

## ZASTOSOWANIE PROSTOWNICY RUROWO-WIĄZKOWEJ DO UJEDNORODNIENIA STRUMIENIA POWIETRZA W TUNELU AERODYNAMICZNYM

Antoni Szewczyk, Deta Łuczycka, Krzysztof Lech, Gracjan Rojek  
*Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu*

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono metodę ujednorodniania strumienia powietrza w tunelu aerodynamicznym do badań rozpylaczy. Do tego celu zastosowano prostownicę rurowo-wiązkową własnej konstrukcji. Uzyskane wyniki przedstawiono w postaci wykresów powierzchniowych rozkładów prędkości powietrza w miejscu mocowania rozpylacza. Na podstawie analizy wyników badań stwierdzono, że zaproponowana konstrukcja prostownicy umożliwi uzyskanie dostatecznie jednorodnego strumienia powietrza by można było w tym tunelu prowadzić badania nad wpływem prędkości powietrza na rozkład opadu rozpylanej cieczy.

**Słowa kluczowe:** tunel aerodynamiczny, strumień powietrza, prostownica powietrza

### Wstęp i cel pracy

Zabiegi chemiczne w rolnictwie stały się niezbędną koniecznością dla ochrony plonów. Mają także znaczący wpływ na opłacalność produkcji. Jednak środki chemiczne stosowane w rolnictwie nie są obojętne dla środowiska [Hołownicki, Doruchowski 2002]. Często, bowiem w momencie oprysku dochodzi do strat środków ochrony roślin. Polega to na tym, że część środków trafia na opryskiwany obiekt a pozostała ilość zostaje zniesiona poza miejsce opryskiwania [Nilars i in. 2002]. Istotnym czynnikiem wpływającym na jakość i skuteczność opryskiwania jest odpowiednie rozłożenie rozpylanej cieczy na opryskiwaną powierzchnię w płaszczyźnie poprzecznej i podłużnej.

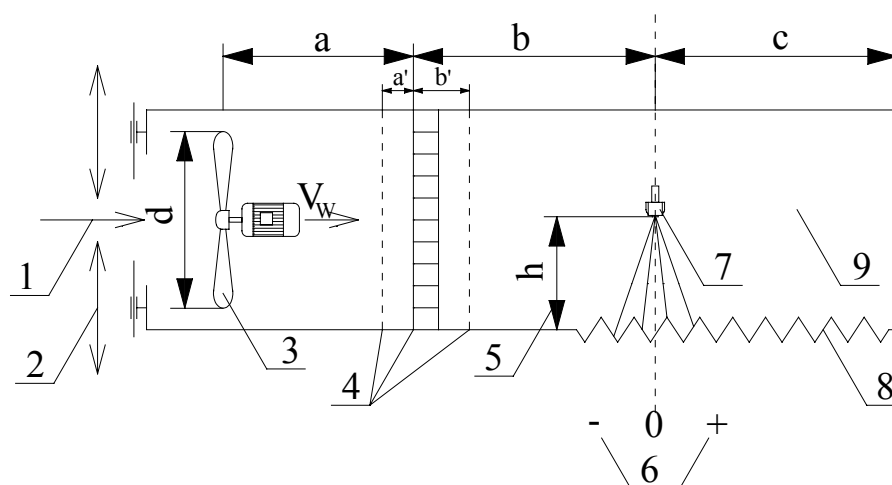
Panujące w trakcie zabiegu warunki atmosferyczne, a przede wszystkim prędkość wiatru działającego na rozpyloną strugę, mają duży wpływ na opad rozpylanej cieczy na opryskiwane obiekty. Prędkość wiatru znacząco wpływa również na znoszenie cieczy użytkowej, co jest zjawiskiem szczególnie szkodliwym. Jak wynika z badań, kiedy prędkość wiatru wzrośnie dwukrotnie to krople o średnicy 100  $\mu\text{m}$  przemieszczają się na odległość dwukrotnie większą w porównaniu ze stanem początkowym [Hołownicki 2001]. Określenie wpływu wiatru na rozpyloną strugę w warunkach polowych jest bardzo trudne. W tym celu najlepiej jest wykorzystać możliwości, jakie dają badania laboratoryjne z zastosowaniem tunelu aerodynamicznego. W takim przypadku największą trudnością w uzyskaniu wiarygodnych i powtarzalnych wyników jest wytworzenie jednorodnego strumienia powietrza, którego prędkość można by określić z wystarczającą, dla konkretnego przypadku, dokładnością. W Instytucie Inżynierii Rolniczej UP we Wrocławiu do prowadzenia badań

rozkładu podłużnego opadu rozpylonej cieczy wykorzystywano specjalne stanowisko, którego zasadniczym elementem był tunel aerodynamiczny, gdzie do ujednorodniania strumienia powietrza zastosowano prostownicę rurowo-wiązkową własnej konstrukcji.

Przed przystąpieniem do badań rozkładu opadu rozpylonej cieczy na stanowisku pokazanym na rysunku 1 wykonano pomiary, których celem było określenie stopnia jednorodności strumienia powietrza w miejscu rozpylania cieczy przez badane rozpylacze.

### Stanowisko pomiarowe i metodyka badań

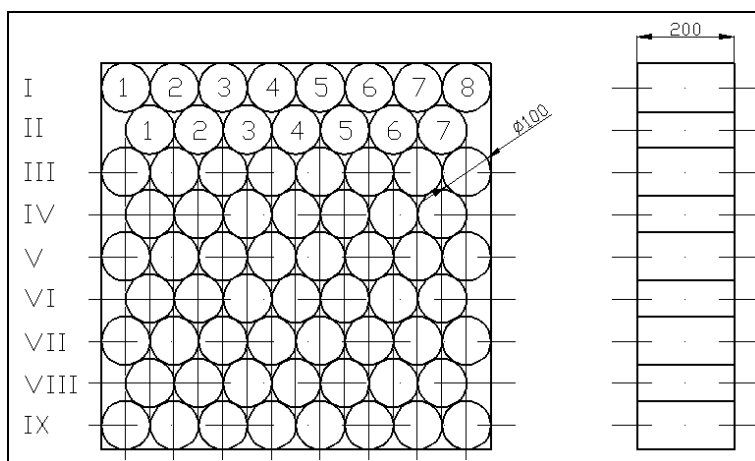
Na rysunku 1 przedstawiono schemat tunelu aerodynamicznego



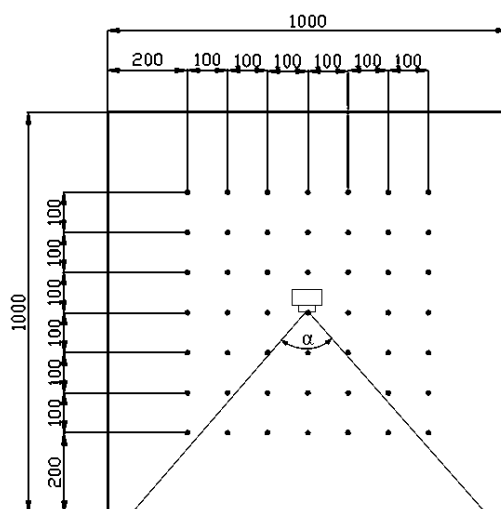
Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego do badań rozkładu opadu rozpylonej cieczy w warunkach działania strumienia powietrza: d – średnica wirnika dmuchawy, a – odcinek przed prostownicą powietrza ( $a > 6d$ ), b – odcinek pomiarowy za prostownicą, c – odcinek pomiarowy za rozpylaczem, 1 – wlot powietrza, 2 – kierunek ruchu przesłony wlotu powietrza, 3 – dmuchawa, 4 – prostownica rurowo-wiązkowa z układem siatek homogenizujących strumień powietrza, 5 – wysokość ustawienia rozpylacza, 6 – oznaczenie opryskiwanych powierzchni, 7 – mocowanie rozpylacza, 8 – stół rowkowy, 9 – tunel powietrzny

Fig. 1. The scheme of the measuring station for testing of the distribution of fall of the sprayed liquid in conditions of operation of the air stream: d – blower rotor diameter, a – section in front of the air straightening machine ( $a > 6d$ ), b – measuring section behind the straightening machine, c – measuring station behind the sprayer, 1 – air inlet, 2 – direction of movement of air inlet screens, 3 – blower, 4 – bundle-pipe straightening machine with a system of nets homogenising the air stream, 5 – height of setting of the sprayer, 6 – marking of sprayed surfaces, 7 – fastening of the sprayer, 8 – grooved table, 9 – air tunnel

Strumień powietrza wytwarzany był przez wentylator osiowy. Prędkość powietrza regulowano poprzez zmianę przekroju szczeliny wlotowej. Jednorodność strumienia powietrza na całym przekroju kanału powietrznego uzyskano przy pomocy prostownicy powietrza zainstalowanej za wentylatorem. Projekt prostownicy opierał się na konstrukcji opisanej w badaniach Gumuły i Pytla [2005]. Schemat tego urządzenia przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat prostownicy rurowo-wiązkowej  
Fig. 2. Scheme of the bundle-pipe straightening machine



Rys. 3. Schemat usytuowania punktów pomiarowych w miejscu mocowania rozpylacza  
Fig. 3. Scheme of location of measurement points in the place of fastening of the sprayer

Pomiar prędkości przepływu powietrza przeprowadzono w dwóch miejscach kanału aerodynamicznego. Pierwszym miejscem pomiaru były wyloty rur prostownicy zgodnie ze schematem pokazanym na rysunku 2. W drugim przypadku prędkość powietrza mierzona była w płaszczyźnie symetrii rozpylanych strug badanych rozpylaczy w odległości 4,5 m od prostownicy. Pomiary prędkości powietrza wykonano anemometrem skrzydełkowym KESTREL 4000 z zakresem pomiarowym  $0,1-15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  i klasie dokładności 1,0. Dla określenia opadu rozpylanej cieczy najistotniejsze były wyniki pomiarów prędkości powietrza w drugim przekroju kanału. W tym miejscu strumień powietrza bezpośrednio oddziałuje na rozpyloną strugę. Pomiary te wykonano w 49 punktach na przekroju tunelu. Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych w miejscu mocowania rozpylacza przedstawiono na rysunku 3. Na tym schemacie zaznaczono również usytuowanie obrysu rozpylonej strugi na tle przekroju kanału aerodynamicznego i rozmieszczonych tam punktów pomiarowych.

## Wyniki badań

Wyniki pomiarów prędkości powietrza przy wylotach rur prostownicy podano w tabeli 1. Dane tam zestawione przedstawiają przykładowo rozkład prędkości uzyskanych przy jednej z nastaw dmuchawy. Jak widać w tabeli, w poszczególnych rurach prostownicy odnotowano duży rozrzut prędkości, od  $-1,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  do  $8,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . W niektórych miejscach znajdujących się w środkowej części tunelu wystąpiła nawet zmiana kierunku przepływu powietrza i zamiast tłoczenia występowało zasysanie powietrza. Wartości tych prędkości oznaczono znakiem „minus”. Największe prędkości przepływu powietrza uzyskano w rurach, które są umieszczone w narożnikach tunelu.

Wyniki pomiarów prędkości powietrza w miejscu rozpylania cieczy dla jednej z nastaw wentylatora podano w tabeli 2. Wartości prędkości powietrza zmierzone w obrysie rozpylonej strugi zostały pogrubione.

Na rysunku 4 przedstawiono wykresy prędkości powietrza w płaszczyźnie mocowania rozpylacza dla poszczególnych nastaw dmuchawy tak by uzyskać prędkości wiatru, w miejscu mocowania rozpylacza, w zakresie:  $1,5-6,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Analiza wyników badań prędkości powietrza w miejscu mocowania rozpylacza wykazała, że przepływ powietrza ma tam charakter laminarny a prędkości powietrza w poszczególnych punktach pomiarowych różnią się nieznacznie. Istotne jest to, że strumień powietrza, który w rzeczywistości będzie oddziaływał na rozpyloną strugę (w zakresie wysokość od 0,0 do 0,6 m oraz w całym zakresie szerokości tunelu) charakteryzuje się dużą jednorodnością. Najbardziej wyrównanym przepływem charakteryzuje się strumień powietrza przy ustawieniu układu regulacji na mniejsze prędkości przepływu.

## Analiza statystyczna wyników pomiarów

Uzyskane wyniki pomiarów prędkości powietrza dla poszczególnych nastaw wentylatora poddano ocenie statystycznej a jej wyniki podano w tabeli 3.

Zastosowanie prostownicy...

Tabela 1. Prędkość powietrza  $v_p$  [ $m \cdot s^{-1}$ ] w poszczególnych rurach prostownicy  
 Table 1. Air velocity  $v_p$  [ $m \cdot s^{-1}$ ] in individual pipes of the straightening machine

		Kolejność rur prostownicy w poziomie							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Kolejność rur prostownicy w pionie	I	5,4	4,3	3,2	3,8	4,8	6,0	7,1	8,2
	II	5,6	3,9	2,9	2,0	2,2	4,3	6,8	-
	III	4,8	4,0	1,5	<b>-0,3</b>	0,7	<b>-1,0</b>	4,4	7,6
	IV	4,1	1,8	<b>-0,8</b>	1,5	1,1	<b>-1,4</b>	3,8	-
	V	4,0	2,8	<b>-0,2</b>	1,6	1,5	1,0	2,8	5,3
	VI	2,8	2,0	<b>-0,4</b>	1,2	1,2	<b>-1,2</b>	3,9	-
	VII	4,5	3,6	2,4	<b>-0,5</b>	0,3	1,3	3,4	6,4
	VIII	5,1	4,5	3,7	3,1	2,5	4,3	6,9	-
	IX	7,3	6,3	5,7	5,0	4,4	5,2	6,4	8,0

Źródło: obliczenia własne autora

Tabela 2. Prędkość powietrza  $v_p$  [ $m \cdot s^{-1}$ ] w miejscu mocowania rozpylacza  
 Table 2. Air velocity  $v_p$  [ $m \cdot s^{-1}$ ] in the place of fastening of the sprayer

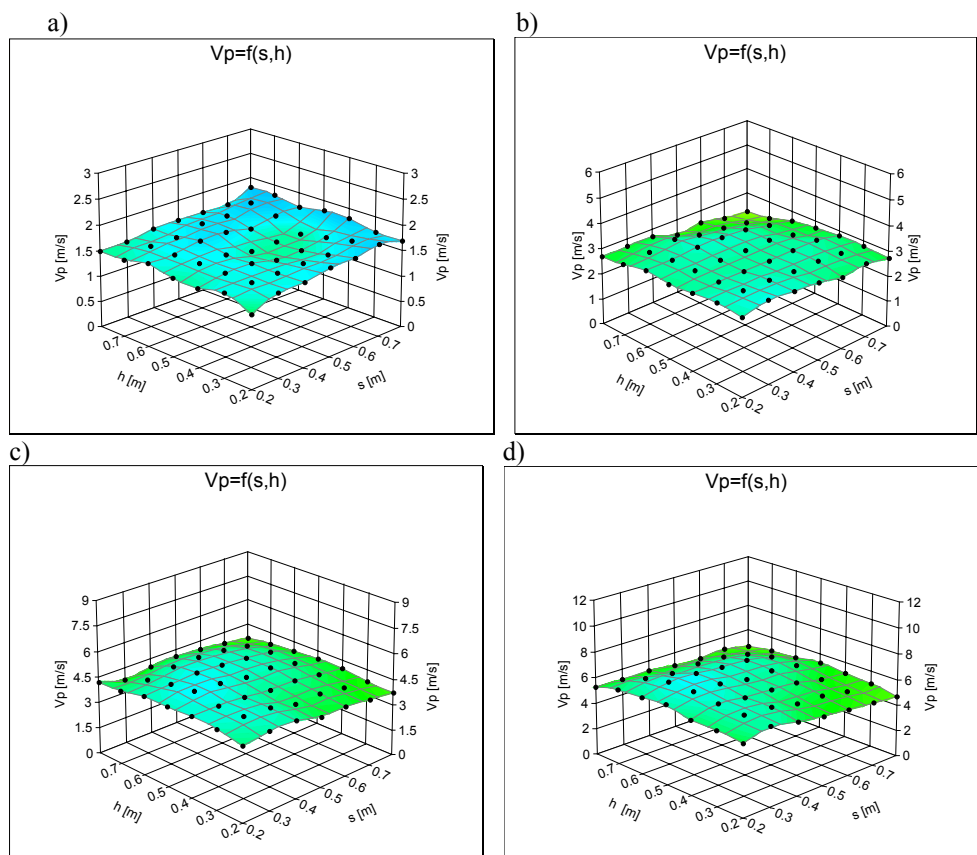
1.5 $m \cdot s^{-1}$		Szerokość tunelu [cm]						
		20	30	40	50	60	70	80
Wysokość tunelu [cm]	80	1,7	1,7	1,8	1,8	1,7	1,8	1,8
	70	1,8	1,7	1,6	1,5	1,7	1,8	1,6
	60	1,7	1,6	1,5	<b>1,5</b>	1,6	1,7	1,6
	50	1,7	1,6	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,7</b>	1,7	1,6
	40	1,6	1,6	<b>1,6</b>	<b>1,6</b>	<b>1,7</b>	1,6	1,6
	30	1,6	<b>1,6</b>	<b>1,6</b>	<b>1,6</b>	<b>1,6</b>	<b>1,6</b>	1,5
	20	1,4	<b>1,6</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,6</b>	<b>1,5</b>	1,5

Źródło: obliczenia własne autora

Tabela 3. Analiza statystyczna charakterystyki przepływu powietrza w miejscu mocowania rozpylacza  
 Table 3. Statistical analysis of characteristics of air flow in the place of fastening of the sprayer

Pomiar	Średnia [ $m \cdot s^{-1}$ ]	Mediana [ $m \cdot s^{-1}$ ]	Moda [ $m \cdot s^{-1}$ ]	Odchylenie standardowe [ $m \cdot s^{-1}$ ]	Wariancja	Współczynnik zmienności [%]
1	1,62	1,60	1,60	0,09	0,01	6,06
2	2,85	3,00	3,0	0,23	0,05	8,14
3	4,32	4,40	4,60	0,33	0,11	7,83
4	5,59	5,70	5,70	0,48	0,24	8,74

Źródło: obliczenia własne autora



Rys. 4. Rozkład prędkość przepływu powietrza w miejscu mocowania rozpylacza przy ustalonych następujących średnich prędkościach: a) 1,62; b) 2,85; c) 4,32; d) 5,59  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

Fig. 4. Distribution of the air flow velocity in the place of fastening of the sprayer with the following agreed average velocities: a) 1.62; b) 2.85; c) 4.32; d) 5.59  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

## Wnioski

1. Rozkład prędkości powietrza w tunelu aerodynamicznym w znacznym stopniu zależy od natężenia przepływu powietrza wytwarzanego przez dmuchawę. Wraz ze wzrostem prędkości powietrza jednorodność rozkładu ulega pogorszeniu,
2. Z analizy przedstawionych rozkładów prędkości strumienia powietrza działającego bezpośrednio na rozpyloną strugę wynika, że jest on bardziej wyrównany niż struga powietrza w całym przekroju tunelu aerodynamicznego.
3. Na podstawie wyników przeprowadzonej analizy statystycznej można stwierdzić, że uzyskana jednorodność strumienia powietrza zapewnia powtarzalność warunków pracy rozpylacza i umożliwi pozyskanie reprezentatywnych danych dotyczących rozkładów opadu rozpylanej cieczy przy różnych prędkościach wiatru.

## **Bibliografia**

- Gumula S., Pytel K.** 2005. Kształtowanie parametrów strugi powietrza za wentylatorem osiowym w kanale kwadratowym i w przestrzeni otwartej za kanałem. *Mechanics* Vol. 24. No. 5 s. 246-251.
- Holownicki R.** 2001. Znoszenie cieczy w opryskiwaniu upraw polowych i sadowniczych. *Mat. II Konf. Racjonalna Technika Ochrony Roślin*. Skierniewice 23-24 październik. s. 199-207.
- Holownicki R., Doruchowski G.** 2002. *Nowoczesna technika upraw sadowniczych*. Wyd. Plantpress. ISBN 83-85982-54-X.
- Nilars E. in.** 2002. Effect of nozzles on the quality and safety of spray application. *Mat. III Konf. Racjonalna Technika Ochrony Roślin*. Skierniewice 16-17 październik. s.135-147.

## **USE OF THE BUNDLE-PIPE STRAIGHTENING MACHINE FOR HOMOGENISATION OF THE AIR STREAM IN THE AERODYNAMIC TUNNEL**

**Abstract.** The work presents the method of homogenisation of the air stream in the aerodynamic tunnel for tests of sprayers. For this purpose, a bundle-pipe straightening machine of own construction was used. The results were presented in the form of charts of surface distributions of air velocity in the place of fastening of the sprayer. On the basis of the analysis of test results, it was determined that the proposed construction of the straightening machine would make it possible to obtain a sufficiently homogeneous air stream so that the impact of air velocity on the distribution of fall of the sprayed liquid could be tested in that tunnel.

**Key words:** aerodynamic tunnel, air stream, air straightening machine

**Adres do korespondencji:**

Antoni Szewczyk; e-mail: antoni.szewczyk@up.wroc.pl  
Instytut Inżynierii Rolniczej  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
ul. Chelmońskiego 37/41  
51-630 Wrocław