

*st. kpt. dr inż. Jerzy GAŁAJ*  
*st. bryg. dr inż. Sylwester KIELISZEK*  
*mł. kpt. mgr inż. Tomasz DRZYMAŁA*  
*SGSP, Katedra Techniki Pożarniczej*

## **BADANIE WPLYWU ZAWIROWANIA STRUMIENIA CENTRALNEGO WYBRANEJ DYSZY NA PARAMETRY STRUMIENIA ROZPYLONEGO**

W artykule przedstawiono wyniki badań dyszy strumieniowej, w których wykorzystano zjawisko rozpylania wody wskutek zderzenia się czterech strumieni bocznych oraz zawirowanego strumienia centralnego. Zawirowanie strumienia uzyskano dzięki zastosowaniu specjalnych wkładek zawirowujących o różnych kątach zawirowania. Głównym celem przeprowadzonych eksperymentów było przeanalizowanie wpływu stopnia zawirowania strumienia centralnego na niektóre właściwości strumienia rozpylonego, istotne z punktu widzenia efektywności gaszenia, takie jak rozkłady intensywności zraszania oraz średnich średnic objętościowych kropeł wzdłuż promienia. Podczas badań uwzględniono również wpływ ciśnienia zasilania dyszy. Na podstawie dokonanej analizy sformułowano wnioski dla dysz z nie zawirowanym i zawirowanym strumieniem centralnym, uwzględniając przy tym kąt jego zawirowania.

The results of droplets spectrum generated by the nozzle with four colliding side and whirled central streams at different values of supply pressure were presented in this paper. The influence of stream whirl on spray parameters as sprinkling intensity and mean value of droplets volume diameter have been analysed. The conclusions significant for designers of mist extinguishing systems were formulated.

### **1. Wstęp**

Jednym z istotnych obszarów zastosowania dysz rozpylających jest ochrona przeciwpożarowa. Wynika to z faktu uzyskiwania znacznie większej efektywności gaszenia za pomocą strumieni rozproszonych w porównaniu ze strumieniami

zwartymi. Wykorzystywane są one głównie w stałych urządzeniach gaśniczych takich jak tryskacze i zraszacze. Z dotychczasowych rozważań teoretycznych [6, 8] oraz badań eksperymentalnych prowadzonych w USA i krajach skandynawskich [1, 2, 3] wynika, że najbardziej efektywny z punktu widzenia gaśniczego strumień rozpylony powinien się składać z kropli o średnicach zawierających się w przedziale 200-900  $\mu\text{m}$ . Jednocześnie, biorąc pod uwagę przeciętne wartości temperatur w strefie płomienia i poza tą strefą oraz wysokość strefy pionowego spadku kropli zgodne z [10], założono optymalny przedział średnic kropeł od 200  $\mu\text{m}$  do 400  $\mu\text{m}$ .

Do badań przyjęto dyszę, w której zastosowano strumień centralny oraz cztery strumienie boczne zderzające się ze sobą pod kątem  $90^\circ$ . Najistotniejsze z punktu widzenia efektywności gaszenia pożarów są dwa parametry strumienia rozpylonego: równomierność i intensywność zraszania oraz średnia średnica kropeł. Są one zależne w dużej mierze od własności geometrycznych dyszy rozpylającej oraz zawirowania strumienia [4]. Wyniki badań wybranych dysz z nie zawirowanym strumieniem centralnym zamieszczono w [5, 11, 12].

Celem obecnej pracy jest porównanie otrzymanych wcześniej wyników uzyskanych w trakcie badań tej samej dyszy, w której dzięki zastosowaniu specjalnych wkładek uzyskano zawirowanie strumienia centralnego. Podczas badań uwzględniono również wpływ ciśnienia zasilania dyszy.

## 2. Podstawowe definicje i zależności

Podstawowymi parametrami charakteryzującymi makrostrukturę rozpylonego strumienia kropeł są: kąt rozpylenia  $\alpha$ , zasięg strumienia  $L$ , stopień jego asymetrii względem osi dyszy rozpylającej oraz gęstość objętościowa  $q_v$ , która w rozpatrywanym przypadku odpowiada intensywności zraszania  $I(r)$  w wybranym punkcie odległym od osi rozpylacza o promień  $r$  [8]. Z kolei podstawowymi parametrami charakteryzującymi mikrostrukturę strumienia są: jakość rozpylenia zależna od rozrzutu średnic kropeł (różnicy pomiędzy maksymalną i minimalną średnicą kropli) i charakteryzująca tzw. równomierność zraszania, rozkład ilościowy kropeł wg średnic, czyli widmo rozpylenia oraz wartości średnich średnic kropeł: arytmetycznej, powierzchniowej, objętościowej i Sautera. Poniżej zdefiniowano trzy podstawowe parametry strumienia, które posłużyły do oceny jakości rozpylenia: kąt rozpylenia, średnią średnicę objętościową kropeł oraz intensywność zraszania [8].

**Kąt rozpylenia  $\alpha$** , kąt wierzchołkowy strugi kropeł wypływającej z dyszy do nieruchomego otoczenia. Struga zwęża się wraz ze wzrostem odległości od rozpylacza. Zwężenie wynika przede wszystkim z działania otaczającego gazu, który zostaje wprawiony w ruch przez zasysające działanie strugi. Dlatego kąt rozpylenia może być jednoznacznie określony tylko w próżni, gdzie możliwe jest wyeliminowanie wpływu otoczenia. Kąt rozpylenia określa kształt zewnętrzny strugi kropeł. Znajomość gabarytu jest konieczna dla prawidłowego wykorzystania rozpylonej

cieczy. Przykładowo, efektywny dobór odległości pomiędzy rozpylaczami wymaga znajomości gabarytu strugi pojedynczego rozpylacza.

Rozpylacze strumieniowe z otworem o przekroju kołowym charakteryzują się bardzo małymi wartościami kąta  $\alpha$ . Wartości większe, zależne od wewnętrznej geometrii cechują rozpylacze wirowe i pneumatyczne. Dla rozpylaczy rotacyjnych żądany kąt rozpylenia  $\alpha$  można uzyskać w przypadku wymuszonego opływu rozpylacza przez gaz. Rozpylacze wirowe charakteryzują się dużym przedziałem kątów rozpylenia  $\alpha \in \langle 15 \div 120^\circ \rangle$ .

**Średnia średnica objętościowa  $D_v$** , której wartość odpowiada średnicy kropeł jednorodnego zbioru zastępczego o tej samej liczbie kropeł i tej samej sumarycznej objętości co krople zliczone podczas eksperymentu. Wartość średniej średnicy objętościowej kropli może być wyznaczona z następującego wzoru:

$$D_v = \sqrt[3]{\frac{\sum_{j=1}^m D_j^3 \cdot N_j}{N}} \quad [\mu\text{m}] \quad (1)$$

gdzie:

$D_j$  – średnia wartość średnicy kropli odpowiadająca j-temu zakresowi [ $\mu\text{m}$ ],

$N_j$  – liczba wszystkich zliczonych kropeł, których średnica należy do j-tego przedziału średnic,

$N$  – liczba wszystkich zliczonych kropeł,

$m$  – liczba przyjętych zakresów średnic kropeł ( $m = 16$ ).

**Intensywność zraszania  $I$** , której wartość odpowiada objętości cieczy odniesionej do jednostki powierzchni, która zrasza punkt pomiarowy w jednostce czasu. Wartość intensywności może być wyznaczona z następującego wzoru:

$$I = \frac{\pi \cdot 10^{-9} \cdot D_v^3 \cdot N}{6 \cdot F \cdot t} \quad [\text{mm}/\text{min}] \quad (2)$$

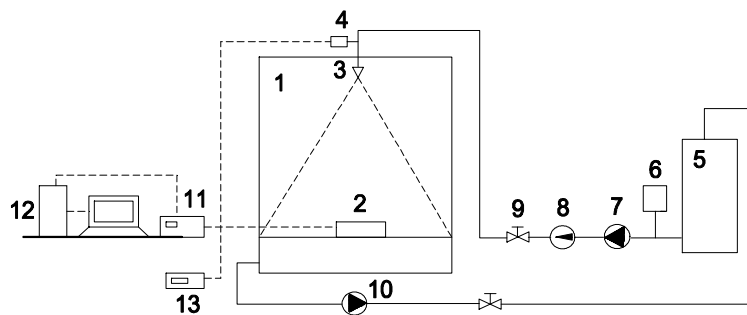
gdzie:

$F$  – powierzchnia otworu wlotowego sondy równa  $78,5 \text{ mm}^2$ ,

$t$  – czas trwania pojedynczego eksperymentu [min].

### 3. Opis badań

Badania przeprowadzono na stanowisku znajdującym się w Laboratorium Hydromechaniki SGSP. Schemat stanowiska pokazano na rys. 1. Głównymi elementami systemu pomiarowego są: fotoelektryczny analizator widma kropeł (AWK) składający się z sondy i przetwornika oraz komputer ze specjalną kartą i zainstalowanym oprogramowaniem przeznaczonym do rejestracji i wstępnej obróbki danych pomiarowych [9].

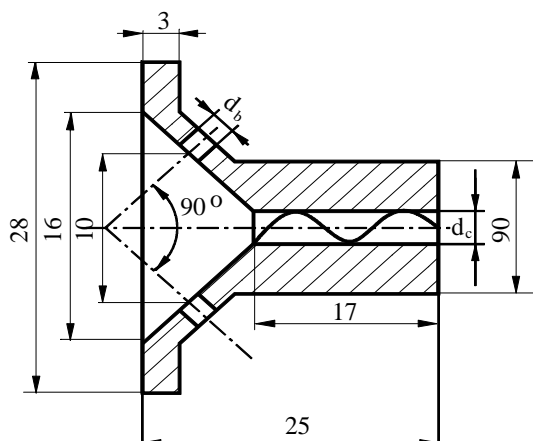


Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego

1– komora, 2– sonda pomiarowa, 3– dysza, 4– czujnik ciśnienia, 5– zbiornik hydrofobowy, 6– tłumik hydrauliczny, 7– pompa zasilająca, 8– przepływomierz, 9– zawór, 10– pompa odprowadzająca wodę, 11– przetwornik, 12– zestaw komputerowy, 13– przetwornik ciśnienia z wyświetlaczem [10]

Komputer umożliwia m.in. zliczanie kropeł o średnicach zawierających się w przedziale od 13 do 3000  $\mu\text{m}$ . Maksymalny całkowity błąd pomiarowy systemu AWK wynosi 2,5%. Ponadto w układzie mierzono natężenie objętościowe przepływu wody za pomocą przepływomierza elektromagnetycznego MAGFLO 3000 (8), którego błąd pomiarowy nie przekraczał 0,5% zakresu oraz ciśnienie wody na wlocie do dyszy przy pomocy przetwornika ciśnienia CL300 (13) sprzężonego z czujnikiem tensometrycznym (4), których całkowity błąd pomiarowy nie przekraczał 0,015% zakresu.

Przedmiotem badań była dysza mająca cztery symetryczne boczne otwory wylotowe o średnicy  $d_b = 2,7$  mm oraz centralny otwór wylotowy o średnicy  $d_c = 3,2$  mm. Schemat konstrukcyjny dyszy pokazano na rys. 2.



Rys. 2. Przekrój poprzeczny dyszy rozpylającej z wkładką zawirowującą [10]

W celu wstępnego zawirowania strumienia do otworu centralnego wprowadzono specjalne trzy wkładki zawirowujące o różnych kątach zawirowania  $90^\circ$  (wkładka 1.),  $180^\circ$  (wkładka 2.) i  $270^\circ$  (wkładka 3.). Zdjęcie dyszy oraz wkładek pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Zdjęcie dyszy oraz trzech wkładek [11]

Pomiaru dokonywano po ustabilizowaniu się ciśnienia na rozpylaczu. Podczas badań jako warunek automatycznego zakończenia pojedynczego pomiaru przyjęto maksymalną liczbę zliczonych kropeł równą 10000. Odległość pomiędzy wylotem z dyszy a płaszczyzną, w której umieszczono sondę pomiarową, wynosiła około 180 cm. Przeprowadzono cykl badań dla następujących położenia sondy pomiarowej względem osi rozpylacza: 0 cm, 15 cm, 30 cm, 45 cm, 60 cm i 75 cm. Dla każdej z wymienionych odległości dokonywano pomiaru przy ciśnieniach zasilania 0,2; 0,4; 0,6 i 0,8 MPa. Generalnie przyjęto założenie, że rozkład intensywności zraszania jest osiowo-symetryczny, co zostało potwierdzone kilkoma cyklami pomiarów dokonywanych w punktach leżących symetrycznie po obydwu stronach osi rozpylacza.

#### 4. Wyniki pomiarów

W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano bezpośrednio m.in. następujące parametry związane z procesem rozpylania: kąt rozpylenia, całkowitą liczbę zliczonych kropeł oraz czas zliczania, liczby kropeł o średnicach należących do wcześniej zdefiniowanych 16 zakresów zestawionych w tab. 1. oraz średnie średnice kropeł (arytmetyczna, powierzchniowa, objętościowa i Sautera). Wartości kątów rozpylenia dla dyszy bez wkładki i z trzema różnymi wkładkami zawirowującymi przy ciśnieniu  $p = 0,4$  MPa zamieszczono w tab. 2.

Poszczególne serie wyników zawierające zliczone liczby kropeł w poszczególnych przedziałach średnic kropeł były wprowadzone do programu Compare, który umożliwił wstępną obróbkę danych polegającą na pogrupowaniu średnic kropeł w przedziały, a następnie wyliczenie parametrów niezbędnych do dalszej analizy prowadzonej za pomocą programu MSExcels. W jej wyniku otrzymano kilkanaście wykresów, z których najistotniejsze zamieszczono w niniejszej pracy.

Tabela 1.

**Wartości minimalnych, maksymalnych i średnich średnic kropli dla 16 zakresów [9]**

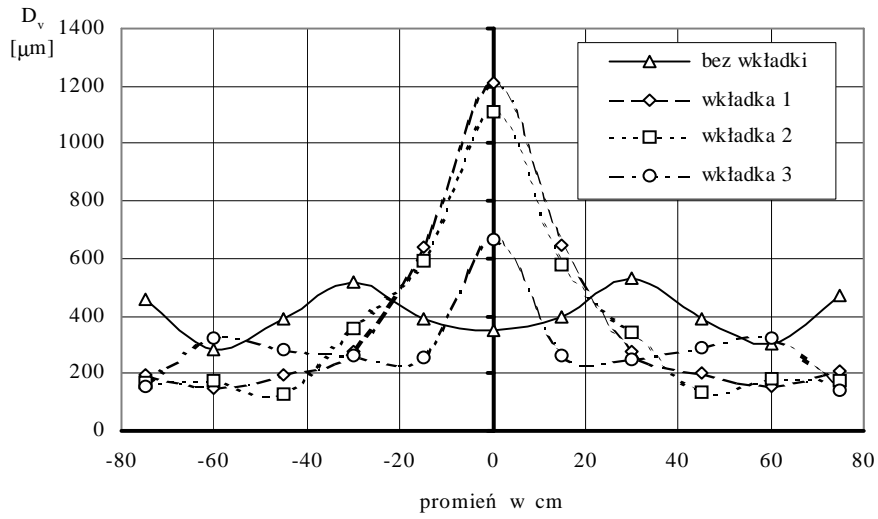
Nr zakresu	$D_{j \min}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$D_{j \max}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$D_j$ [ $\mu\text{m}$ ]
1	0	53	26,5
2	53	104	78,5
3	104	205	154,5
4	205	306	255,5
5	306	408	357,0
6	408	509	458,5
7	509	611	560,0
8	611	712	661,5
9	712	813	762,5
10	813	915	864,0
11	915	1016	965,5
12	1016	1118	1067,0
13	1118	1219	1168,5
14	1219	1320	1269,5
15	1320	1473	1396,5
16	1473	1626	1544,5

Tabela 2.

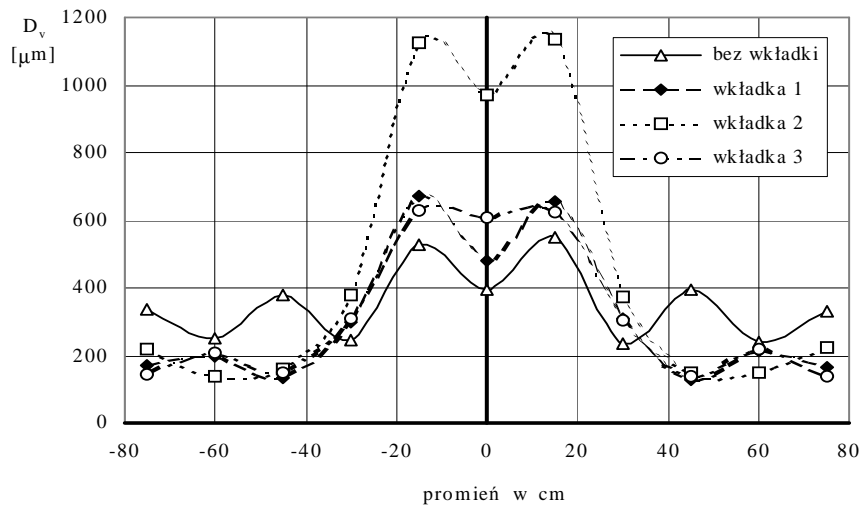
**Wartości kąta rozpylenia dla dyszy bez wkładki i z różnymi wkładkami zawirowującymi przy ciśnieniu zasilania 0,4 MPa**

Nr wkładki	Kąt zawirowania w st.	Kąt rozpylenia w st.
bez wkładki	0	112
1	90	110
2	180	105
3	270	95

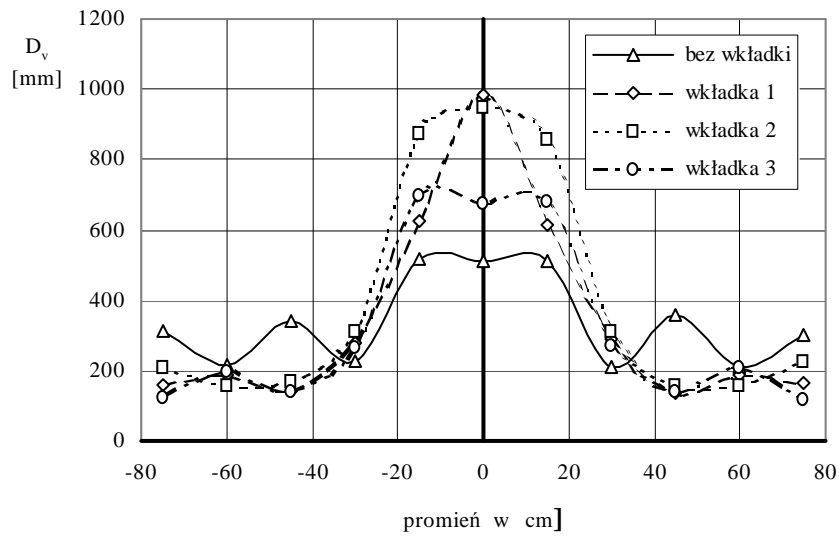
Przykładowe promieniowe rozkłady średnich średnic objętościowych kropeł (1) dla dyszy z trzema różnymi wkładkami zawirowującymi i bez wkładki odpowiadające ciśnieniom zasilania 0,2; 0,4; 0,6 i 0,8 MPa przedstawiono na rys. 4–7 [7].



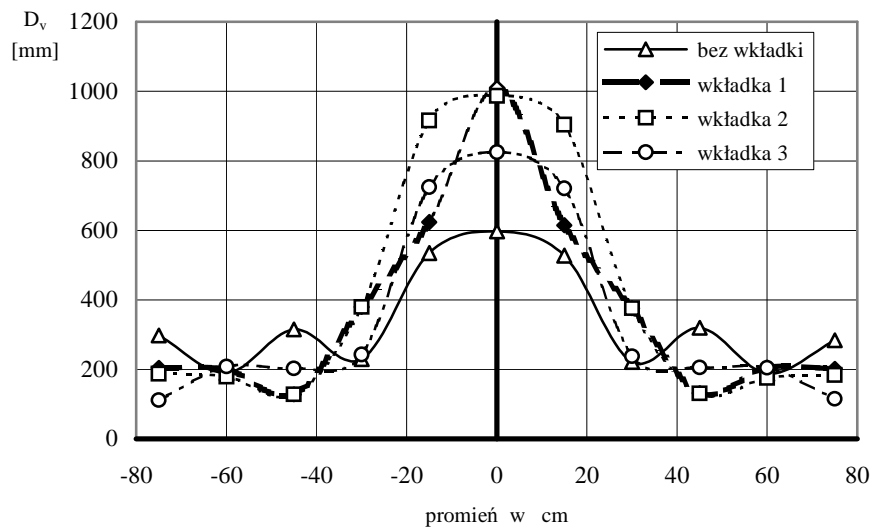
Rys. 4. Przebiegi  $D_v = f(r)$  dla dyszy bez wkładki i z wkładkami przy ciśnieniu zasilania  $p = 0,2 \text{ MPa}$



Rys. 5. Przebiegi  $D_v = f(r)$  dla dyszy bez wkładki i z wkładkami przy ciśnieniu zasilania  $p = 0,4 \text{ MPa}$



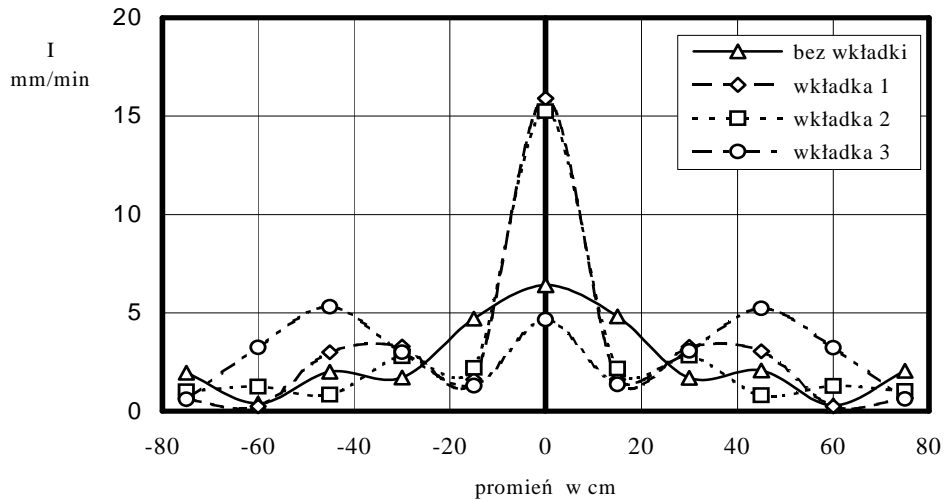
Rys. 6. Przebiegi  $D_v = f(r)$  dla dyszy bez wkładki i z wkładkami przy ciśnieniu zasilania  $p = 0,6 \text{ MPa}$



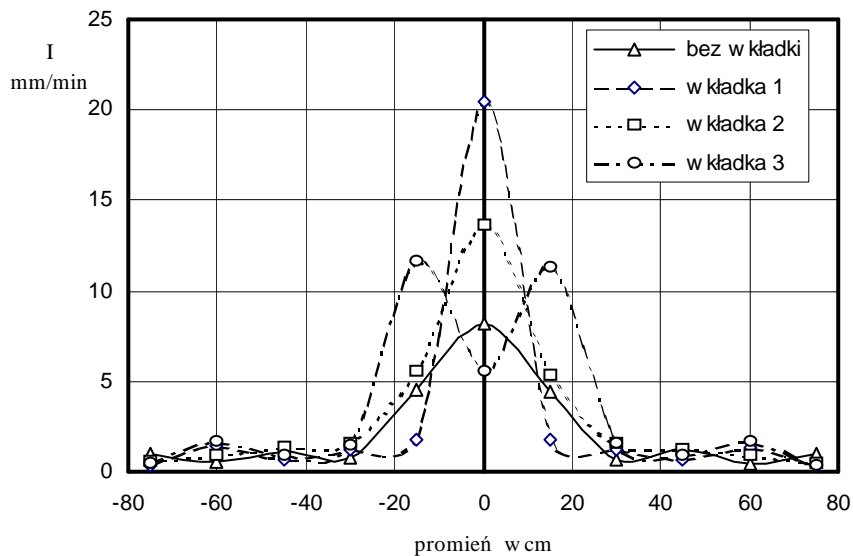
Rys. 7. Przebiegi  $D_v = f(r)$  dla dyszy bez wkładki i z wkładkami przy ciśnieniu zasilania  $p = 0,6 \text{ MPa}$



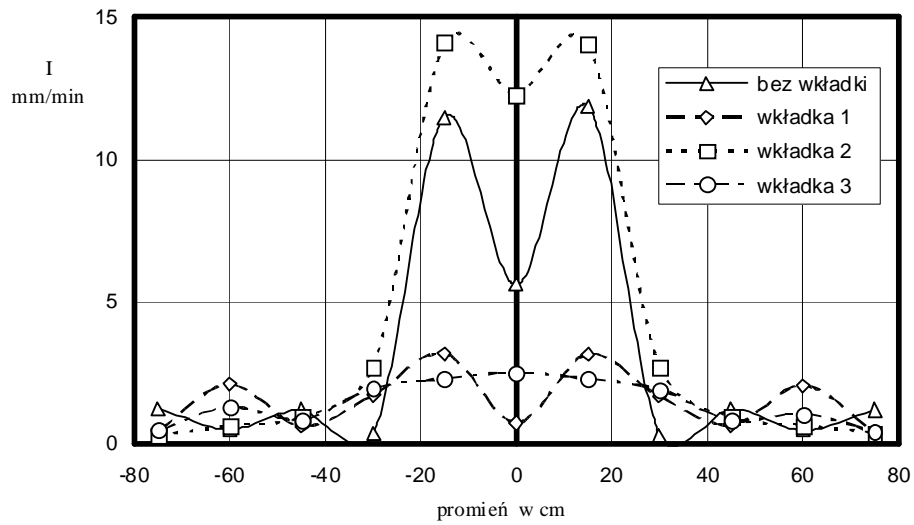
Podczas badań analizowano również rozkłady intensywności zraszania (2). Przykładowe promieniowe rozkłady  $I(r)$  dla dyszy z trzema różnymi wkładkami zawirowującymi i bez wkładki odpowiadające ciśnieniom zasilania 0,2; 0,4; 0,6 i 0,8 MPa przedstawiono na rys. 8–11 [7].



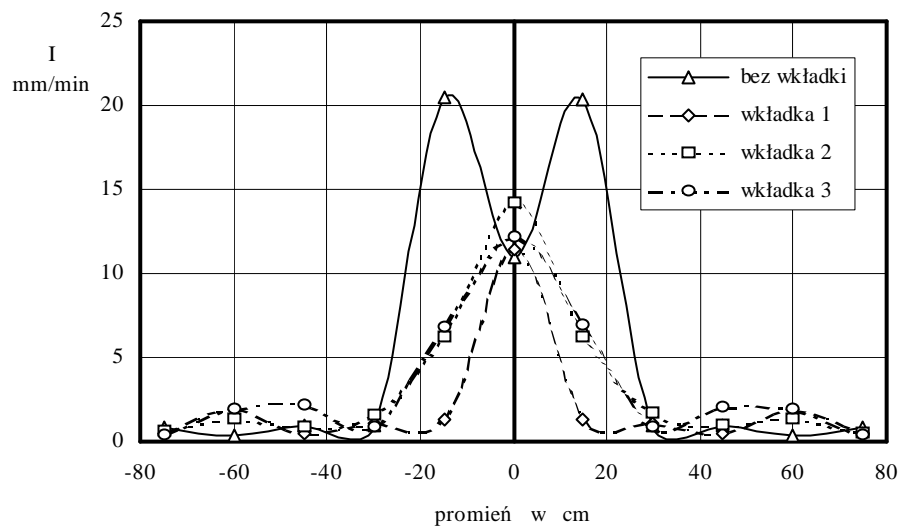
Rys. 8. Przebiegi  $I = f(r)$  dla dyszy bez wkładki i z wkładkami przy ciśnieniu zasilania  $p = 0,2 \text{ MPa}$



Rys. 9. Przebiegi  $I = f(r)$  dla dyszy bez wkładki i z wkładkami przy ciśnieniu zasilania  $p = 0,4 \text{ MPa}$



Rys. 10. Przebiegi  $I = f(r)$  dla dyszy bez wkładki i z wkładkami przy ciśnieniu zasilania  $p = 0,6$  MPa



Rys. 11. Przebiegi  $I = f(r)$  dla dyszy bez wkładki i z wkładkami przy ciśnieniu zasilania  $p = 0,8$  MPa

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że:

1. Kąt rozpylenia badanej dyszy z trzema wkładkami rozpylającymi jest porównywalny z kątami rozpylenia rozpylaczy strumieniowo-wirowych, które wynoszą wg [2] od  $80^\circ$  do  $110^\circ$ . Wraz ze wzrostem kąta zawirowania kąt rozpylenia maleje od  $110^\circ$  dla wkładki 1 do  $95^\circ$  dla wkładki 2, przy czym jego wartość nie zależy od ciśnienia zasilania.
2. Zastosowanie zawirowania strumienia centralnego za pomocą wkładek zawirowujących 1 i 2 (o kątach zawirowania  $90^\circ$  i  $180^\circ$ ) powoduje znaczny wzrost intensywności zraszania w osi rozpylacza (od 5 do 18 mm/min). W przypadku wkładki 3 o kącie zawirowania  $270^\circ$  wartość intensywności w osi rozpylacza jest nieco mniejsza niż w przypadku strumienia nie zawirowanego. Dla strumienia nie zawirowanego (dysza bez wkładki) oraz najsilniej zawirowanego (dysza z wkładką 3) intensywność zraszania w całym badanym obszarze nie przekracza 6 mm/min.
3. Najlepszą równomierność zraszania otrzymano dla strumienia najsilniej zawirowanego przy ciśnieniu  $p = 0,4$  MPa. Jej wartość w całym badanym obszarze waha się od 1 do 3 mm/min, co jednak może okazać się ilością nie wystarczającą, zwłaszcza w przypadku większych pożarów. Dla porównania przy ciśnieniu  $p = 0,2$  MPa bar przedział ten wynosi od 1 do 6 mm/min. Dla ciśnień większych od 0,4 MPa wzrasta intensywność zraszania w osi rozpylacza. Przykładowo  $I = 12$  mm/min dla  $p = 0,8$  MPa. Największą nierównomiernością zraszania charakteryzują się dysze z wkładką 1 i 2.
4. Wzrost ciśnienia zasilania wpływa na wzrost tłumienia oscylacyjnych przebiegów intensywności zraszania w obszarze o promieniu większym od 30 cm.
5. W wyniku zawirowania strumienia centralnego dla większości badanych ciśnień zasilania (za wyjątkiem  $p = 0,4$  MPa) można zaobserwować gwałtowny spadek intensywności zraszania w obszarze położonym między promieniami 20 i 30 cm, licząc od osi rozpylacza.
6. Na podstawie przebiegów  $D_v = f(r)$  dla różnych ciśnień zasilania można stwierdzić, że zastosowanie wkładek zawirowujących powoduje znaczne zwiększenie średniej średnicy objętościowej kropeł w obszarze o promieniu  $r < 30$  cm. Przykładowo, dla dyszy z wkładką 1 przy ciśnieniu  $p = 0,2$  MPa wartość średniej średnicy kropli dochodzi do  $1200 \mu\text{m}$  (w osi rozpylacza).
7. W obszarze o promieniu  $r > 30$  cm wartości średniej średnicy objętościowej kropli dla dyszy z wkładką zawirowującą nie przekraczają  $400 \mu\text{m}$ . Ponadto charakteryzują się one mniejszym rozrzutem wartości  $D_v$  w porównaniu z dyszą ze strumieniem nie zawirowanym.
8. Najmniejszą różnicę  $\Delta D_v$  pomiędzy wartością maksymalną i minimalną średniej średnicy objętościowej w całym badanym obszarze wykazuje dysza z nie zawirowanym strumieniem (bez wkładki). Nie przekracza ona wartości

400  $\mu\text{m}$ . Wraz ze wzrostem ciśnienia różnica  $\Delta D_v = D_{v \max} - D_{v \min}$  rośnie od 200  $\mu\text{m}$  dla  $p = 0,22 \text{ MPa}$  do 400  $\mu\text{m}$  dla  $p = 0,8 \text{ MPa}$ .

#### 4. Podsumowanie i wnioski

Reasumując, najlepsze z punktu widzenia efektywności gaśniczej parametry strumienia rozpylonego otrzymano dla dyszy bez wkładki zawirowującej przy ciśnieniu zasilania  $p = 0,2 \text{ MPa}$  (największa równomierność zraszania przy średniej średnicy objętościowej oscylującej wokół wartości 400  $\mu\text{m}$ ). Zastosowanie w tym przypadku zawirowania strumienia centralnego za pomocą badanych trzech wkładek o różnych stopniach zawirowania wpływa niekorzystnie na parametry strumienia, powodując zarówno zwiększenie nierównomierności zraszania, jak i rozrzutu średniej średnicy objętościowej kropeł. Problem może stanowić tylko zbyt mała intensywność zraszania, która w przypadku strumienia nie zawirowanego przy  $p = 0,2 \text{ MPa}$  nie przekracza 6 mm/min. Wzrost intensywności zraszania jest możliwy, ale tylko w ograniczonym obszarze. Można go osiągnąć dwoma sposobami: albo poprzez zmianę ciśnienia zasilania do 0,4 MPa lub 0,8 MPa (wzrost lokalnej intensywności w obszarze do 20 cm), albo poprzez zastosowanie zawirowania strumienia centralnego wkładek 1 lub 2 (osiągnięcie maksymalnej intensywności dochodzącej nawet do 20 mm/min w obszarze leżącym w bezpośredniej bliskości osi rozpylacza).

### S U M M A R Y

*Jerzy GAŁAJ, Sylwester KIELISZEK, Tomasz DRZYMAŁA*

#### TESTING OF THE INFLUENCE OF CENTRAL STREAM WHIRL ON SOME PROPERTIES OF SPRAY FORMED BY THE NOZZLE WITH COLLIDING STREAMS

Some properties of the spray, which are significant for mist extinguishing systems were analysed in the paper. The nozzle with colliding four side and whirled central streams was tested at different values of supply pressure. The conclusions concerning the influence of whirl degree on sprinkling intensity, medium diameter of droplets and spraying angle were formulated.

### PIŚMIENNICTWO

1. Tuomisaari M.: Suppression of Compartment Fires with a Small Amount of Water. VTT Finland, 1995.
2. Grimwood P., Desmet K.: Tactical Firefighting. A Comprehensive Guide to

- Compartment Firefighting & Fire Training. version 1.1, Firetactics, Cemas, January 2003.
3. Grant G., Drysdale D: The suppression and extinction of class 'A' fire using water sprays. FRDG 1997, nr 1.
  4. Gałąj J., Kieliszek S.: Badanie wpływu niektórych własności geometrycznych dyszy na parametry strumienia rozpylonego. „Prace Naukowe Politechniki Radomskiej”, Warszawa 2004.
  5. Gałąj J., Kubica P.: Analiza porównawcza skuteczności rozpylania wody przez wybrane dysze mgłowe. „Zeszyty Naukowe SGSP” nr 31, Warszawa 2004.
  6. Kaleta A.: Wpływ rozdrobnienia strumienia wodnego na jego skuteczność gaśniczą. „BIT KGSP” 1985, nr 2.
  7. Kolman R.: Badanie wpływu wybranych parametrów geometrycznych dyszy i ciśnienia zasilania na parametry strumienia rozpylonego. Praca magisterska w SGSP, Warszawa 2004.
  8. Orzechowski Z., Prywer J. : Rozpylanie cieczy. WNT, Warszawa 1991.
  9. Kamiński S.: AWK System. KμK, Warszawa 1999.
  10. Gałąj J., Kolman R.: Badanie wpływu strumienia centralnego na parametry strumienia rozpylonego wytwarzanego przez dyszę ze zderzającymi się strumieniami. „Zeszyty Naukowe SGSP” nr 34, s. 3–13.
  11. Romeiko A.: Badanie rozkładu kropeł w strumieniu rozpylonym dla wybranych rozpylaczy. Praca inżynierska w SGSP, Warszawa 2004.

