

dr inż. Małgorzata Majder-Łopatka

dr Tomasz Węsierski

mgr inż. Wiktor Wąsik

inż. Łukasz Binio

Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego

Szkoła Główna Służby Pożarniczej

Wpływ ciśnienia zasilania spiralnej dyszy wirowej na kąt rozpylenia i gęstość zroszenia strumienia wody

Streszczenie

Rozpylone ciecze stosuje się w wielu gałęziach gospodarki. Mgłą wodną wykorzystuje się między innymi w ochronie przeciwpożarowej w aktywnych systemach zabezpieczeń oraz do absorpcji substancji niebezpiecznych. W zależności od przeznaczenia, producenci dysz rozpylających dążą do uzyskania odpowiedniej makrostruktury i mikrostruktury rozproszonej cieczy. Parametry zewnętrzne strumienia cieczy, takie jak kąt rozpylenia i gęstość zroszenia określają równomierność rozkładu cieczy w strudze kropeł i zależą od typu dyszy rozpylającej oraz parametrów przepływu cieczy.

W artykule przedstawiono wyniki badań określające wpływ ciśnienia zasilania na rozkład cieczy w strudze kropeł i kąt rozproszenia. W badaniach wykorzystano dyszę wirową spiralną TF-6, dla której wyznaczono charakterystykę przepływową $p = f(Q)$. Badania przeprowadzono w sześciennym komorze o wymiarach 1200 mm. Pomiary kąta rozproszenia i gęstości zroszenia dokonano przy ciśnieniu zasilania: 2 bary, 4 bary i 6 barów. Rozkład cieczy w strudze kropeł określono dla dwóch odległości od wylotu dyszy: 600 mm i 1000 mm.

Przeprowadzone badania wskazują, że ciśnienie zasilania jest istotnym parametrem wpływającym na rozkład cieczy i zasięg strugi kropeł. Dla badanej dyszy spiralnej o współczynniku przepływu $K = 3,082 \text{ [dm}^3/\text{min}\cdot\text{bar}^{0,5}]$ największy kąt rozpylenia wynoszący 61° uzyskano przy ciśnieniu $p = 6 \text{ bar}$. Wraz ze wzrostem ciśnienia zasilania i odległości od wylotu dyszy pole powierzchni zraszania ulegało zwiększeniu. Uzyskane rozkłady gęstości zroszenia wskazują, że badana dysza

tworzy strugę w kształcie stożka o nierównomiernym rozkładzie kropel. Wraz ze wzrostem ciśnienia zasilania odnotowano większe różnice między średnią wartością gęstości zroszenia a wartością maksymalną.

Słowa kluczowe: rozpylanie, dysze spiralne, parametry makrostruktury, kąt rozpylenia, gęstość strumienia cieczy

Effects of the Supply Pressure in a Spiral Vortex Nozzle on a Dispersion Angle and the Sprinkling Density of Water Jet

Abstract

Sprays are widely used in many industries. A water mist is used for instance in active fire protection systems and to absorb hazardous substances. Manufacturers of spraying nozzles try to obtain appropriate macro- and microstructure of a spray, which depends on specific nozzle applications. External parameters of sprays, such as a dispersion angle or a sprinkling density specify, whether the liquid in a stream is equally distributed. These parameters depend also on a spray nozzle type and the flow parameters.

In this paper, the authors show the impact of supply pressure on the distribution of the liquid and the spray angle. In this study the spiral vortex nozzle type TF-6 was used. For this nozzle, flow characteristics $p = f(Q)$ was established. The study was conducted in a cubic chamber. The size of the chamber was 1200 mm. Both, the dispersion angle and the sprinkling density were measured using the supply pressure of 2, 4 and 6 bars. The distribution of the liquid stream was observed for two distances measured from the nozzle head, which were equal to 600 mm and 1000 mm.

Conducted studies show that the supply pressure has a strong impact on the liquid distribution and the droplet stream range. For the spiral vortex nozzle with flow parameter of $K = 3,082 \text{ [dm}^3/\text{min}\cdot\text{bar}^{0.5}]$ the largest spray angle of 61 degrees was observed at the pressure $p = 6$ bars. Increase in both supply pressure and the distance from the nozzle head widen the spraying area. Obtained distribution of the spraying density indicates that the nozzle creates the cone-shaped stream with an uneven distribution of the droplets. Increase in the supply pressure leads to the larger differences between the average spray density and the maximum value.

Keywords: spraying, spiral whirl nozzle, macrostructure parameters, spray angle, sprinkling density

1. WSTĘP

Zjawisko rozpylania cieczy polega na rozpadzie cieczy na krople w skutek oddziaływania sił powierzchniowych, grawitacyjnych i aerodynamicznych [1]. Warunkiem wystąpienia tego procesu jest dostarczenie w odpowiedni sposób energii [2]. Najczęściej do rozpraszania cieczy wykorzystuje się energię samej cieczy. W takim przypadku spadek ciśnienia statycznego cieczy zmienia się w urządzeniu rozpylającym na ciśnienie dynamiczne, co prowadzi do rozpylenia cieczy [3]. Na tej zasadzie działają rozpylacze wirowe. Ciecz prowadzona w ruch obrotowy wewnątrz dyszy wirowej zostaje wyrzucona w postaci stożkowej błony, która pod wpływem sił aerodynamicznych ulega rozpadowi na krople [4].

Na rynku dostępne są dysze wirowe o różnej konstrukcji. Ze względu na prostą budowę, powszechnie wykorzystywane są dysze wirowe spiralne. Dysze spiralne to nieautomatyczne dysze otwarte [5]. Umożliwiają one wytwarzanie mgły wodnej przy ciśnieniach wynoszących kilka bar. Charakteryzują się dużą niezawodnością. Mogą być wykonane z mosiądzu, stali nierdzewnej, aluminium oraz wielu tworzyw sztucznych [6].

Dysze spiralne używane są w wielu gałęziach gospodarki. Wynika to z faktu, że proces rozpylania cieczy ma bardzo duże znaczenie praktyczne. Mgłę wodną stosuje się między innymi w celach gaśniczych, do chłodzenia oraz absorpcji substancji niebezpiecznych [7–9]. W zależności od przeznaczenia, producenci dysz dążą do uzyskania odpowiedniej makrostruktury i mikrostruktury rozpylonej cieczy. Parametry zewnętrzne strumienia cieczy, takie jak kąt rozpylenia i gęstość zroszenia, określają zewnętrzny kształt strugi oraz strukturę (równomierność) rozkładu cieczy. Natomiast parametry wewnętrzne stopień i jednorodność rozpylenia [3]. Struktura strumieni rozpylonych zależy od wielu czynników m.in. od typu i konstrukcji dyszy rozpylającej oraz parametrów przepływu cieczy. Obecnie w wielu krajowych i zagranicznych ośrodkach naukowych prowadzone są badania dotyczące sposobów rozpylania cieczy oraz parametrów pracy rozpylaczy [10, 11].

Celem artykułu jest określenie wpływu ciśnienia zasilania dyszy spiralnej na kształt zewnętrzny oraz strukturę wewnętrzną strugi kropeł.

2. METODYKA BADAŃ

Badanie wpływu ciśnienia zasilania dyszy na rozkład cieczy w strudze kropel i kąt rozpylenia przeprowadzono na stanowisku znajdującym się w Szkole Głównej Służby Pożarniczej (SGSP). Zasadniczym elementem stanowiska jest sześcienna komora (1) wykonana z przezroczystego PMMA, której długość boku wynosi 1200 mm. W środku komory znajduje się rura (2) przeznaczona do montowania dyszy rozpylającej (3). Zastosowanie rury teleskopowej umożliwi płynną regulację wysokości dyszy względem dna komory w zakresie 50–500 mm. Pozostałe elementy stanowiska stanowią:

- a) układ zasilania wodą, składający się ze zbiornika (4) oraz pompy wysokociśnieniowej-CR15-25 (6),
- b) zbiornik zrzutowy (5) z układem odprowadzania cieczy,
- c) układ pomiarowy z systemem rejestracji i przetwarzania danych (9 i 10).

Schemat stanowiska przedstawiono na rys. 1.

W badaniach użyto dyszy rozpylającej TF-6 firmy BETE Deutschland GmbH (rys. 2). Dysza TF-6 to dysza wirowa spiralna wykonana z polipropylenu (PP). Nie posiada ona elementów wewnętrznych. Charakteryzuje się dużą przelotowością i prostotą działania. Woda wypływająca z otworu wylotowego dyszy pod ciśnieniem spływa po części spiralnej i za pomocą siły odśrodkowej jest rozpraszana.

W toku prowadzonych badań określono:

- 1) współczynnik przepływu K dyszy,
- 2) kąt rozpylenia cieczy φ ,
- 3) gęstość zroszenia przez strumień q .

W celu wyznaczenia współczynnika przepływu K zmierzono objętości wypływającej cieczy odpowiednio przy ciśnieniach: 0,5, 1, 2, 3, 4, 5, 6 bar. Przepływ cieczy regulowano za pomocą falownika pompy. Pomiar przy zadanym ciśnieniu prowadzono przez co najmniej 120 sekund.

Współczynnik przepływu przy danej wartości ciśnienia wyznaczono zgodnie ze wzorem (1) [2]:

$$K = \frac{Q}{\sqrt{p}} \quad [\text{dm}^3/\text{min} \cdot \text{bar}^{0,5}] \quad (1)$$

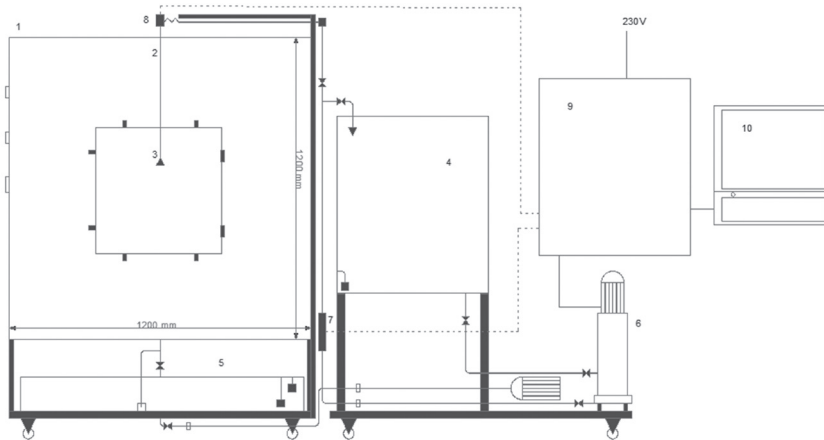
gdzie:

Q – wydajność dyszy [dm^3/min],

p – ciśnienie [bar].

Średnik współczynnik przepływu dyszy określono jako średnią arytmetyczną wartości wyznaczonych przy różnych wartościach ciśnienia zasilania.

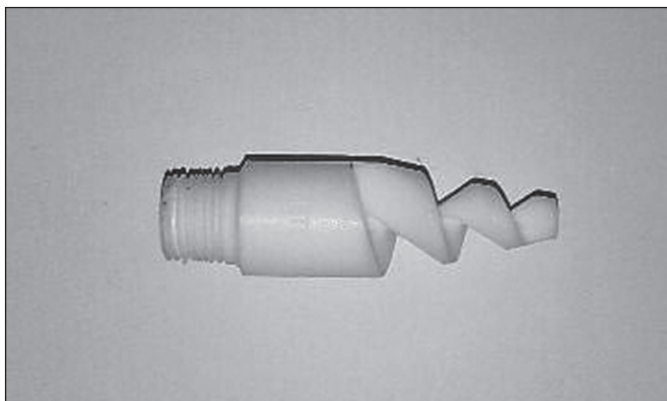
Kąt rozpylenia ϕ , zdefiniowany jako kąt między dwoma stycznymi do zarysu strugi o wierzchołku w punkcie wylotu dyszy wyznaczono metodą fotograficzną (rys. 3). Podczas pracy dyszy przy ciśnieniach 2 bary, 4 bary i 6 bar wykonano zdjęcia strugi cieczy wypływającej z rozpylacza.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego

1 – komora badawcza, 2 – teleskopowa rura, 3 – dysza rozpylająca, 4 – zbiornik z wodą, 5 – zbiornik zrzutowy, 6 – pompa wysokociśnieniowa, 7 – przepływomierz, 8 – czujnik ciśnienia, 9 – szafa sygnałowa i zasilająca, 10 – komputer.

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 2. Dysza spiralna TF-6

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 3. Kąt rozpylenia

Źródło: Opracowanie własne

Rozkład cieczy w strudze kropel scharakteryzowano za pomocą gęstości zroszenia. Jej badanie wykonano metodą wagową przy ciśnieniach: 2, 4, 6 bar. Zmierzono masę cieczy wyłapaną przez naczynie pomiarowe w ustalonym czasie. Pomiary przeprowadzono dla dwóch odległości od wylotu dyszy x: 600 mm i 1000 mm. Do pomiaru gęstości zroszenia użyto 36 okrągłych naczyń pomiarowych o średnicy $62,5 \pm 1$ mm. Masową gęstość zroszenia wyznaczono zgodnie ze wzorem (2) [3]:

$$q = \frac{\Delta \dot{m}}{\Delta A} \quad \left[\frac{\text{kg/s}}{\text{m}^2} \right] \quad (2)$$

gdzie:

$\Delta \dot{m}$ – elementarny strumień masy cieczy [kg/s],

ΔA – elementarna powierzchnia prostopadła do osi rozpylacza [m²]

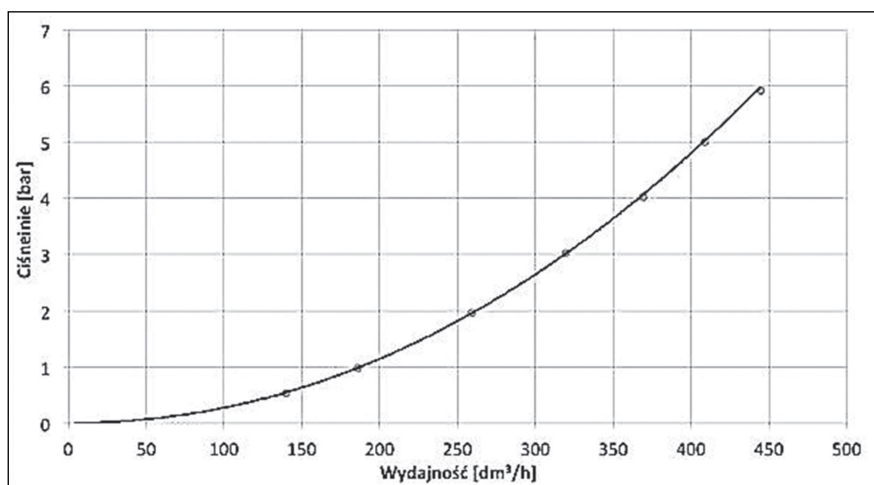
3. WYNIKI BADAŃ

W badaniach określono wpływ ciśnienia zasilania na wydajność dyszy. W tabeli 1 zamieszczono wyniki pomiarów przepływu dyszy spiralnej TF-6 oraz obliczone wartości współczynników K. Charakterystykę przepływową dyszy przedstawiono na rys. 4. Wyniki pomiarów potwierdzają dużą przepuszczalność dysz spiralnych. Średnie wartości parametru K dla badanej dyszy spiralnej wyniosła $3,082$ [dm³/min · bar^{0,5}].

Tabela 1. Wyniki pomiarów przepływu dyszy TF-6

Zadane ciśnienie	Ciśnienie rzeczywiste p	p odchl.	Wydajność Q	Q odchl.	Współczynnik przepływu K
bar	bar	bar	dm ³ /h	dm ³ /h	dm ³ /(min·bar ^{0,5})
0,5	0,537	0,004	139,64	0,565	3,176
1,0	0,976	0,005	185,41	0,342	3,128
2,0	1,967	0,006	258,62	0,336	3,074
3,0	3,032	0,005	319,04	0,270	3,054
4,0	4,029	0,010	368,54	0,537	3,060
5,0	5,009	0,007	408,56	0,805	3,043
6,0	5,922	0,039	444,19	1,337	3,042
K średnie					3,082

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 4. Charakterystyka przepływowa dyszy TF-6

Źródło: Opracowanie własne

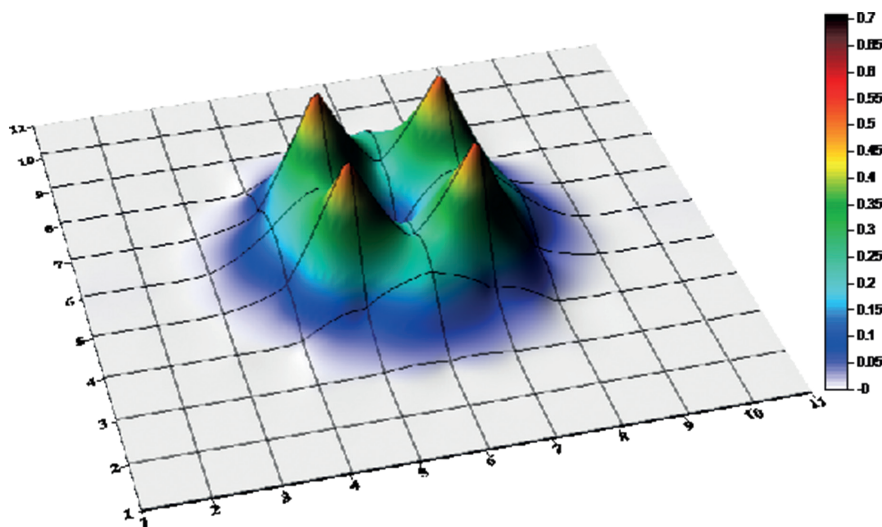
W tabeli 2 zamieszczono wyniki pomiarów kąta rozpylenia cieczy dla trzech wartości ciśnienia zasilania dyszy. Stwierdzono wzrost wartości kąta φ wraz ze wzrostem ciśnienia. Zmiana ciśnienia zasilania z 2 bar na 4 bary powodowała powiększenie kąta rozwarcia stożka zraszania o 6 stopni.

Tabela 2. Wyniki pomiarów kąta rozwarcia stożka zraszania φ

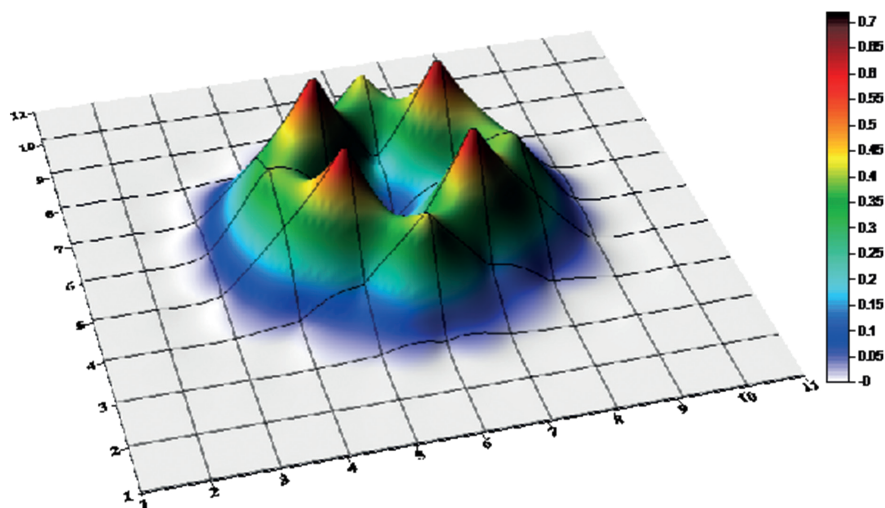
Ciśnienie zasilania dyszy	Kąt φ
bar	°
2	54
4	60
6	61

Źródło: Opracowanie własne

Rozkład cieczy w strudze kropel w zależności od ciśnienia zasilania dyszy w odległości od wylotu dyszy 600 mm i 1000 mm został zobrazowany za pomocą programu SUFER 8.0 na rys. 5–10. Barwna skala umieszczona przy wykresach określa masową gęstość zroszenia w $\left[\frac{\text{kg/s}}{\text{m}^2}\right]$. Wartości na osiach x i y obrazują położenie punktów pomiarowych względem położenia dyszy rozpylającej. Podczas badania dysza umieszczona była w centralnym punkcie układu (6,6). Odległość między środkami naczyń pomiarowych wynosiła 100 mm.

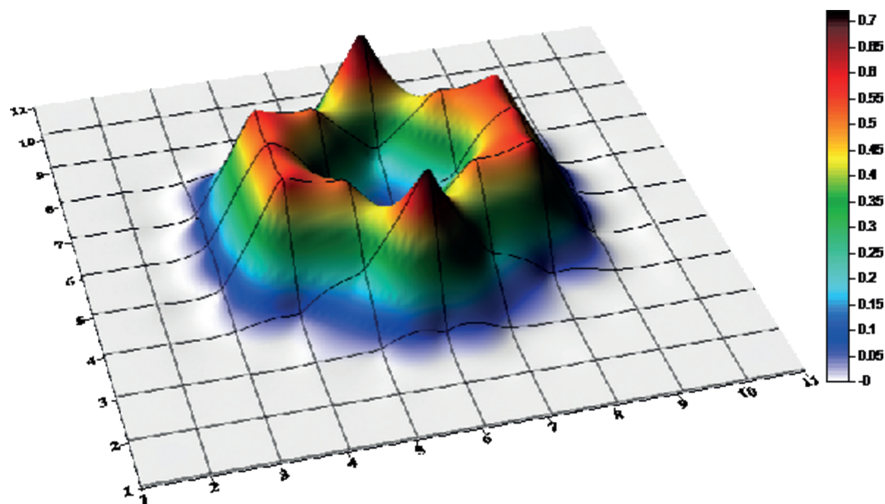
**Rys. 5.** Rozkład cieczy w strudze kropel, $x = 600$ mm, $p = 2$ bary

Źródło: Opracowanie własne



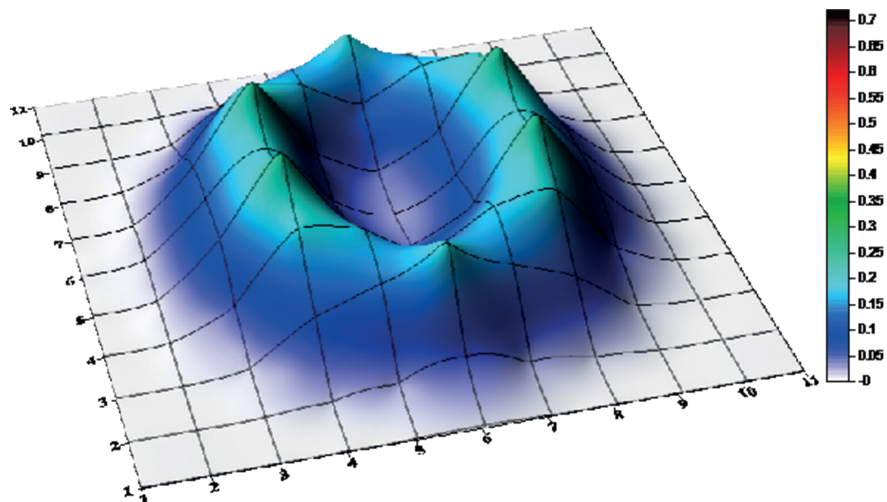
Rys. 6. Rozkład cieczy w strudze kropel, $x = 600$ mm, $p = 4$ bary

Źródło: Opracowanie własne



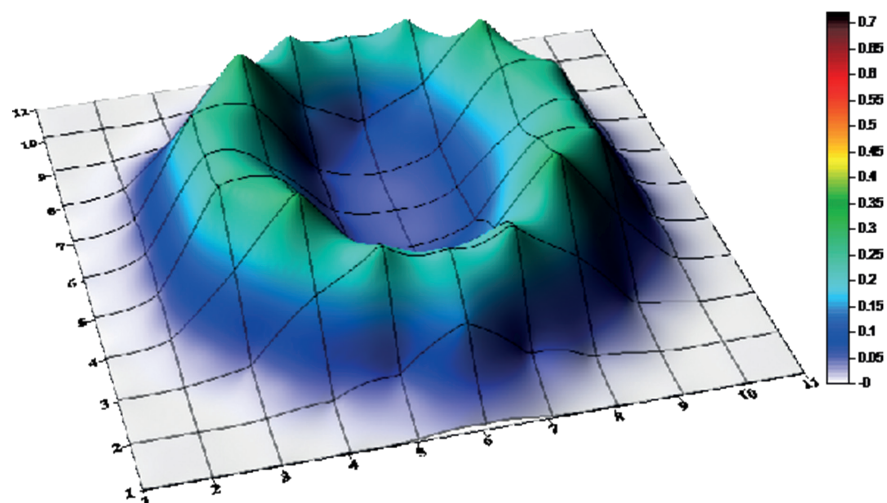
Rys. 7. Rozkład cieczy w strudze kropel, $x = 600$ mm, $p = 6$ bar

Źródło: Opracowanie własne



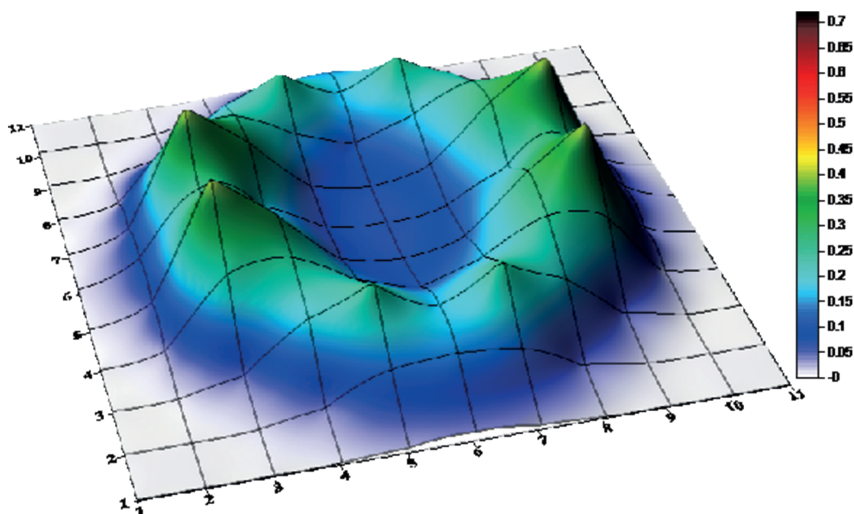
Rys. 8. Rozkład cieczy w strudze kropel, $x = 1000$ mm, $p = 2$ bary

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 9. Rozkład cieczy w strudze kropel, $x = 1000$ mm, $p = 4$ bary

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 10. Rozkład cieczy w strudze kropel, $x = 1000$ mm, $p = 6$ bar

Źródło: Opracowanie własne

Przedstawione na rys. 5-10 rozkłady gęstości zroszenia pokazują, że wraz ze wzrostem ciśnienia zasilania w polu zraszania odnotowuje się większe wartości maksymalnej gęstości zroszenia (q_{max}). Zależność tę uzyskano dla obu odległości od wylotu dyszy. Największą wartość q_{max} wynoszącą $0,748 \left[\frac{\text{kg/s}}{\text{m}^2} \right]$ odnotowano przy ciśnieniu 6 bar dla odległości od wylotu dyszy 600 mm. Wartości maksymalnej q_{max} i średniej gęstości zroszenia q_{sr} otrzymane przy trzech wartościach ciśnienia zasilania w odległości od wylotu dyszy 600 mm i 1000 mm zamieszczono w tabeli 3.

Uzyskane rozkłady gęstości zroszenia wskazują, że badana dysza tworzy strugę o nierównomiernym rozkładzie kropel. Równomierność rozkładu określono, wyznaczając odchylenie standardowe (S_q) dla otrzymanych w polu zraszania wartości gęstości zroszenia. Wyniki wskazują, że najbardziej nierównomierny rozkład cieczy uzyskano przy ciśnieniu zasilania dyszy 6 bary i $x = 600$ mm. Stwierdzono, że wraz ze wzrostem ciśnienia rośnie różnica między maksymalną wartością gęstości zroszenia, a wartością średnią. Odwrotną zależność odnotowano dla odległości od wylotu dyszy. Przy odległości 1000 mm różnice między q_{max} i q_{sr} były mniejsze dla tych samych ciśnień niż w przypadku odległości 600 mm. Przeprowadzone badania wskazują, że wraz ze wzrostem odległości od wylotu dyszy rozkład kropel na powierzchni zraszania jest bardziej równomierny. Przy

tym samym ciśnieniu zasilania odchylenie standardowe (S_q) dla wartości uzyskanych w polu zraszania było ponad 2-krotnie mniejsze w przypadku większej odległości od wylotu dyszy.

Tabela 3. Wartości maksymalnej i średniej gęstość zroszenia otrzymane przy ciśnieniu zasilania dyszy 2, 4, 6 bar

Odległość od wylotu dyszy x [mm]	Ciśnienie zasilania dyszy [bar]	Maksymalna gęstość zroszenia q_{\max} [$\frac{\text{kg/s}}{\text{m}^2}$]	Średnia gęstość zroszenia q_{sr} [$\frac{\text{kg/s}}{\text{m}^2}$]	Odchylenie standardowe S_q [$\frac{\text{kg/s}}{\text{m}^2}$]	Kształt powierzchni zraszania /promień [mm]
600	2	0,557	0,082	0,152	Koło/300
	4	0,655	0,170	0,210	Koło/325
	6	0,748	0,196	0,244	Koło/330
1000	2	0,261	0,051	0,071	Owal/410/475
	4	0,297	0,073	0,093	Owal/ 450/505
	6	0,414	0,091	0,109	Owal/495/530

Źródło: Opracowanie własne

W badaniach stwierdzono także, że kształt i powierzchnia zraszania zależy od drogi strumienia cieczy i ciśnienia. Podstawę stożka zraszania przy $x = 600$ mm stanowiło koło, natomiast przy $x = 1000$ mm owal. Powierzchnia zraszania zwiększała się wraz ze wzrostem ciśnienia i odległości od wylotu dyszy.

4. WNIOSKI

W artykule przedstawiono wyniki badań określające wpływ ciśnienia zasilania dyszy na kąt rozpylenia strumienia i jego masową gęstość zroszenia. W badaniu użyto dyszy spiralnej TF-6 o współczynniku przepływu $K = 3,082$ [$\text{dm}^3/\text{min}\cdot\text{bar}^{0,5}$].

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że:

1. Kształt zewnętrzny strugi kropeł jest uzależniony od parametrów przepływu cieczy. Wraz ze wzrostem ciśnienia zasilania dyszy następował

- wzrost kąta wierzchołkowego-rozpylonego strumienia. Największy kąt rozpylenia wynoszący około 61° otrzymano dla $p = 6$ bar.
2. Dysza posiada pełny stożek zraszania, jednak w jego środku można zaobserwować znacznie mniejsze wartości gęstości zroszenia.
 3. Rozkład cieczy w strudze kropeł uzależniony jest zarówno od drogi strumienia (odległości od wylotu dyszy), jak również od ciśnienia zasilania. Im mniejsze ciśnienie i większa odległość od wylotu dyszy tym rozkład cieczy jest bardziej równomierny.
 4. Wraz ze wzrostem ciśnienia zasilania i odległości od wylotu dyszy pole powierzchni zraszania ulega zwiększeniu.
 5. Wzrost ciśnienia zasilania powoduje, że w polu zraszania wzrasta różnica między maksymalną, a średnią wartością gęstości zroszenia.
 6. Zwiększenie odległości od wylotu dyszy zmienia kształt powierzchni zraszania z kołowego na owalny.

LITERATURA

- [1] Orzechowski Z., Prywer J., Wytwarzanie i zastosowanie rozpylonej cieczy. Wydanie I, WNT, Warszawa 2008.
- [2] Rogulski J., Zbrożek P., Czerwienko D.: Wybrane aspekty stosowania w obiektach budowlanych urządzeń gaśniczych na mgłę wodną. Wydawnictwo Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego – Państwowy Instytut Badawczy, Józefów 2012.
- [3] Orzechowski Z., Prywer J., Rozpylanie cieczy. Wydanie II, WNT, Warszawa 1991.
- [4] Arthur E. Cote, P.E.: Fire protection handbook. National Fire Protection Association, Inc., Quincy, Massachusetts 2003.
- [5] NFPA 750: Standard on Water Mist Fire Protection Systems, 2015 Edition.
- [6] www.bete-dysze.pl (dostęp: 25.08.2016).
- [7] Zbrożek P., Prasula J.: Wpływ wielkości średnic kropli mgły wodnej na efektywność tłumienia pożarów i chłodzenie, *Kwartalnik CNBOP* 2009, nr 3, s.113-148.
- [8] Orzechowski Z., Prywer J., Zarzycki R., Mechanika płynów w inżynierii środowiska, WNT, Warszawa 1997.

- [9] Węsierski T., Majder-Łopatka M., Matuszkiewicz R., Porowski R., Badanie efektywności kurtyń wodnych przy zwalczaniu par amoniaku podczas jego niekontrolowanego uwolnienia, *Przemysł Chemiczny* 2012, nr 7, s. 1424–1426.
- [10] Husted B.P., Holmstedt G., Hertzberg T., The physics behind water mist system, Proc. IWMA conference, Rome, Italy 2004.
- [11] Kubica P., Gałaj J., Analiza porównawcza skuteczności rozpylania wody przez wybrane dysze mgłowe, *Zeszyty Naukowe SGSP* 2004, nr 31.