

ST. KPT. MGR INŻ. WIKTOR WĄSIK

*Szkoła Główna Służby Pożarniczej*

e-mail: [wwasik@sgsp.edu.pl](mailto:wwasik@sgsp.edu.pl)

ORCID 000-0002-0934-3961

DR HAB. INŻ. WIOLETTA ROGULA-KOZŁOWSKA, PROF. UCZELNI

*Szkoła Główna Służby Pożarniczej*

e-mail: [wrogula@sgsp.edu.pl](mailto:wrogula@sgsp.edu.pl)

ORCID 0000-0002-4339-0657

BRYG. DR INŻ. MAŁGORZATA MAJDER-ŁOPATKA

*Szkoła Główna Służby Pożarniczej*

e-mail: [mmajder@sgsp.edu.pl](mailto:mmajder@sgsp.edu.pl)

ORCID 0000-0002-0226-710X

## OCENA MIKROSTRUKTURY STRUMIENIA WYTWARZANEGO PRZEZ DYSZĘ SPIRALNĄ O PEŁNYM STOŻKU ZRASZANIA

### ABSTRAKT

Strumienie rozproszone są powszechnie wykorzystywane m.in. do gaszenia, chłodzenia oraz absorpcji substancji niebezpiecznych. W celu zoptymalizowania procesu, w którym wykorzystywane są rozpylacze, niezbędna jest wiedza na temat mikro- i makrostruktury wytwarzanych przez nie strumieni. Parametry mikrostruktury strumienia rozpylonego, takie jak średnia średnica kropelek czy widmo rozpylenia są uzależnione zarówno od cech konstrukcyjnych dysz, jak również ilości i ciśnienia przepływającej cieczy.

W artykule przedstawiono wyniki badania mikrostruktury strugi generowanej przez wirową dyszę spiralną TF 6 NN o pełnym stożku zraszania. Badania były przeprowadzone przy różnych ciśnieniach zasilania i w czterech punktach strefy zraszania. Wybór tych punktów był poprzedzony wyznaczeniem rozkładów intensywności zraszania. Do określenia średnich średnic powierzchniowych kropel i widma rozpylenia wykorzystano metodę fotoelektryczną, zaś intensywność zraszania wyznaczono metodą kubelkową. Na podstawie przeprowadzonych badań udowodniono, że w strefie zraszania występują istotne dysproporcje w parametrach mikrostrukturalnych strumienia. Wykazano, że największa ilość wody wypływająca z badanej dyszy jest kierowana do głównego pierścienia zraszania, gdzie występują największe średnie średnice kropel. Zmiana ciśnienia zasilania dyszy nie powoduje istotnych zmian parametrów strugi w centralnej części strefy zraszania. W tym obszarze widmo rozpylenia, intensywność zraszania i średnia średnica kropel, niezależnie od ciśnienia zasilania, były zbliżone. Ponadto udowodniono, że w strefie położonej bezpośrednio pod dyszą odnotowuje się największy stopień rozpylenia strugi.

#### SŁOWA KLUCZOWE

dysza, dysza spiralna, rozpylanie, mikrostruktura strumienia rozproszonego, średnia średnica kropel, intensywność zraszania

Przyjęty: 01.09.2021; Zrecenzowany: 15.09.2021; Zatwierdzony: 17.09.2021

## EVALUATION OF THE MICROSTRUCTURE OF WATER JET PRODUCED BY A FULL CONE SPIRAL NOZZLE

#### ABSTRACT

Dispersed streams are widely used for such purposes as extinguishing, cooling and absorbing hazardous substances. In order to optimise the process in which atomisers are used, it is necessary to understand the micro- and macrostructure of the jets they produce. The parameters of a spray jet microstructure, such as the average droplet diameter or the spray spectrum, are dependent on both the design features of the nozzles and the quantity and the pressure of flowing liquid.

This paper presents the results of a study of the microstructure of a jet generated by the vortex spiral nozzle TF 6 NN with a full sprinkling cone. The research was executed at various supply pressures and in four points of the spray zone. The selection of these points was preceded by the determination of spray intensity distributions. The photoelectric method was used to determine the mean surface diameters of droplets and the spray spectrum, while the spray intensity was established using the bucket method. On the basis of the performed tests it has been proven that significant disproportions in the microstructural parameters of the spray occur in the sprinkling zone. It was shown that the tested nozzle directs the largest amount of water to the main spray ring, where the largest average droplet diameters occur. Changing the nozzle supply pressure does not cause significant changes in the spray parameters in the central part of the spray zone. In this area, the spray spectrum, spray intensity and mean droplet diameter were similar regardless of the supply pressure. Moreover, it has been proven that in the zone located directly under the nozzle there is the highest degree of spray jet atomisation.

#### KEYWORDS

nozzle, vortex spiral nozzle, spraying, dispersed jet microstructure, mean droplet diameter, spray intensity

Received: 01.09.2021; Reviewed: 15.09.2021; Accepted: 17.09.2021

#### WSTĘP

Strumienie rozproszone wody znajdują zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu. Wykorzystywane są m.in. w procesie gaszenia pożarów różnych grup [1–3] do obniżania temperatury układu [4] oraz absorpcji substancji niebezpiecznych [5–7]. Skuteczność wskazanych procesów zależy od mikro- i makrostruktury rozpylonego strumienia, czyli m.in. od wielkości i masy kropeł zawartych w strudze [8].

Krople w strudze rozpylonej cieczy stanowią układ polidispersyjny [9]. Ich parametry charakteryzują stopień i jednorodność rozpylenia, a zatem determinują możliwość wykorzystania w określonych aplikacjach. W przemyśle do rozpylania cieczy wykorzystuje się dysze turbulencyjne i udarowe. Pierwsze wykorzystują łopatki do wytwarzania zawirowania i zwiększania ciśnienia przepływu cieczy wewnątrz dyszy, drugie działają na zasadzie wyrzutu cieczy. W dyszach udarowych kształt dyszy kształtuje profil strugi [10].

Obecnie ze względu na prostą konstrukcję i dużą niezawodność do rozpylania cieczy powszechnie wykorzystywane są dysze spiralne, w których do rozpraszania wykorzystuje się energię samej cieczy [11]. W dyszy spiralnej ciecz wprowadzona w ruch obrotowy zostaje wyrzucona w postaci stożkowej błony, która pod wpływem sił aerodynamicznych ulega rozpadowi na krople [12]. Kropelki cieczy są rozprowadzane w objętości ograniczonej przez stożek, którego punkt początkowy znajduje się w otworze dyszy. Na rynku dostępne są dysze spiralne różnego typu. Umożliwiają one wytworzenie zarówno strugi o pełnym, jak i pierścieniowym strumieniu zraszania [13].

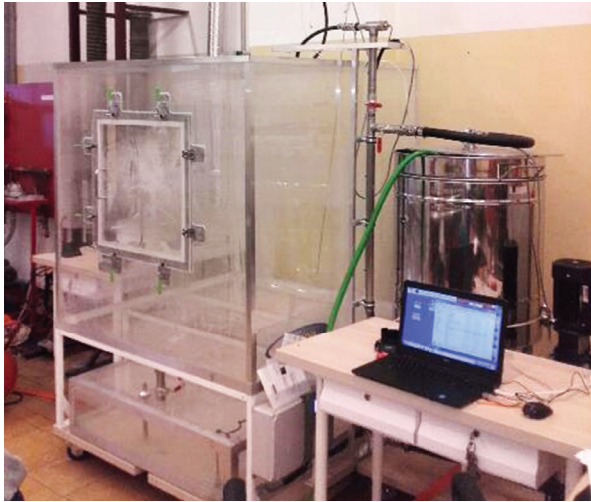
Struktura strumienia rozproszonego uzależniona jest od typu rozpylacza oraz ilości i ciśnienia przepływającej cieczy [14, 15]. W artykule przedstawiono wyniki badań mikrostruktury strumienia wytwarzanego przez dyszę spiralną o pełnym stożku zraszania TF 6 NN (firmy BETE Fog Nozzle, Inc.).

#### METODYKA BADAWCZA

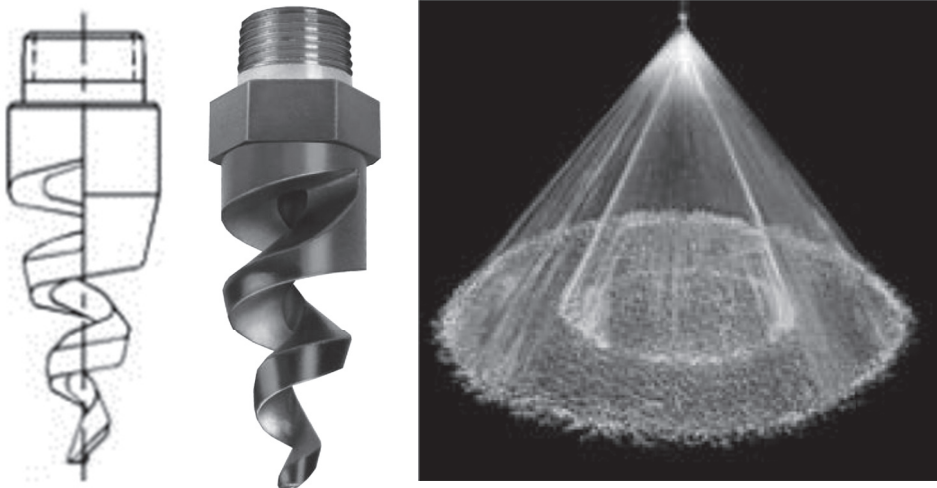
Badania mikrostruktury strumienia zostały przeprowadzone na automatyzowanym stanowisku pomiarowym (rys. 1) składającym się m.in. z:

- zamykanej sześcienniej komory badawczej wykonanej z polimetakrylanu metylu o pojemności 1,7 m<sup>3</sup>,
- czujników temperatury PT 100,
- czujnika ciśnienia WIKA (zakres 1 MPa, klasa 0,5),
- przepływomierza elektromagnetycznego (zakres 1000 dm<sup>3</sup>/h, dokładność 0,5% wartości mierzonej),
- pompy zasilającej i zbiornika o pojemności 200 dm<sup>3</sup>,
- szafy sterowniczej stanowiska,
- pompy i zbiornika zrzutowego,
- układu rurociągów, przewodów i zaworów,
- komputera z dedykowanym oprogramowaniem do pracy stanowiska i rejestracji danych,
- analizatora widma kropel.

W badaniach wykorzystano dyszę spiralną TF 6 NN firmy BETE Fog Nozzle, Inc., stosowaną m.in. w ochronie przeciwpożarowej, oczyszczaniu gazów, usuwaniu pyłów. Dysza TF 6 NN to dysza o pełnym stożku zraszania i kącie rozproszenia wynoszącym 60°. Wygląd badanej dyszy oraz przykładowego strumienia, jaki wytwarza, przedstawiono na rys. 2.



Rys. 1. Stanowiska pomiarowe do badania rozpylenia strumienia  
Źródło: opracowanie własne



Rys. 2. Dysza TF6 firmy BETE®  
Źródło: [16]

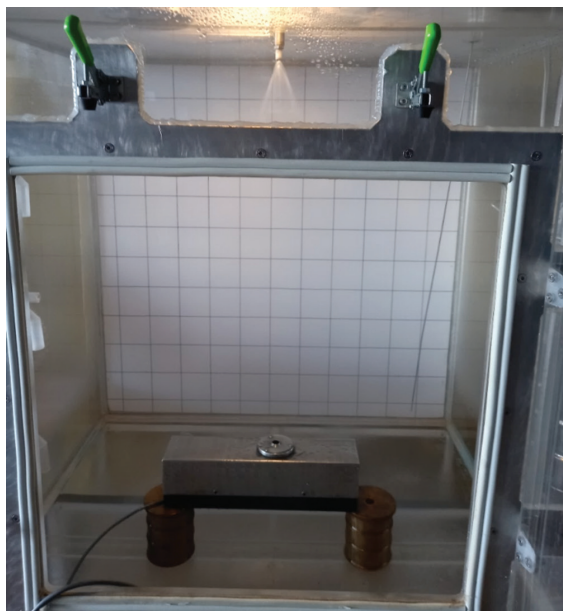
Badania zostały przeprowadzone w dwóch etapach. W pierwszym wyznaczono kąt rozpylenia oraz intensywność zraszania badanej dyszy dla trzech ciśnień zasilania: 0,2 MPa, 0,4 MPa i 0,6 MPa. W kolejnym określono parametry mikrostruktury strumienia w czterech punktach pomiarowych.

Analizie mikrostruktury strumienia poddano takie parametry jak średnia średnica powierzchniowa, liczba zebranych kropeł, widmo rozpylenia.

Badanie kąta zraszania zostało przeprowadzone metodą fotograficzną przez wykonanie serii zdjęć strumienia, na tle tablicy z wymiarami odniesienia. Dokumentacja fotograficzna została poddana analizie w programie AutoCAD 2019.

Badanie intensywności zraszania wykonano metodą masową. Do cylindrycznych pojemników pomiarowych o średnicy 64,5 mm zbierano wodę, którą następnie ważono na wadzie Radwag WLC 2, z dokładnością 0,01 g.

Do badania średnich średnic kropeł oraz widma rozpylenia wykorzystano metodę fotoelektryczną. Pomiary przeprowadzono Analizatorem Widma Kropeł IPS (AWK) firmy Zakład Elektronicznej Aparatury Pomiarowej Firma KAMIKA Instruments Sp. z o.o. Sp.k. Układ elektroniczny AWK umieszczony wewnątrz sondy pomiarowej przetwarza sygnał świetlny na impuls elektrycznych odpowiadający danej średnicy kropli [17]. Zmiana sygnału świetlnego jest wywoływana przelotem kropeł przez przestrzeń sondy pomiarowej umieszczonej wewnątrz komory badawczej (rys. 3). Pomiar prowadzono przez trzy minuty lub do czasu zebrania 100 000 kropeł.



Rys. 3. Pomiar mikrostruktury strumienia wytwarzanego przez dyszę TF 6 NN  
Źródło: opracowanie własne

Badanie intensywności zraszania przeprowadzono dla jednej czwartej obszaru zraszania dyszy. Pomiary przy zadanych ciśnieniach zasilania były prowadzone w punktach przedstawionych na rys. 4. Na podstawie masy wody zebranej w danym pojemniku pomiarowym obliczona została intensywność zraszania w każdym z punktów. Intensywność zraszania wyznaczono ze wzoru [9]:

$$I_z = \frac{m}{\zeta \cdot t \cdot A} \quad (1)$$

gdzie:

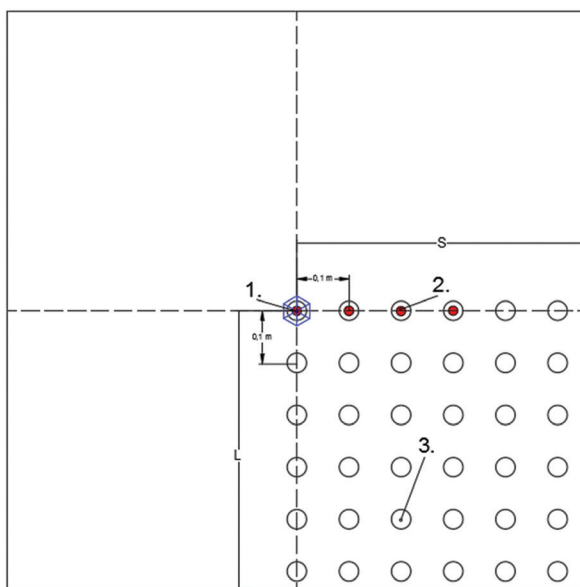
$I_z$  – intensywność zraszania [mm/min],

$m$  – masa zebranej wody [g],

$\zeta$  – gęstość wody w temperaturze 20°C [g/mm<sup>3</sup>],

$t$  – czas podawania wody [min],

$A$  – pole powierzchni wlotowej naczynia pomiarowego wynoszące ok. 3067,962 mm<sup>2</sup>,



Rys. 4. Rozmieszczenie punktów pomiarowych wewnątrz komory badawczej (rzut na podstawę komory)

Opis do rysunku: 1 – miejsce montażu dyszy podającej wodę; 2 – punkty pomiaru mikrostruktury strumienia; 3 – pojemniki pomiarowe wykorzystywane do pomiaru intensywności zraszania; S i L – odległość względem środka komory badawczej (rzutu środka dyszy na podstawę komory)

Źródło: opracowanie własne

We wszystkich badaniach dysza była ustawiona na wysokości  $0,8 \pm 0,01$  m od górnej krawędzi pojemników pomiarowych lub wlotu sondy pomiarowej Analizatora Widma Kropel.

Uzyskane wyniki intensywności zraszania zostały poddane obróbce w programie Surfer®16 firmy Golden Software.

### WYNIKI BADAŃ

Otrzymane wartości intensywności zraszania w mm/min przedstawiono w tabelach 1–3. Rozkłady intensywności zraszania zobrazowano na rys. 5–7.

Tabela 1. Wyniki intensywności zraszania (podane pochylonym tekstem) dla ciśnienia zasilania dyszy 0,2 MPa

| Średnie ciśnienie        |     | 0,20074 | MPa                | Czas podawania   |       | 240   | s     |
|--------------------------|-----|---------|--------------------|------------------|-------|-------|-------|
| Średnia wydajność        |     | 260,087 | dm <sup>3</sup> /h | Temperatura wody |       | 20,27 | °C    |
| Odległość od rzutu dyszy |     | S [m]   |                    |                  |       |       |       |
|                          |     | 0       | 0,1                | 0,2              | 0,3   | 0,4   | 0,5   |
| L [m]                    | 0   | 1,379   | 3,952              | 19,840           | 6,509 | 0,301 | 0,039 |
|                          | 0,1 | 1,891   | 5,129              | 19,786           | 5,929 | 0,306 | 0,000 |
|                          | 0,2 | 9,255   | 11,543             | 13,945           | 1,022 | 0,098 | 0,000 |
|                          | 0,3 | 11,893  | 6,060              | 1,859            | 0,214 | 0,000 | 0,000 |
|                          | 0,4 | 0,830   | 0,389              | 0,112            | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
|                          | 0,5 | 0,050   | 0,057              | 0,000            | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

Źródło: opracowanie własne

Tabela 2. Wyniki intensywności zraszania (podane pochylonym tekstem) dla ciśnienia zasilania dyszy 0,4 MPa

| Średnie ciśnienie        |     | 0,398079 | MPa                | Czas podawania   |        | 180   | s     |
|--------------------------|-----|----------|--------------------|------------------|--------|-------|-------|
| Średnia wydajność        |     | 369,762  | dm <sup>3</sup> /h | Temperatura wody |        | 20,51 | °C    |
| Odległość od rzutu dyszy |     | S [m]    |                    |                  |        |       |       |
|                          |     | 0        | 0,1                | 0,2              | 0,3    | 0,4   | 0,5   |
| L [m]                    | 0   | 2,399    | 3,644              | 18,022           | 18,774 | 0,865 | 0,076 |
|                          | 0,1 | 2,582    | 4,232              | 19,780           | 11,020 | 0,786 | 0,073 |
|                          | 0,2 | 7,284    | 9,704              | 26,658           | 1,994  | 0,294 | 0,000 |



cd. Tabeli 2.

|                          |     |          |                    |                  |       |       |       |
|--------------------------|-----|----------|--------------------|------------------|-------|-------|-------|
| Średnie ciśnienie        |     | 0,398079 | MPa                | Czas podawania   | 180   | s     |       |
| Średnia wydajność        |     | 369,762  | dm <sup>3</sup> /h | Temperatura wody | 20,51 | °C    |       |
| Odległość od rzutu dyszy |     | S [m]    |                    |                  |       |       |       |
|                          |     | 0        | 0,1                | 0,2              | 0,3   | 0,4   | 0,5   |
| L [m]                    | 0,3 | 14,778   | 19,211             | 4,547            | 0,536 | 0,088 | 0,000 |
|                          | 0,4 | 3,121    | 1,855              | 0,497            | 0,138 | 0,000 | 0,000 |
|                          | 0,5 | 0,329    | 0,186              | 0,086            | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

Źródło: opracowanie własne

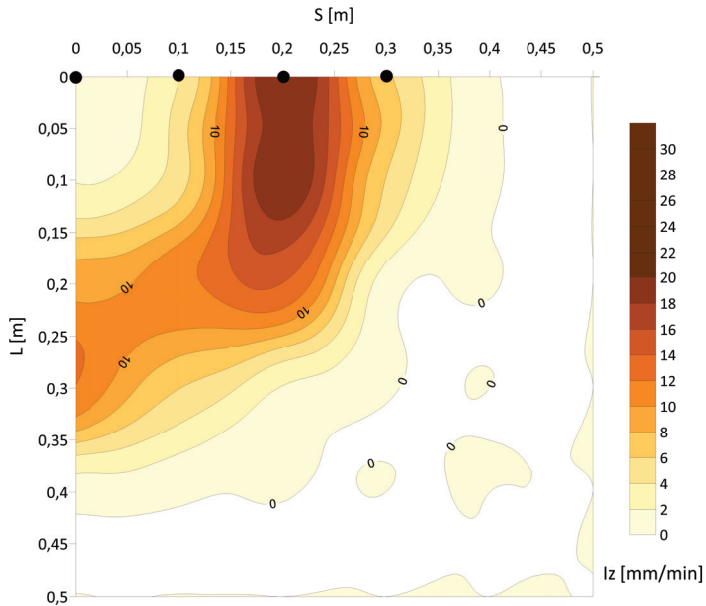
Tabela 3. Wyniki intensywności zraszania (podane pochylonym tekstem) dla ciśnienia zasilania dyszy 0,6 MPa

|                          |     |         |                    |                  |        |       |       |
|--------------------------|-----|---------|--------------------|------------------|--------|-------|-------|
| Średnie ciśnienie        |     | 0,59518 | MPa                | Czas podawania   | 150    | s     |       |
| Średnia wydajność        |     | 449,948 | dm <sup>3</sup> /h | Temperatura wody | 20,60  | °C    |       |
| Odległość od rzutu dyszy |     | S [m]   |                    |                  |        |       |       |
|                          |     | 0       | 0,1                | 0,2              | 0,3    | 0,4   | 0,5   |
| L [m]                    | 0   | 3,750   | 5,294              | 16,710           | 29,031 | 1,725 | 0,093 |
|                          | 0,1 | 4,024   | 5,810              | 17,617           | 12,497 | 1,053 | 0,089 |
|                          | 0,2 | 7,905   | 9,981              | 23,634           | 4,544  | 0,353 | 0,055 |
|                          | 0,3 | 16,278  | 21,104             | 8,406            | 1,576  | 0,095 | 0,000 |
|                          | 0,4 | 5,897   | 4,515              | 0,938            | 0,159  | 0,000 | 0,000 |
|                          | 0,5 | 0,474   | 0,195              | 0,111            | 0,000  | 0,000 | 0,000 |

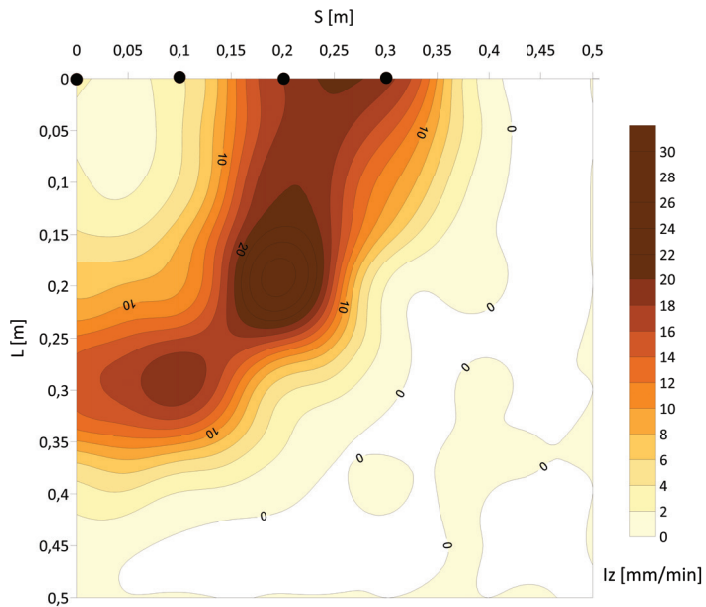
Źródło: opracowanie własne

Rozkłady intensywności zraszania przy różnych ciśnieniach zasilania mają zbliżony kształt. Cechują się one stosunkowo małą wartością intensywności zraszania w strefie bezpośrednio pod dyszą i dużą ilością wody podawanej w pierścieniu o średnicy wew. 0,15 m i zewn. 0,35 m.

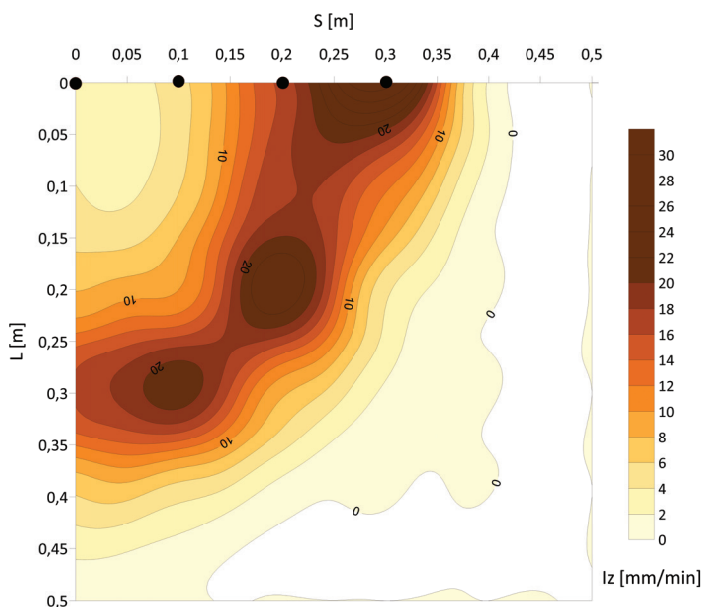
W tabeli 4 dla różnych ciśnień zasilania podano wartości kątów rozpylenia oraz odpowiadające im powierzchnie zraszania wyznaczone przy użyciu programu Surfer®16. Analizie poddano powierzchnie pokrycia wodą ( $I_z > 0$  mm/min), jak również powierzchnie, gdzie  $I_z$  było większe od 5 mm/min oraz 10 mm/min. Wyznaczone powierzchnie odniesiono do całkowitej przestrzeni pomiarowej 0,25 m<sup>2</sup>.



Rys. 5. Rozkład intensywności zraszania dla ciśnieniu zasilania 0,2 MPa  
Źródło: opracowanie własne



Rys. 6. Rozkład intensywności zraszania dla ciśnieniu zasilania 0,4 MPa  
Źródło: opracowanie własne



Rys. 7. Rozkład intensywności zraszania dla ciśnieniu zasilania 0,6 MPa  
Źródło: opracowanie własne

Tabela 4. Wyniki badań kąta rozproszenia oraz efektywności zraszania

| Ciśnienie | Kąt rozpylenia | Powierzchnia zraszania względem ocenianej wynoszącej 0,25 m <sup>2</sup> |          |                  |          |                   |            |
|-----------|----------------|--|----------|------------------|----------|-------------------|------------|
|           |                | Powyżej 0 mm/min   |          | Powyżej 5 mm/min |          | Powyżej 10 mm/min |            |
| MPa       | °              | m <sup>2</sup>   | %        | m <sup>2</sup>   | %        | m <sup>2</sup>    | %          |
| 0,2       | 54             | 0,153543   | 61,41716 | 0,074241         | 29,69644 | 0,041533          | 16,6133072 |
| 0,4       | 60             | 0,173974   | 69,58976 | 0,090785         | 36,31398 | 0,063836          | 25,5344058 |
| 0,6       | 61             | 0,183771   | 73,50844 | 0,105572         | 42,22892 | 0,071087          | 28,434963  |

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie wyników stwierdzono, że wzrost ciśnienia zasilania dyszy, a tym samym ilości podawanej przez nią wody, powoduje głównie zwiększenie intensywności zraszania w pierścieniu o średnicy wew. 0,15 m i zewn. 0,35 m. W strefie centralnej stożka zraszania zmiany intensywności zraszania przy wzroście ciśnienia zasilania dyszy są nieznaczne. Wzrost ciśnienia podawania wody powoduje zwiększenie nierównomierności zraszania i dysproporcje między wynikami otrzymanymi pod dyszą i w głównym

pierścieniu zraszania. Dysza TF 6 NN przy ciśnieniu zasilania 0,2 MPa ma nieco zawężony kąt rozpylenia, co niewątpliwie przekłada się na uzyskiwaną powierzchnię zraszania oraz odległość, w której można zaobserwować maksymalne intensywności zraszania. W przypadku ciśnienia 0,2 MPa największa ilość wody jest podawana w odległości około 0,2 m, podczas gdy dla ciśnienia 0,6 MPa jest to wartość około 0,3 m. Analizowane powierzchnie o intensywności zraszania powyżej 0 mm/min, 5 mm/min i 10mm/min w ujęciu procentowym dla poszczególnych ciśnień zasilania są skorelowane. W przypadku wartości między 0,4 MPa a 0,2 MPa wynoszą one około 8%, zaś między 0,6 MPa i 0,4 MPa około 4%.

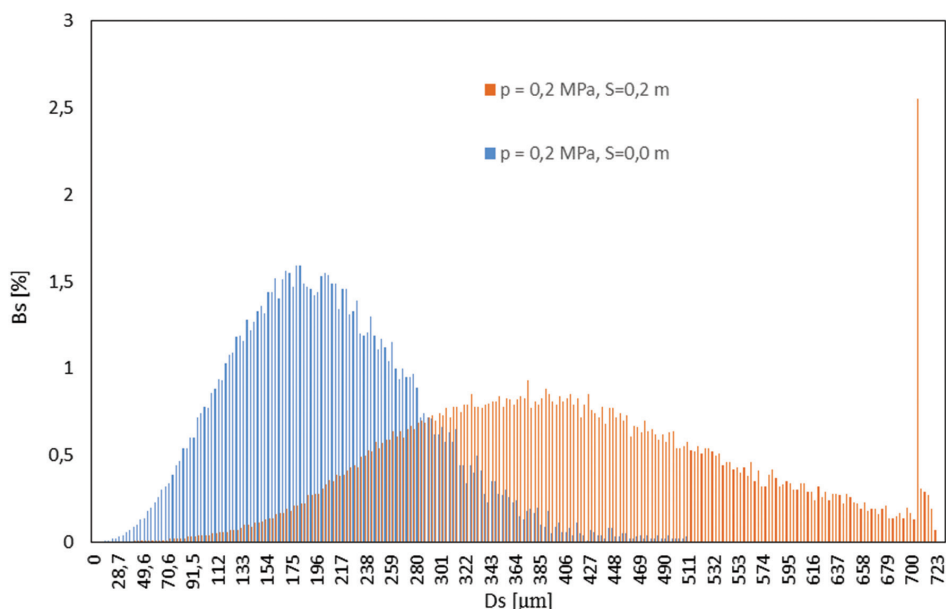
Wyniki badań mikrostruktury strumienia dyszy TF 6 NN przedstawiono w tab. 5. Na rys. 8 i 9 przy ciśnieniu zasilania 0,2 MPa oraz 0,6 MPa zestawiono widma rozpylenia kropli otrzymane w punkcie bezpośrednio pod dyszą oraz w strefie największych intensywności zraszania.

Tabela 5. Wyniki badań średnic średnic powierzchniowych

| Odległość<br>S [m] | Parametr                        | Symbol | Jednostka | p [MPa] |         |         |
|--------------------|---------------------------------|--------|-----------|---------|---------|---------|
|                    |                                 |        |           | 0,2     | 0,4     | 0,6     |
| 0                  | Liczba kropeł                   | N      | -         | 57 595  | 100 080 | 100 075 |
|                    | Czas podawania                  | t      | s         | 180,0   | 99,0    | 126,0   |
|                    | Średnia średnica powierzchniowa | Ds.    | μm        | 149,2   | 173,5   | 164,1   |
| 0,1                | Liczba kropeł                   | N      | -         | 100 116 | 100 062 | 100 069 |
|                    | Czas podawania                  | t      | s         | 125,0   | 99,0    | 109,0   |
|                    | Średnia średnica powierzchniowa | Ds.    | μm        | 207,6   | 201,6   | 193,0   |
| 0,2                | Liczba kropeł                   | N      | -         | 100 077 | 100 059 | 100 044 |
|                    | Czas podawania                  | t      | s         | 120,0   | 101,0   | 99,0    |
|                    | Średnia średnica powierzchniowa | Ds.    | μm        | 327,4   | 258,2   | 235,3   |
| 0,3                | Liczba kropeł                   | N      | -         | 32 977  | 85 405  | 84 016  |
|                    | Czas podawania                  | t      | s         | 180,0   | 181,0   | 180,0   |
|                    | Średnia średnica powierzchniowa | Ds.    | μm        | 291,4   | 272,8   | 295,4   |

Źródło: opracowanie własne

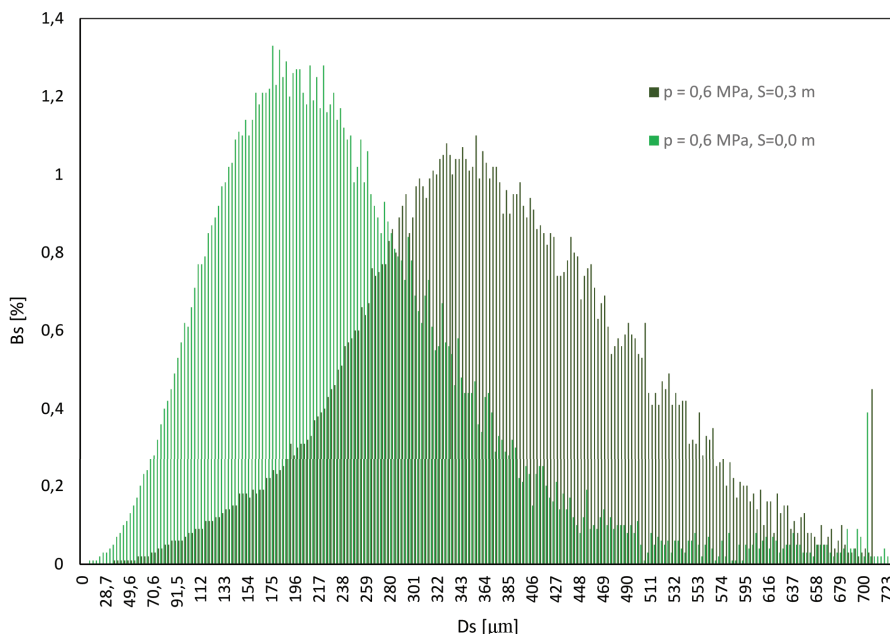
Bez względu na ciśnienie zasilania w centralnej strefie stożka zraszania dyszy TF 6 NN wartości średnich średnic powierzchniowych kropeł są najmniejsze. W tej przestrzeni występuje strumień o dużej dyspersji, a wartości  $D_s$  nie przekraczają 200  $\mu\text{m}$ . W miarę zbliżania się do środka głównego pierścienia zraszania wielkości średnich średnic kropeł dość szybko rosną. Różnice wartości  $D_s$  między środkową częścią powierzchni zraszania a strefą maksymalnych intensywności zraszania jest duża i wynosi ponad 100  $\mu\text{m}$ .



Rys. 8. Procentowy udział kropeł o określonych średnicach odniesionych do średniej średnicy powierzchniowej; warunki badania: ciśnienie zasilania 0,2 MPa

Źródło: opracowanie własne

Ciśnienie 0,2 MPa nie gwarantuje dobrego rozpylenia wody podawanej przez dysze TF 6 NN, czego dowodem są bardzo duże wartości średnich średnic powierzchniowych w głównej strefie zraszania oraz stosunkowo mała liczba drobnych kropeł zbieranych pod dyszą. Widmo rozpylenia uzyskane dla ciśnienia zasilania 0,2 MPa w odległości 0,2 m od dyszy charakteryzuje się znaczącym udziałem kropeł o dużych średnicach lub poza zakresem pomiarowym (ponad 2,5%).



Rys. 9. Procentowy udział krotek o określonych średnicach odniesionych do średniej średnicy powierzchniowej; warunki badania: ciśnienie zasilania 0,6 MPa

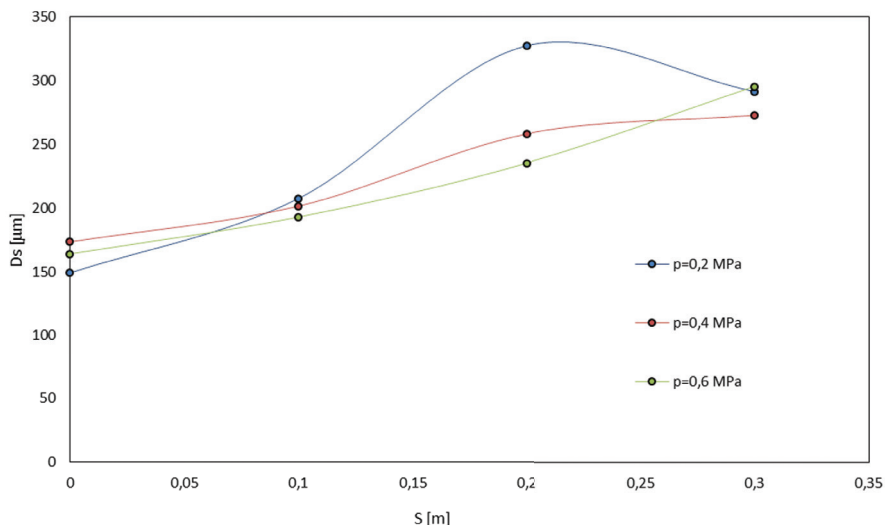
Źródło: opracowanie własne

Widma rozpylenia przy analizowanych ciśnieniach w strefie bezpośrednio pod dyszą są bardzo zbliżone. W przypadku ciśnienia 0,2 MPa rozkład średnic krotek jest nieznacznie przesunięty w stronę niższych wartości średnic. Wynikać to może z faktu, że w wyższych ciśnieniach podawana jest większa ilość wody w strefę pod dyszą oraz występują większe turbulencje wytwarzanego strumienia.

Na rys. 10 i 11 dla badanych ciśnień zasilania dyszy przedstawiono średnice krotek  $D_s$  oraz intensywności zraszania w odległości 10, 20 i 30 cm od dyszy.

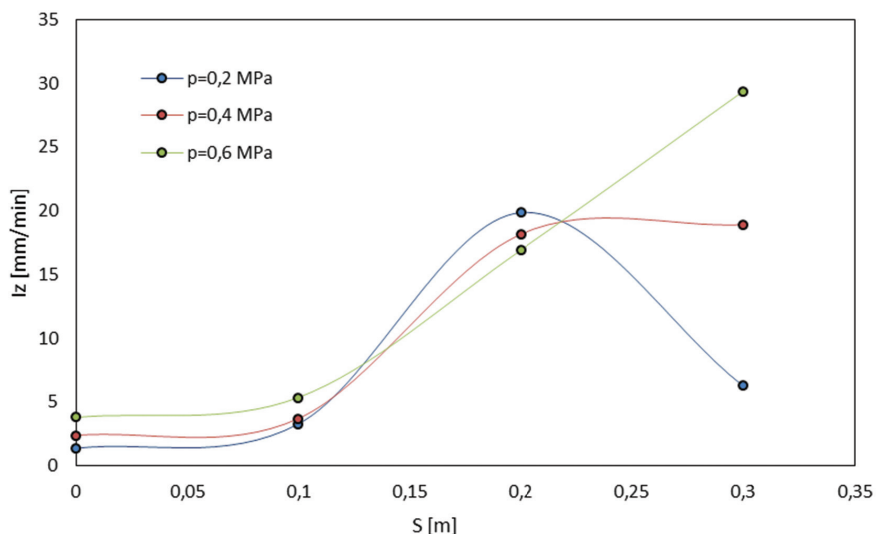
Na podstawie wykresów przedstawionych na rys. 10 i 11 można stwierdzić, że w przypadku dysz spiralnych TF 6 NN intensywność zraszania jest silnie powiązana z dyspersją wytwarzanego przez nie strumienia. Maksymalne wielkości krotek występują w strefach największej intensywności zraszania. W centralnej strefie stożka zraszania zarówno intensywności, jak i wartości średnich średnic przyjmują najmniejsze wartości. Na odcinku między punktem położonym bezpośrednio pod dyszą a punktem, w którym zarejestrowano maksymalne intensywności zraszania, następuje zbliżony do liniowego

wzrost wielkości średnic średnic kropeł. Takiej zależności nie odnotowano w przypadku intensywności zraszania, której wartości znacząco wzrastają w głównym pierścieniu zraszania.



Rys. 10. Wartości średnic  $D_s$  w zależności od ciśnienia zasilania dyszy i położenia punktu pomiarowego

Źródło: opracowanie własne



Rys. 11. Wartości intensywności zraszania w punktach pomiaru średnic kropeł

Źródło: opracowanie własne

## WNIOSKI

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań dyszy spiralnej TF 6 NN firmy BETA określono parametry mikro- i makrostruktury wytwarzanego przez nią strumienia oraz sformułowano wnioski.

1. Średnie średnice kropeł strumieni wytwarzanych przez dyszę spiralną TF 6 nie powinny być sprowadzane do jednej wartości, ponieważ występują istotne dysproporcje w poszczególnych strefach zraszania.
2. Przeważająca ilość podawanej przez dyszę spiralną TF 6 NN wody jest kierowana do głównego pierścienia zraszania, gdzie występują największe średnie średnice kropeł.
3. Wzrost ciśnienia zasilania dyszy (ilości podawanej wody) wpływa na zwiększenie nierównomierności zraszania.
4. Struga uzyskana z dyszy spiralnej o pełnym stożku zraszania, w strefie bezpośrednio pod dyszą, charakteryzuje się największym stopniem rozpylenia.
5. Zmiana ciśnienia zasilania dyszy nie zawsze powoduje istotne zmiany parametrów strumienia. W centralnej części strefy zraszania przy ciśnieniach zasilania dyszy powyżej 0,2 MPa następują niewielkie zmiany intensywności zraszania i średnich średnic kropeł.

## REFERENCES/BIBLIOGRAFIA

1. Yan Cui, Jianghong Liu, *Research progress of water mist fire extinguishing technology and its application in battery fires*, "Process Safety and Environmental Protection" 2021, 149, s. 559–574.
2. Modak A.U., Abbud-Madrid A., Delplanque J.P. and Kee R.J., *The Effect of Mono-Dispersed Water Mist on the Suppression of Laminar Premixed Hydrogen-, Methane-, and Propane-Air Flames*, "Combustion & Flame" 2006, 144, s. 103.
3. Bill Jr. R.G., Ural E.A., *Water Mist Protection of Combustion Turbine Enclosures*, Fire Safety Science – Proceedings of the Sixth International Symposium, International Association for Fire Safety, Poitiers, France (1999).
4. Zbrożek P., Prasula J., *Wpływ wielkości średnic kropli mgły wodnej na efektywność tłumienia pożarów i chłodzenie*, „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza” 2009, nr 3, s. 113–148.
5. Bara A., Dusserre G., *The use of water curtains to protect fireman in case of heavy gas dispersion*, "J. Loss Prev. Ind. Industries" 1997, Vol. 10, 179–183.



6. Węsierski T., Majder-Łopatka M., *Comparison of water curtain effectiveness in the elimination of airborne vapours of ammonia, acetone, and low-molecular aliphatic alcohols*, "Appl. Sci." 2018, 8(10), 1971.
7. Majder-Łopatka M., Węsierski T., Wąsik W., *Wpływ typu dyszy rozpylającej na skuteczność absorpcji obłoku amoniaku powstałego w wyniku awarii przemysłowej*, „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza” 2016, Vol. 42, Issue 2, s. 127–134.
8. Liu L., Kim A.K., *A Review of Water Mist Fire Suppression Systems – Fundamental Studies*, "Journal of Fire Protection Engineering" 2000, 10, 3, s. 32–50.
9. Orzechowski Z., Prywer J., *Wytwarzanie i zastosowanie rozpylonej cieczy*, WNT, Warszawa 2008.
10. <https://www.dyszeprzemyslowne.pl/dysze-wodne/pelnostozkowe> (dostęp 20.08.2021).
11. Majder-Łopatka M., Węsierski T., Wąsik W., Binio Ł., *Wpływ ciśnienia zasilania spiralnej dyszy wirowej na kąt rozpylenia i gęstość zroszenia strumienia cieczy*, „Zeszyty Naukowe SGSP” 2017, nr 61, s. 137–150.
12. Roguski J., Zbrożek P., Czerwienko D., *Wybrane aspekty stosowania w obiektach budowlanych urządzeń gaśniczych na mgłę wodną*, Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpowarowej im. Józefa Tuliszkowskiego – Państwowy Instytut Badawczy, Józefów 2012.
13. Arthur E., Cote P.E., *Fire protection handbook*, National Fire Protection Association, Inc., Quincy, Massachusetts 2003.
14. Kubica P., Gałą J., *Analiza porównawcza skuteczności rozpylania wody przez wybrane dysze mgłowe*, „Zeszyty Naukowe SGSP” 2004, nr 31.
15. Gałą J., Kieliszek S., Drzymała T., *Badanie wpływu zawirowania strumienia centralnego wybranej dyszy na parametry strumienia rozpylonego*, „Zeszyty Naukowe SGSP” 2004, nr 35.
16. <https://www.bete-dysze.pl/files/bete-duesen-de/pdf/vollkegel/tf.pdf> (dostęp 22.07.2021).
17. Instrukcja obsługi Analiza Widma Kropel IPS, Zakład Elektronicznej Aparatury Pomiarowej KμK, Warszawa 2014.

**WIKTOR WĄSIK** – mgr inżynier pożarnictwa, funkcjonariusz Państwowej Straży Pożarnej w stopniu starszego kapitana. Pracownik dydaktyczny Szkoły Głównej Służby Pożarniczej. Zainteresowania naukowe: bezpieczeństwo pożarowe, techniki rozpylania cieczy, pompy i układy pompowe, absorpcja i oczyszczanie gazów.

**WIKTOR WĄSIK** – MSc in Fire Safety Engineering, Senior Captain of the State Fire Service. Member of the teaching staff at the Main School of Fire Service. Research interests: fire safety, liquid spraying techniques, pumps and pumping systems, gas absorption and purification.

**WIOLETTA ROGULA-KOZŁOWSKA** – doktor habilitowany nauk inżyniersko-technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska, kierownik i wykonawca kilkunastu projektów z obszaru ochrony powietrza, w tym dwóch międzynarodowych i ośmiu finansowanych w ramach konkursów Narodowego Centrum Nauki, autor ponad dwustu publikacji naukowych, monografii i rozdziałów w monografiach, w tym ponad 100 rejestrowanych w bazie SCOPUS, wykładowca w Szkole Głównej Służby Pożarniczej. Specjalizuje się w ocenie własności, składu fizykochemicznego, pochodzenia oraz wpływu na zdrowie i środowisko szeroko pojętego aerozolu atmosferycznego i wewnętrznego oraz wykorzystaniem różnego rodzaju elementów modelowania matematycznego i statystycznego w ocenie skutków oddziaływania zanieczyszczeń środowiska, zwłaszcza powietrza na środowisko naturalne.

**WIOLETTA ROGULA-KOZŁOWSKA** – Habilitated doctor in engineering and technical sciences in the domain of environmental engineering; manager and contractor of several projects in the field of air protection, including two international projects and eight projects financed within the National Science Center competitions; author of over two hundred scientific publications, monographs and chapters in monographs, including over 100 registered in the SCOPUS database, lecturer at the Main School of Fire Service. He specializes in the field of property assessment, physicochemical composition, origin and impact of broadly understood atmospheric and internal aerosols on health and the environment and the use of various types of mathematical and statistical models in the assessment of the effects of environmental pollution, incl. air pollution, on the natural environment.

**MAŁGORZATA MAJDER-ŁOPATKA** – inżynier chemii, doktor nauk inżyniersko-technicznych, funkcjonariusz Państwowej Straży Pożarnej w stopniu brygadiera. Pracownik badawczo-dydaktyczny Szkoły Głównej Służby Pożarniczej. Zainteresowania naukowe: bezpieczeństwo pożarowe i procesowe, identyfikacja gazowych produktów rozkładu termicznego i spalania, innowacyjne metody likwidacji skażeń.

**MAŁGORZATA MAJDER-ŁOPATKA** – chemical engineer, doctor of engineering and technical sciences, Brigadier of the State Fire Service. Researcher and academic lecturer at the Main School of Fire Service. Research interests: fire and process safety, determination of gaseous products of thermal decomposition and combustion, innovative methods for removal of contaminants.