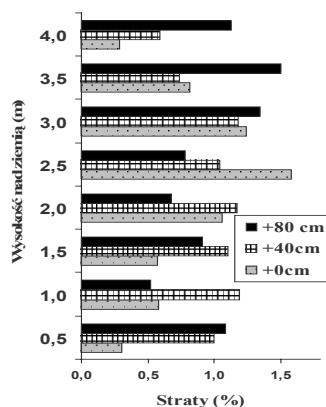
Table 3. BSF application onto the surface of leaves [μg·cm⁻²], and spraying liquid losses [%] (carrying off potential) for prototype two-fan spraying machine. According to the t-Duncan's test, mean values in columns, marked with the same letter, do not differ significantly (5%)

Wys. umieszczenia górnego wentylatora	Naniesienie [μg·cm ⁻²]				Straty [%]		
	G+D	G	D	G/D	Sedyment	Powietrze	Łączne
Najwyższa (+ 80 cm)	3,2a	2,0 a	1,2 a	2,5 a	7,95 a	6,38 a	14,33 a
Pośrednia (+ 40 cm)	4,3 b	2,4 a	1,9 b	2,2 a	8,02 a	5,60 a	13,62 a
Najniższa (+0 cm)	4,2 b	2,3 a	1,9 b	2,0 a	6,44 a	5,94 a	12,37 a

Źródło: Obliczenia własne

Największą liczbowo wartość strat stwierdzono dla najwyższego położenia górnego wentylatora. Nie wykazano jednak statystycznie istotnej różnicy między kombinacjami. Jest to konsekwencją „niewychwycenia” całej przenoszonej ponad drzewami cieczy (pomiar do wysokości 4,0 m). Na prawidłowość takiego rozumowania wskazuje analiza rozkładu pionowego cieczy znoszonej na wysokości 2,5÷4,0 m (rys. 5). W tej strefie obserwowano zmniejszanie się ilości znoszonej cieczy wraz ze zwiększaniem się wysokości, na której dokonywano pomiaru. Dla najniższej pozycji górnego wentylatora, to zmniejszanie, następowało od wysokości 2,5 m, a dla pozycji pośredniej - od 3,0 m. Dla najwyższego

ustawienia górnego wentylatora, na wysokości 4,0 m obserwowano jeszcze znaczne znośzenie, które dla niższych ustawień wentylatora, występowało tylko na wysokości 3,0 m. Wskazuje to na potrzebę zwiększenia pionowego zasięgu pomiarów znośzenia powyżej wysokości 4,0 m.



Źródło: obliczenia własne

Rys. 5. Pionowy rozkład znośzonej cieczy opryskowej (procent wypryskanej dawki), dla 3 pozycji górnego wentylatora: najwyższej (+80 cm), pośredniej (+40 cm) i najniższej (+0 cm). Pomiarzy 50 cm za koroną opryskiwanego drzewa

Fig. 5. Vertical distribution of carried off spraying liquid (percent of sprayed dose), for upper fan position 3: highest (+80 cm), intermediate (+40 cm) and lowest (+0 cm). Measurements carried out 50 cm beyond sprayed tree crown

Wyniki pomiarów zapotrzebowania mocy dla obu wentylatorów [Godyń i in., 2008a] oraz porównanie rozkładu cieczy opryskowej dla modelu i prototypu opryskiwacza dwuwentylatorowego [Godyń i in. 2008b] autorzy niniejszej pracy prezentowali w 2008 roku. W kolejnych latach przeprowadzone zostaną polowe badania porównawcze opryskiwacza dwuwentylatorowego z innymi opryskiwaczami. Prace te umożliwią porównanie rozkładu cieczy opryskowej oraz skuteczności biologicznej uzyskiwanej przy zastosowaniu tych technik w czasie opryskiwania wysokich drzew.

Podsumowanie i wnioski

1. Skierowanie strumienia cieczy pod kątem względem strumienia powietrza, umożliwia zwiększenie równomierności pionowego rozkładu cieczy w porównaniu z równoległym układem obu strumieni. Dla badanego opryskiwacza kąt ten powinien wynosić 20°.
2. Pionowy rozkład strumienia powietrza dla górnego i dolnego wentylatora wykazuje asymetrię charakterystyczną dla wentylatorów osiowych. Różnice prędkości przepływu strumienia powietrza między lewą i prawą stroną opryskiwacza, w odległości 10 cm od wylotu powietrza (mierzone na tych samych wysokościach) sięgały 20 m·s⁻¹.

3. W badanym opryskiwaczu dwuwentylatorowy wysokość ustawienia górnego wentylatora wpływa na wielkość naniesienia cieczy w koronie drzewia. W sadzie o wysokości drzew wynoszącej 4,0 m istotnie mniejsze naniesienie: łączne na obie powierzchnie liści oraz na dolne, uzyskano dla najwyższej pozycji górnego wentylatora.
4. W przeprowadzonym doświadczeniu nie wykazano wpływu wysokości ustawienia górnego wentylatora na wielkość strat (potencjał znoszenia). W przyszłych pomiarach znoszenia powietrznego należy zwiększyć wysokość pomiarową do np. 6,0 m.

Bibliografia

- Furnes G. O., Thompson A. J. and Manktelow D.W.** 2006. Multi-fan spray towers to improve dose efficiency and spray coverage uniformity in citrus trees. *Aspects of Applied Biology* 77. 2006. International advances in pesticide application. pp: 481-488.
- Godyń A., Hołownicki R., Doruchowski G., Świechowski W.** 2007. Dual-fan orchard sprayer with reversed air-stream – preliminary trials. The 9th Workshop on Sustainable Plant Protection Techniques in Fruit Growing (SuProFruit), Alnarp, Sweden. 12-14 September 2007. pp. 65-66.
- Godyń A., Hołownicki R., Doruchowski G., Świechowski W.** 2008a. Sadowniczy opryskiwacz dwuwentylatorowy do ochrony wysoko prowadzonych drzew. Ogólnop. Konf. Ochr. Rośl. Sad. „Problemy ochrony roślin sadowniczych w aspekcie Integrowanej Ochrony Roślin sadowniczych”. Skierniewice 12-13 marca 2008.
- Godyń A., Hołownicki R., Doruchowski G., Świechowski W.** 2008b. Spray Distribution for Dual-fan Orchard Sprayer with Reversed Air-stream. Int. Conf. on Agric. Engineering “Agricultural&Biosystems Engineering for a Sustainable World, Hersonissos. Crete-Greece, 23-25 June 2008.
- Hołownicki R., Doruchowski G., Godyń A., Świechowski W.** 2000. Effect of air adjustment on spray losses in orchard. *Aspects of Applied Biology* 57, Pesticide Application. 293-300.
- Svensson S. A.** 2001. Wpływ strumienia powietrza na jakość zabiegów w sadach. Materiały z II Konferencji „Racjonalna Technika Ochrony Roślin”. Skierniewice 23-24 października 2001. pp:135-147.
- Van de Zande J.C., Van der Lans A.M., Stallinga H., Michielsen J.M.G.P., Van Velde P., Massink G..** 2005. Development of a sprayer adapted to high tree crops. VIII Workshop on Spray Application Techniques in Fruit growing, Barcelona. June 2005. Proceedings. pp. 113-120.

TWO-FAN SPRAYING MACHINE FOR ORCHARD PROTECTION – LABORATORY AND FIELD TESTS

Abstract. The tests of a prototype two-fan spraying machine, designed as part of cooperation between the ISK Agroengineering Unit and spraying machinery manufacturer ZH-P AGROLA, were performed to obtain laboratory and field assessment of spraying liquid distribution and laboratory assessment of fan air stream distribution. Pointing of liquid stream at angle in relation to air stream allowed to increase the liquid vertical distribution uniformity. In an orchard with 4.0m-high trees, significantly lower application (compared to other settings) was obtained for highest upper fan position.

Key words: two-fan sprayer, orchard sprayer, reversed air-flow, spray distribution, air distribution

Adres do korespondencji:

Artur Godyń; e-mail: agodyn@insad.pl
Zakład Agrotechnologii
Instytut Sadownictwa i Kwiaciarnictwa
ul. Pomologiczna 18
96-100 Skierniewice

