

mgr inż. Natalia Kraus-Namroży<sup>1)</sup>  
 ORCID: 0000-0002-7509-2849  
 dr hab. inż. Dorota Brzezińska, prof. PE<sup>1)\*</sup>  
 ORCID: 0000-0003-4615-4454

# Badanie właściwości strumienia rozpylanego przez niskociśnieniową wirową dyszę mgłową

## *Research of the characteristics of the stream sprayed by a swirl low-pressure water mist nozzle*

DOI: 10.15199/33.2022.07.05

**Streszczenie.** Stałe urządzenia gaśnicze mgłowe są coraz powszechniej stosowane w obiektach budowlanych. Rodzą się jednak wątpliwości, czy skuteczność ich działania nie jest mniejsza niż tradycyjnych urządzeń tryskaczowych. Jednym z elementów oceny efektywności gaśniczej dysz mgłowych jest analiza rozkładu wielkości generowanych kropelek. W artykule omówiono właściwości rozpylanego strumienia wodnego generowanego przez dyszę mgłową typu wirowego. Przedstawiono stanowisko badawcze oraz zastosowaną metodę pomiarową. Otrzymane wyniki zaprezentowano w postaci wykresów przedstawiających rozkład średnich kropelek z udziałem objętościowym w zależności od ciśnienia oraz odległości od badanej dyszy. Porównanie uzyskanych wyników pomiarów z danymi literaturowymi potwierdziło skuteczność gaśniczą badanej dyszy mgłowej.

**Słowa kluczowe:** dysza mgłowa niskociśnieniowa; średnia średnica kropelek  $D_v$ ; stałe urządzenia gaśnicze wodne mgłowe; tryskacz.

**Abstract.** Water mist fixed extinguishing systems nozzles are becoming more and more commonly used water extinguishing devices in buildings. However, there are doubts as to whether their effectiveness is not lower than that of traditional sprinkler devices. One of the elements of the assessment of the extinguishing efficiency of water mist nozzles is the analysis of the size distribution of the generated droplets. The aim of the work was to investigate the properties of the atomized stream generated by a swirl water mist nozzle. The article discusses the general characteristics of the tested nozzle. The test stand and the measurement method used were presented. The obtained data was compared with the literature data. The achieved results are presented in the form of graphs showing the distribution of mean droplets with a quantitative volume depending on pressure and the distance from the tested nozzle. The results confirmed the extinguishing and cooling properties of hot fire gases of the water stream generated by the nozzle.

**Keywords:** low pressure water mist nozzle; mean droplet diameter  $D_v$ ; fixed water mist extinguishing system; sprinkler.

Rynek stałych wodnych urządzeń gaśniczych nieustannie się rozwija. Wśród nich znajdują się instalacje różniące się pod względem wielkości generowanych kropelek oraz ciśnienia roboczego, takie jak instalacje tryskaczowe oraz instalacje mgły wodnej niski- i wysokociśnieniowej. Nie ma jednego uniwersalnego systemu, który ugasiłby każdy pożar i miał zastosowanie we wszystkich warunkach pracy [1]. W celu prawidłowego dobrania systemu gaśniczego należy właściwie sklasyfikować zagrożenie. Kwalifikacja do klasy małego zagrożenia LH, średniego zagrożenia OH lub dużego zagrożenia pożarowego HH obiektów budowlanych zależy od obciążenia ogniowego i przeznaczenia chronionej przestrzeni [2]. W celu zapewnienia ochrony życia i mienia w budynkach często stosowane są stałe urządzenia gaśnicze tryskaczowe [1], umożliwiające wykrycie i ugaszenie pożaru w początkowym stadium rozwoju lub ograniczenie jego rozprzestrzeniania się do momentu przybycia jednostek straży pożarnej. Istnieje kilka norm, zgodnie z którymi należy projektować instalacje tryskaczowe. Są to amerykańskie NFPA [3], niemieckie wytyczne VdS [4], czy polskie PN-EN 12845 [2]. Alternatywą dla instalacji tryskaczowych są szybko rozwijające się systemy mgłowe. Ich budowa zbliżona jest do tra-

dycyjnych instalacji tryskaczowych, ale różnią się ostatnim elementem w instalacji, czyli specjalnie zaprojektowanymi dyszami mgłowymi. Jak przedstawia rysunek 1, automatyczne dysze mgłowe zamontowane są na rurociągach połączonych z zaworami sekcijnymi. Woda do instalacji podawana jest za pomocą pompy, która pobiera wodę ze zbiornika wody.

Dzięki zastosowaniu specjalnych dysz zapotrzebowanie na wodę w instalacjach mgłowych jest wielokrotnie mniejsze niż w systemach tryskaczowych [5] i dlatego stosuje się w nich znacznie mniejsze średnice rurociągów, które zajmują mniej miejsca w przestrzeni sufitowej oraz stanowią dużo mniejsze obciążenie dla stropu, a także mają o wiele mniejsze zbiorni-

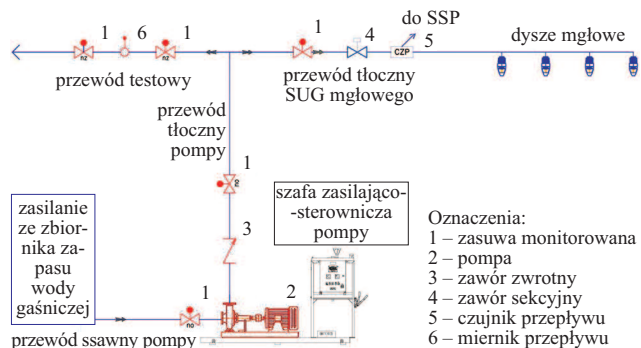


Fig. 1. Schemat instalacji mgłowej  
 Fig. 1. Scheme of the water mist installation

<sup>1)</sup> Politechnika Łódzka; Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska  
<sup>\*)</sup> Adres do korespondencji: dorota.brzezinska@p.lodz.pl

ki wody gaśniczej. Przekłada się to na znacznie mniejsze koszty instalacji przeciwpożarowej w budynkach. Różnica polega także na mechanizmie gaszenia pożaru. Dzięki bardzo małym kropelkom wytwarzanym przez dysze mgłowe skutecznie ograniczają one jego rozwój przez pochłanianie ciepła, zwilżanie i chłodzenie powierzchni paliwa [6, 7, 8, 9]. Mgła wodna tworzy rozległą powierzchnię chłodzącą. W momencie przeniknięcia kropelek wody do ognia następuje ich przemiana w parę wodną, a w efekcie schładzanie płomienia. W momencie osiągnięcia dolnej granicy adiabatycznej temperatury płomienia następuje koniec reakcji spalania mieszanki paliwo-powietrznej i pożar zostaje ugaszony [10]. Tłumienie płomieni następuje również przez miejscowe obniżenie stężenia tlenu, w wyniku wyparcia przez parę wodną [6, 7, 8, 9]. Zjawisko to dotyczy zarówno strefy spalania, jak i otaczającego go środowiska, czyli obszarów, gdzie para wodna powstaje najszybciej ze względu na wysoką temperaturę [11]. Mechanizm ten pełni najistotniejszą rolę podczas gaszenia pożarów w zamkniętej przestrzeni. W przypadku otwartej przestrzeni czynnikiem wpływającym na szybkość i skuteczność tłumienia ognia jest wymiana powietrza wywołana np. wiatrem lub wentylacją. Za jej sprawą proces ten zostaje spowolniony [11]. Efekt wypierania tlenu tłumaczy również, dlaczego łatwiej stłumić pożar „większy” niż „mniejszy”. Pod tymi pojęciami kryje się wpływ pożaru na średnią temperaturę i stężenie tlenu w pomieszczeniu podczas działania mgły wodnej. Pierwszy z nich, w przeciwieństwie do drugiego, oddaje więcej ciepła do pomieszczenia w początkowych etapach, dzięki czemu do procesu odparowania drobnych kropelek wody dostępne jest więcej ciepła. „Duży” pożar redukuje także stężenie tlenu w środowisku pożaru do poziomu, gdzie skuteczność spalania zostanie zmniejszona przed wprowadzeniem mgły wodnej [12], tworzącej barierę zabezpieczającą przed dalszym rozkładem termicznym powierzchni paliwa, również tej niezapalanej. Tłumienie promieniowania ciepłego sprawia, że płomień nie wpływa na spalany materiał z taką samą intensywnością, z jaką miałoby to miejsce bez niego. Blokują również powiększanie się powierzchni zajętej przez ogień, zmniejsza przyrost oparów paliwa oraz intensywność zjawiska pyrolizy [11]. Blokowanie promieniowania wiąże się w dużym stopniu ze średnicą kropli wody i gęstością masy kropli. Określona objętość wody zapewnia skuteczniejszą barierę przed promieniowaniem, jeśli w jej skład będą wchodzić bardzo małe kropelki w gęstym strumieniu niż w przypadku rozcieńczonego strumienia z większymi kroplami [13, 14]. Dzięki dużej powierzchni wytwarzanych kropeł mgła wodna jest w stanie pochłaniać dużą ilość ciepła, a tym samym zapewnić efektywne chłodzenie strefy spalania [15].

Woda gasi pożar za pomocą trzech głównych mechanizmów, a mianowicie: schładzania powierzchni spalania; schładzania obszaru płonącego oraz przez objętościowe wypieranie palnych gazów i tlenu. Dzięki obniżonej temperaturze powierzchni spalania następuje zredukowanie szybkości reakcji chemicznych, co przyczynia się do zmniejszenia szybkości wydzielania ciepła i oddawania ciepła z płomieni na powierzchnię. Spowalnia to także, a nawet zatrzymuje generowanie substancji lotnych [16]. Są to główne mechanizmy gaszenia paliw stałych,

czyli pożarów grupy A. W wyniku obniżonej temperatury spalania, część ciepła wytwarzanego podczas reakcji spalania jest absorbowana przez ogrzewanie i parowanie wody. Dzięki temu temperatura płomienia zostaje obniżona do takiej, w której następuje jego ugaszenie. W procesie przemiany wody na fazę gazową wytwarzana jest duża ilość pary, która także przyczynia się do stłumienia płomienia [17, 18]. Uznaje się, że **dominujący wpływ na mechanizm gaszenia pożaru ma wielkość kropli generowana przez system gaśniczy** [9].

Na podstawie badań eksperymentalnych wykazano, że im większy jest stopień rozpylenia strumienia wody, tym większa skuteczność działań gaśniczych [19]. Nadrzędnym argumentem decydującym o zastosowaniu stałych urządzeń gaśniczych wodnych powinno być bezpieczeństwo osób przebywających w obiekcie [5], gdyż, jak dowiedziono, są one jedynymi systemami mającymi zupełnie obojętny wpływ na organizm człowieka podczas pożaru [20].

Mgła wodna jest to spray wodny wygenerowany przez dyszę mgłową, którego sumaryczne objętościowe rozpylenie kropli wody  $D_{v,0.9}$  jest mniejsze niż 1000  $\mu\text{m}$  przy minimalnym projektowanym ciśnieniu roboczym [21]. Coraz częstsze stosowanie rozproszonej wody przez rozpylacze mgłowe rodzi pytanie dotyczące wielkości kropeł, dającej najlepsze efekty gaśnicze [20]. Trudno jednak jednoznacznie stwierdzić i usystematyzować skuteczność gaśniczą pod względem wielkości kropli, ponieważ zależy ona od rodzaju pożaru (grupa A, B, F).

Kropłe większe niż 1 mm są generowane przez tryskacze [9]. Ta wielkość ułatwia dotarcie kropli do źródła zapłonu, a co za tym idzie zwiększa poziom pochłaniania ciepła, a tym samym schładzania obszaru płomienia. Natomiast pęd i masa kropli generowanych przez systemy mgłowe może nie być wystarczająca, aby przeniknąć w głąb obszaru płomienia. Jednak zazwyczaj z zastosowaniem większego ciśnienia wlotowego na dyszy mgłowej niż przy tryskaczu, kropelki nadal są w stanie przeniknąć do obszaru płomienia, choć najbardziej dominującym mechanizmem tłumienia instalacji mgłowych jest parowanie [22].

Rozkład wielkości kropeł odnosi się do zakresu wielkości kropeł zawartych w reprezentatywnych próbkach mierzonych w określonych miejscach. Rozmiar kropli służący tłumieniu pożaru jest silnie zależny od wielu czynników, takich jak właściwości materiałów palących, stopień skomplikowania pomieszczenia i rozmiar pożaru. Rozkład wielkości kropeł, który jest najskuteczniejszy w ugaszeniu jednego scenariusza pożaru, niekoniecznie będzie najlepszy w przypadku innych scenariuszy. Nie ma jednego rozkładu wielkości, który pasowałby do wszystkich scenariuszy pożaru.

W celu określenia właściwej wielkości kropeł do tłumienia ognia przeprowadzono szeroki zakres badań w różnych warunkach pożarowych [24, 25]. Istnieje kilka teorii na temat optymalnej wielkości kropeł pod kątem efektywności gaśniczej [19]. Im większe rozpylenie, tym mniejsze są kropelki, które lepiej chłodzą strefę spalania. Z drugiej strony, przy zbyt małej średnicy kropeł, istnieje duże prawdopodobieństwo niedotarcia kropli do źródła pożaru. Zbyt małe kropelki szybko odparowują i obniżają jedynie strefę spalania [20]. Z przeprowadzonych przez **Schremmera** badań wynika, że po rozpyleniu wody do cząsteczek o wymiarach 10 – 400  $\mu\text{m}$  można uzyskać aż

dziesięciokrotnie większy efekt gaśniczy niż z zastosowaniem konwencjonalnych rozpylaczy generujących krople większe niż 1000  $\mu\text{m}$  (tryskaczy) [26]. Metoda opisana przez Schremmera [14] charakteryzuje się bardzo szybkim schładzaniem palącego się materiału, znacznie ogranicza dostęp tlenu do źródła ognia i tzw. promienne przenikanie ciepła oraz redukuje ilość produktów spalania, w tym wydzielanego dymu. **Paul Grimwood**, powołując się na badania The Swedish Fire Research Board stwierdził, że do celów gaśniczych najlepiej zastosować mgłę wodną o średniej średnicy kropli 200 – 400  $\mu\text{m}$  [7, 15]. Z kolei do tłumienia pożarów i chłodzenia gazów pożarowych wewnątrz drewnianych obiektów najodpowiedniejszy wydaje się zakres kropli o średnicy 100 – 300  $\mu\text{m}$  [20].

Mechanizm rozpadu strumienia cieczy oraz tworzenia się kropeł dokładnie został omówiony w pracach [19, 27, 28]. Cechy charakterystyczne strumienia rozpylonego dzieli się na właściwości związane z jego mikrostrukturą oraz makrostrukturą, które są ściśle powiązane z parametrami technicznymi dyszy oraz jej rozstawem i wysokością montażu [15]. Do właściwości makro zaliczamy kąt rozpylenia i zasięg strugi, charakteryzujące jej kształt zewnętrzny. Natomiast właściwości mikro, to m.in. średnia średnica kropeł wraz z ich rozkładem w płaszczyźnie poziomej, zwanym widmem rozpylenia, średnica maksymalna i minimalna, a także powierzchnia właściwa kropeł. Szczegółowe omówienie tych parametrów znajduje się w pracach [19, 27, 28, 29].

W przeciwieństwie do instalacji tryskaczowej, która ma wpływ jedynie na obniżanie ciepła podczas spalania, instalacja mgłowa redukuje dwa z trzech elementów z tzw. trójkąta spalania, a mianowicie utleniacz i ciepło spalania [11]. Mgłą wodną można gasić pożary ciał stałych (pożary klasy A) i pożary łatwopalnych cieczy (pożary klasy B).

Do końca 2020 r. instalacje mgły wodnej w Polsce były projektowane zgodnie ze standardami innych krajów europejskich, np. Wielkiej Brytanii (BS), Niemiec (VdS) lub amerykańskimi (NFPA). Od grudnia 2020 r. obowiązuje zharmonizowana polska norma PN-EN 14972 [21]. W odróżnieniu od norm dotyczących instalacji tryskaczowych, dających konkretne wytyczne do projektowania, normy dotyczące instalacji mgłowych opisują w sposób ogólny zasady projektowania. Zgodnie z ich treścią, instalacja mgłowa jest szczególnym rozwiązaniem aplikacyjnym, które należy potwierdzić w przypadku każdego zastosowania lub sposobu użytkowania gaszonej przestrzeni [21]. Chcąc wprowadzić nowy wyrób do obrotu, należy przeprowadzić m.in. badania dotyczące rozstawu oraz maksymalnej wysokości zastosowania danej dyszy mgłowej.

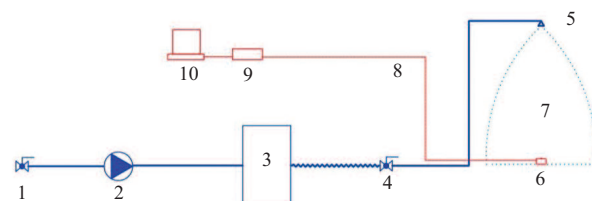
W artykule zostały opisane parametry mikrostruktury rozpylanego strumienia, a przede wszystkim średnie średnice objętościowe kropeł  $D_v$  rozpylacza mgłowego typu wirowego. Na podstawie  $D_v$  podjęto także próbę porównania nowej dyszy z badanymi dyszami mgłowymi oraz tryskaczami przez zespół naukowców pod przewodnictwem **Hengrui Liu** [9]. Zespół ten przeprowadził analizę numeryczną dotyczącą mechanizmów gaszenia instalacji tryskaczowej i mgłowej. W przypadku każdego systemu zostały wybrane po trzy dysze generujące różnej wielkości krople w celu zbadania ich wpływu na efektywność gaszenia pożaru. W systemie mgłowym zbadano dysze ge-

nerujące krople o wielkości 100, 150 i 200  $\mu\text{m}$ , natomiast podane badaniom tryskacze wytwarzały krople wielkości 1000, 1750 oraz 2000  $\mu\text{m}$ . W każdym z sześciu przypadków została wykonana kompleksowa analiza temperatury, prędkości, poziomu wilgotności względnej oraz poziomu stężenia tlenu. Stwierdzono, że w instalacjach mgłowych głównym mechanizmem gaszenia jest utajone chłodzenie, przemieszczanie objętościowe oraz rozcieńczanie tlenu i paliwa przez parowanie, które łatwiej osiągnąć przy użyciu małych kropełek wody. W odniesieniu do kropeł generowanych przez tryskacze, bezpośrednie usuwanie ciepła z obszaru płomienia odgrywa najważniejszą rolę w tłumieniu pożaru, podczas gdy efekt parowania ma mało istotny udział w tłumieniu pożaru. Badania wykazały, że w tych samych warunkach systemy mgłowe mają lepszą wydajność, jeśli chodzi o czas tłumienia. Sugerują także, że mgła wodna powoduje wyższy poziom wilgotności względnej niż tryskacze, co sprawia, że środowisko pożaru jest mniej odpowiednie do podtrzymania ognia oraz ponownego zapłonu. Porównując trzy różne wielkości kropli, stwierdzono, że 100  $\mu\text{m}$  jest najbardziej efektywnym rozmiarem skracającym o 4,26% czas tłumienia w porównaniu z wielkością 300  $\mu\text{m}$ , natomiast 200  $\mu\text{m}$  redukuje go o 11,9%. Analizując czasowe stężenie  $\text{O}_2$ , okazuje się, że pole przepływu w sąsiedztwie pożaru jest bardziej stabilne przy użyciu dysz mgłowych niż tryskaczy. Z badania wynika, że różnica między wybraną kroplą w systemie mgłowym nie jest znaczna, więc dążenie do ekstremalnych kropełek może nie być konieczne. Z drugiej strony, w systemach tryskaczowych różnica w gaszeniu w zależności od wielkości kropli jest duża, dlatego aby poprawić ogólną wydajność systemu, ważne jest właściwe zastosowanie odpowiedniego tryskacza.

## Opis badań

**Przedmiotem badań** był mgłowy niskociśnieniowy rozpylacz wirowy z zawirowywaczem w kształcie X zamontowanym w komorze wirowej o długości 22 mm. Współczynnik wypływu  $K$  badanej dyszy wynosi 2,5. Celem badania był pomiar jego widma rozpylenia. Otrzymane wyniki pozwoliły określić charakterystykę gaśniczą badanej dyszy wirowej, a także jej skuteczność. Badanie zostało przeprowadzone za pomocą analizatora wielkości i kształtu kropeł AWKD. Widmo rozpylenia dyszy mgłowej zostało zmierzone przy ciśnieniu 0,4, 0,6 oraz 0,8 MPa.

**Opis stanowiska badawczego.** Badanie przeprowadzono w pomieszczeniu laboratoryjnym o wymiarach 5 m (długość) x 7 m (szerokość) x 2,85 m (wysokość). Schemat stanowiska pomiarowego pokazano na rysunku 2. Rozpylacz montowany był na wysokości 2,3 m ponad analizatorem.

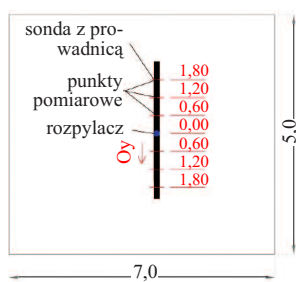


1 – zawór kulowy DN25 nr 1; 2 – pompa zasilająca; 3 – zbiornik wody; 4 – zawór kulowy DN25 nr 2; 5 – dysza mgłowa DMO; 6 – sonda; 7 – wlot sondy; 8 – kabel sterujący; 9 – elektroniczny blok pomiarowy EBP; 10 – komputer

**Rys. 2. Schemat stanowiska pomiarowego**

*Fig. 2. Scheme of the measuring stand*

**Procedura badawcza.** Pomiar widma rozpylenia przeprowadzono w temperaturze 18°C i przy wilgotności 55%. Wykonywano je wzdłuż osi Oy pola zraszania, przesuwając sondę co 0,3 m i wykonując je w siedmiu punktach pomiarowych na odcinku o długości 1,8 m (rysunek 3).



**Rys. 3. Widok z góry stanowiska badawczego z punktami pomiarowymi**

*Fig. 3. Top view of the test stand with measuring points*

**Wyniki badań i ich analiza**

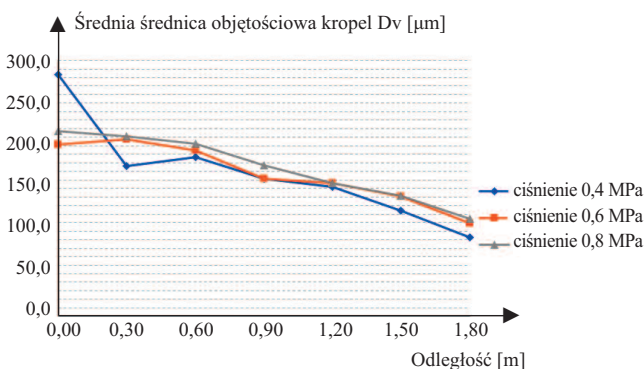
Do opisanie wyników oraz ich analizy wykorzystano określone przez program AWK D średnie średnice objętościowe kropeł  $D_v$ , które są uznawane za najbardziej miarodajne w przypadku analizy skuteczności gaśniczej [15].

W tabeli przedstawiono uzyskane wielkości kropeł w punktach pomiarowych przy poszczególnych wartościach ciśnienia. Na rysunku 4 pokazano rozkład średnich średnic objętościowych kropeł  $D_v$  wzdłuż osi Oy dla promienia 0,0; 0,3; 0,6; 0,9; 1,2; 1,5 i 1,8 m. Wynika z niego, że we wszystkich punktach pomiarowych, przy każdym ciśnieniu, rozkład  $D_v$  jest bardzo podobny. Różnice nie przekraczają 20  $\mu\text{m}$ . Można przyjąć, że wraz ze wzrostem ciśnienia, w każdym z punktów pomiarowych zwiększa się średnia średnica objętościowa  $D_v$ . Największe średnie średnice ob-

**Średnia średnica objętościowa kropeł przy ciśnieniu 0,4, 0,6 i 0,8 MPa**

*Mean volume diameter of the nozzle droplets at 0.4, 0.6 and 0.8 MPa*

Odległość [m]	Średnia średnica objętościowa kropeł $D_v$ [ $\mu\text{m}$ ] przy ciśnieniu:		
	0,4 MPa	0,6 MPa	0,8 MPa
0,00	283,4	201,7	217,4
0,30	176,6	208,0	210,9
0,60	186,8	194,6	202,5
0,90	161,2	161,2	177,6
1,20	152,0	156,7	156,7
1,50	124,2	140,7	141,4
1,80	92,7	109,1	114,1



**Rys. 4. Rozkład średnich średnic objętościowych kropeł  $D_v$  przy ciśnieniu 0,4, 0,6, 0,8 MPa**

*Fig. 4. Radial distributions of the mean volume diameters of the droplets  $D_v$  at 0.4, 0.6 and 0.8 MPa*

jętościowe są osiągane przy ciśnieniu 0,8 MPa, natomiast maksimum  $D_v$ , równe 283,4  $\mu\text{m}$ , zostało odnotowane w punkcie 0,0 przy ciśnieniu 0,4 MPa. Następnie gwałtownie zmniejszyło się do wartości 176,6  $\mu\text{m}$  w odległości 0,3 m od dyszy. Wraz z dalszym wzrostem odległości od dyszy spadek  $D_v$  jest znacznie wolniejszy i jej najmniejszą wartość 92,7  $\mu\text{m}$  osiąga przy ciśnieniu 0,4 MPa w odległości 1,8 m. W odległości 1,20 m od dyszy wartość  $D_v$  przy ciśnieniu 0,6 i 0,8 MPa jest jednakowa i wynosi 156,7  $\mu\text{m}$ . Co więcej, w odległości 0,90 m od rozpylacza, średnia średnica kropli równa się 161,2  $\mu\text{m}$  i jest taka sama przy ciśnieniu 0,4 i 0,6 MPa. W przypadku ciśnienia 0,6 MPa rozkład wartości  $D_v$  znajduje się w przedziale od 109,1 do 201,7  $\mu\text{m}$  (minimalna wartość w punkcie 1,8 m). Rozkład wielkości kropeł uzyskany przy ciśnieniu 0,8 MPa jest równomierny – maksymalna wartość 217,4  $\mu\text{m}$  jest w punkcie 0,0 m, a wartość minimalna równa 114,1 w odległości 1,8 m od dyszy.

Chcąc przeprowadzić dokładniejszą analizę uzyskanych wyników, wyznaczono wartość całkowitej średniej średnicy kropeł  $\overline{D_v}$ , która jest stosunkiem sumy średnich średnic objętościowych w każdym punkcie pomiarowym do 21 punktów pomiarowych oraz odchylenie standardowe  $\sigma_{D_v}$  średniej średnicy objętościowej kropeł.

Całkowitą średnią średnicę objętościową kropeł  $\overline{D_v}$  wyraża się wzorem [ $\mu\text{m}$ ]

$$\overline{D_v} = \left( \sum_{i=1}^n D_{v_i} \right) / n \quad (1)$$

gdzie:

$n$  – liczba punktów pomiarowych równa 21.

Obliczona na podstawie uzyskanych wyników wartość  $\overline{D_v}$  wynosi 170  $\mu\text{m}$ . W następnym kroku wyznaczono odchylenie standardowe średniej średnicy objętościowej kropeł  $\sigma_{D_v}$  w  $\mu\text{m}$  (2):

$$\sigma_{D_v} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (D_{v_i} - \overline{D_v})^2 / n} \quad (2)$$

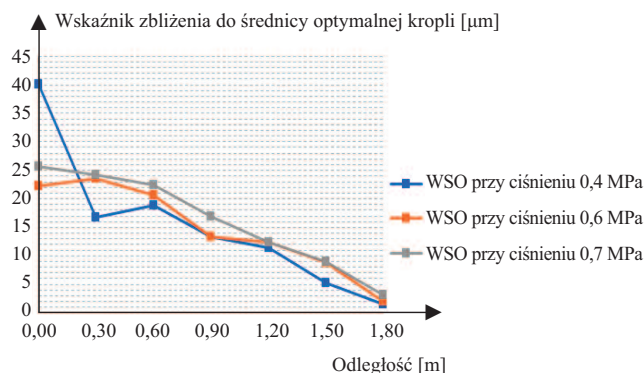
Odchylenie standardowe w przypadku całego rozpatrywanego obszaru wynosi ok. 41  $\mu\text{m}$ . Określono także wskaźnik zbliżenia do średnicy optymalnej WSO w  $\mu\text{m}$  (3):

$$WSO = \sqrt{\sum_{i=1}^n (D_{v_i} - D_{v_{opt}})^2 / n} \quad (3)$$

gdzie:

$D_{v_{opt}}$  – założona na podstawie dostępnej literatury [9] średnia średnica objętościowa kropli optymalna z punktu widzenia efektywności gaśniczej równa 100  $\mu\text{m}$ .

Przedstawiony w równaniu (3) wskaźnik WSO określa, w jakim stopniu zmierzone średnice zbliżone są do wartości przyjętej za optymalną pod względem efektywności gaśniczej. Wartość WSO dla całego badanego obszaru wynosi ok. 82  $\mu\text{m}$ . Przeprowadzając analizę rozkładu wartości tego wskaźnika, można zauważyć, że najbardziej zbliżone do optymalnych średnic kropeł otrzymano w punkcie pomiarowym 1,8 m – średnie WSO = 2  $\mu\text{m}$ , a najmniej zbliżone – osiowo pod dyszą mgłową w punkcie 0,0, gdzie średnie WSO = 29  $\mu\text{m}$ . Analizując rysunek 5, stwierdzono, że WSO maleje wraz z odległością od dyszy, a więc krople generowane przez rozpylacz mgłowy po



**Rys. 5. Rozkład wskaźnika zbliżenia do średnicy optymalnej kropli WSO przy różnym ciśnieniu**

Fig. 5. Distribution of the proximity indicator WSO to the optimal diameter of drops depending on the pressure

zewnątrznej stronie okręgu zbliżone są do optymalnych pod względem efektywności gaśniczej. Uzyskana w pomiarach całkowita średnica objętościowa kropli  $\bar{D}_v$  wyniosła 170  $\mu\text{m}$ .

### Podsumowanie i wnioski

Na podstawie otrzymanych wyników badań niskociśnieniowej wirowej dyszy mgłowej stwierdzono, że generuje ona krople mniejsze niż 300  $\mu\text{m}$ , a więc klasyfikuje się do zastosowania w stałych urządzeniach gaśniczych mgłowych, służących do gaszenia i ograniczenia rozwoju pożaru. W przeprowadzonych badaniach uzyskano równomierny rozkład średniej średnicy objętościowej kropli ( $D_v$ ) oraz zbliżone wartości  $D_v$  w tych samych punktach pomiarowych, przy różnym ciśnieniu pracy układu zasilającego.

Zaobserwowano spadek  $D_v$  oraz WSO wraz ze wzrostem odległości od osi dyszy, co sugeruje, iż w celu zapewnienia największej skuteczności gaśniczej należy odpowiednio dobrać rozstaw dysz podczas ich projektowania i montażu. Wskaźnik WSO badanej dyszy przyjmuje najmniejszą wartość w przypadku promienia  $r = 1,8$  m, co oznacza, że w tej odległości od osi dyszy mgłowej wielkość kropli jest najbardziej zbliżona do założonych wielkości optymalnych z punktu widzenia efektywności gaśniczej.

Projektując instalację mgłową z badaną dyszą, przy założonej wysokości montażu 2,3 m, zaleca się rozmieszczanie dysz w odległości 1,8 m od siebie. W przypadku innych dysz należy przeprowadzić podobne badania i na ich podstawie określić maksymalną projektową wysokość montażu dysz oraz ich optymalny rozstaw. Uzyskana w pomiarach całkowita średnica objętościowa kropli  $\bar{D}_v$  wyniosła 170  $\mu\text{m}$  i była zbliżona (w stosunku do kropli generowanych przez tryskacze, większych niż 1000  $\mu\text{m}$ ) do założonej wcześniej średnicy optymalnej z punktu widzenia efektywności gaśniczej, wskazanej przez Liu, jako 100  $\mu\text{m}$  [9].

Jednocześnie, odnosząc się do opisanych przez Liu mechanizmów gaszenia [9], stwierdzono, że efekt gaśniczy, w przypadku zastosowania badanej dyszy mgłowej, będzie osiąganý głównie przez obniżenie stężenia tlenu, w wyniku wyparcia przez parę wodną, a czas niezbędny do ugaszenia pożaru będzie krótszy niż w przypadku zastosowania instalacji tryskaczowej.

### Literatura

- [1] Sowa T. Analiza porównawcza Stałych Urządzeń Gaśniczych – część I. Kwart. CNBOP Bezpieczeństwo i Tech. Pożarnicza. 2008; 4.
- [2] PN-EN 12845 +A2 Stałe urządzenia gaśnicze. Automatyczne urządzenia tryskaczowe. Projektowanie, instalowanie i konserwacja. 2015, p. 12845, 2015.
- [3] NFPA 13:2016. Standard for the Installation of Sprinkler Systems, National Fire Protection Association.
- [4] VdS CEA 4001:2010 Sprinkleranlagen. Planung und Einbau.
- [5] Seweryn J. Zastosowanie Stałych Urządzeń Gaśniczych mgłowych do ochrony obiektów zabytkowych. Konferencja Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwożarowej. Józefów, 2011.
- [6] Grant DD. The suppression and extinction of class 'A' fire using water sprays. FRDG. 1997.
- [7] Grimwood P, Desmet K. Tactical Firefighting. A Comprehensive Guide to Compartment Firefighting & Fire Training. version 1.1 Firetactics, Cemac. 2003.
- [8] Tuomisaari M. Suppression of Compartment Fires with a Small Amount of Water. Finland, 1995.
- [9] Liu H et al. Critical assessment on operating water droplet sizes for fire sprinkler and water mist systems. J. Build. Eng. 2020; doi: 10.1016/j.job.2019.100999.
- [10] Zhu N. Review on water mist fire suppression system. Int. J. Eng. Performance-Based Fire Codes. 2003; 5: 4.
- [11] Roguski J, Czerwieńko D. Wybrane aspekty stosowania w obiektach budowlanych urządzeń gaśniczych na mgłę wodną. 2012.
- [12] Mawhinney JR, Długogorski BZ, Kim AK. A Closer Look at the Fire Extinguishing Properties of Water Mist, Fire Safety Science – Proceedings of Fourth International Symposium, 1994, pp. 47-60, p. 1994, 1994.
- [13] Yinshui L, Zhuo J, Dan W, Xiaohui L. Experimental research on the water mist fire suppression performance in an enclosed space by changing the characteristics of nozzles, vol. 52, pp. 174–181, 2014, doi: 10.1016/j.expthermfluci.2013.09.008.
- [14] Zhu P, Wang X. Numerical Study on the Effects of Ambient Air Pressure on Water Mist Characteristics. Phys. Procedia. 2015; doi: 10.1016/j.egypro.2015.02.005.
- [15] Zbrożek JP. Wpływ wielkości średnicy kropli mgły wodnej na efektywność tłumienia pożarów i chłodzenie. Bezpieczeństwo i Tech. Pożarnicza (Safety Fire Tech. – Kwart. CNBOP, 2009.
- [16] Santangelo PE, Jacobs BC, Ren N, Sheffell JA, Corn ML, Marshall AW. Suppression effectiveness of water-mist sprays on accelerated wood-crib fires. 2014; doi: 10.1016/j.firesaf.2014.08.012.
- [17] Grant G, Brenton J, Drysdale D. Fire suppression by water sprays. 2000; 26: 79 – 130.
- [18] Yang L, Zhao J. Fire Extinct Experiments with Water Mist by Adding Additives. 2011; doi: 10.1007/s11630-011-0511-4.
- [19] Gałaj M. Badanie własności strumienia rozpylonego generowanego przez prądownicę wodną z głowicą mgłową. Tech. Transp. Szyn. 2010: 889 – 900.
- [20] Li Z, Kim AK. Review of water mist fire suppression systems – fundamental studies. J. Fire Prot. Eng. 2000; doi: 10.1177/104239159901000303.
- [21] EN 14972-1:2020: Fixed firefighting systems. Water mist systems. Part 1: Design, installation, inspection and maintenance, no. 99039328, 2021.
- [22] Santangelo PE, Tarozzi L, Tartarini P. Full-Scale Experiments of Fire Control and Suppression in Enclosed Car Parks: A Comparison Between Sprinkler and Water-Mist Systems. Fire Technology. 2016; doi: 10.1007/s10694-016-0569-3.
- [23] NFPA 750, Standard on Water Mist Fire Protection Systems. 2015.
- [24] Yule AJ, Eereaut PR, Ungut A. Droplet Sizes and Velocities in Vaporising Sprays. Combust. Flame. 1983; 54: 15 – 22.
- [25] Yao C, Kalelkar AS. Effect of Droplet Size on Sprinkler Performance. FMRC Fire Technol. 1970; 6: 1970.
- [26] Schremmer U. The water mist technique – possibilities and limits of application. Fixed firefighting equipment. 4th National Conference, Józefów 2004, Poland. 2004.
- [27] Orzechowski Z, Prywer J. Rozpylanie cieczy. Warszawa, 1991.
- [28] Orzechowski Z, Prywer J. Wytwarzanie i zastosowanie rozpylonej cieczy. Warszawa, 2008.
- [29] Zielińska A. Badanie rozkładu kropli w strumieniu rozpylonym, Praca magisterska SGSP. Warszawa, 2004.

Przyjęto do druku: 22.06.2022 r.