



Jerzy GAŁAJ, Michał MASTERNAK

BADANIE WŁASNOŚCI STRUMIENIA ROZPYLONEGO GENEROWANEGO PRZEZ PRĄDOWNICĘ WODNĄ Z GŁOWICĄ MGŁOWĄ

Streszczenie

Celem pracy było zbadanie własności strumienia rozpylonego generowanego przez nowoczesną prądownicę wodną Turbo Twist z zamontowaną głowicą mgłową. Przedstawiono ogólną charakterystykę badanej prądownicy i omówiono stanowisko oraz zastosowaną metodę pomiarową. Zaprezentowano otrzymane wyniki w postaci rozkładów średnich kropeł i intensywności zraszania, które mają istotny wpływ na efektywność gaszenia pożarów. Podano również sposób wyznaczania oraz wartości wskaźników charakteryzujących jakość otrzymanego strumienia. Na końcu zamieszczono wnioski sformułowane na podstawie otrzymanych wyników.

WSTĘP

Rozpylona ciecz znajduje powszechne zastosowanie niemal we wszystkich dziedzinach gospodarki, takich jak energetyka, przemysł maszynowy, ochrona środowiska, gospodarka rolna, leśna i inne. Szerokie spektrum zastosowania prądy rozproszone znalazły również w ochronie przeciwpożarowej. Wykorzystuje się je w instalacjach przeciwpożarowych (tryskaczowych i zraszaczowych), jak również w działaniach ratowniczo – gaśniczych prowadzonych przez jednostki Państwowej Straży Pożarnej [1,6,7,8,9,10,24].

Od najdawniejszych czasów woda stanowi podstawowy i najczęściej stosowany środek gaśniczy. Wynika to z jej właściwości fizyko-chemicznych takich jak wysokie ciepło właściwe oraz największe ciepło parowania spośród wszystkich cieczy. Dzięki tym właściwościom efekt chłodzenia i odbierania ciepła z pożaru jest niewspółmiernie wysoki w stosunku do innych środków gaśniczych [1,8,9,10,19]. Dodatkowo działa ona rozcieńczająco na pożar obniżając stężenie tlenu w strefie spalania (z jednego litra wody powstaje 17.000 l pary) [20]. Duży efekt gaśniczy można uzyskać wprowadzając do ognia wodę pod dużym ciśnieniem (zdmuchnięcie płomienia). Ważnym czynnikiem jest również powszechność jej występowania oraz brak zagrożenia dla środowiska naturalnego. Niemniej jednak efektywność gaśnicza wody zależy od wielu czynników, np. sposobu jej podania do źródła pożaru. Na podstawie wielu badań i doświadczeń wykazano, że stopień rozpylenia strugi wody ma ogromny wpływ na skuteczność prowadzonych działań gaśniczych. Oczywiście poza zaletami posiada ona także wady. Woda wchodzi w reakcje z niektórymi substancjami, w wyniku czego mogą powstać palne i wybuchowe gazy lub też wydzielć się duża ilość ciepła. W taki sposób reaguje np. sól, potas, wapń, które pod wpływem wody zapalając się wydzielają wodór tworzący mieszaninę wybuchową [22]. Kolejną wadą wody jest trudność gaszenia materiałów palnych, które są lżejsze od niej i nie rozpuszczają się pod jej wpływem.

Są to m.in. benzyna, ropa, nafta itp. Zetknięcie wody z kwasami takimi jak: siarkowy, azotowy, solny sprzyja wydzielaniu dużych ilości ciepła. Dlatego też kierowanie strumienia wody na powierzchnię kwasu jest niedopuszczalne. Woda jest także dobrym przewodnikiem prądu, dlatego gaszenie nią w obrębie urządzeń elektrycznych jest wysoce niebezpieczne. W tym wypadku używa się najczęściej gaśniczy śniegowej lub proszkowej. Stosuje się również stałe urządzenia gaśnicze gazowe np. na dwutlenek węgla lub w ostateczności instalacje mgłowe generujące krople wody o bardzo małej średnicy (tzw. mgła wodna).

Wodę w ochronie przeciwpożarowej stosuje się w dwóch postaciach [1]:

- a) prądy zwarte,
- b) prądy rozproszone, które dzielą się na kropliste (wielkość kropeł rzędu od 1mm do 3mm) i mgłowe (wielkość kropeł rzędu od 0,1mm do 1mm).

Coraz bardziej naukowe i inżynierskie podejście do pożarnictwa powoduje zwiększenie tendencji ku stosowaniu prądów rozproszonych.

Uwarunkowane jest to m.in. tym że:

- a) rozdrobniona woda posiada większą powierzchnię właściwą potęgując efekt gaśniczy,
- b) podawanie wody w sposób rozproszony na płomień powoduje szybkie jej odparowanie, a więc skuteczniejsze pochłonięcie i odprowadzenie ciepła z pożaru,
- c) duże ilości pary wodnej działają rozcieńczająco na pożar obniżając stężenie tlenu w strefie spalania,
- d) zużywana jest mniejsza ilość wody potrzebna do ugaszenia pożaru – oszczędność i mniejsze straty popożarowe.

Coraz powszechniejsze stosowanie prądów rozproszonych rodzi także problem co do wielkości kropeł dających najlepsze efekty gaśnicze. Jednak nie można jednoznacznie stwierdzić i ujednoczyć wielkości kropeł, ponieważ jest ona zależna od rodzaju pożaru (grupa A, B, C). Im mniejsze są krople, tym prąd wody lepiej chłodzi strefę spalania. Jednak z drugiej strony przy zbyt małej średnicy kropeł istnieje coraz mniejsze prawdopodobieństwo dotarcia kropli do źródła. Za małe krople szybko odparowują i obniżają jedynie temperaturę strefy spalania. Istnieje kilka koncepcji optymalnej wielkości kropeł. W jednej z nich przyjęto średnią średnicę kropli równą 300 μm [19] jako idealną do chłodzenia fazy gazowej przy zastosowaniu strumienia rozproszonych. Natomiast Grant i Drysdale przyjęli jako najskuteczniejsze krople o średnicach pomiędzy 100, a 1000 μm [8]. Szwedzka i Fińska Rada Badań Pożarniczych uważa, iż krople o średniej średnicy 400 μm dają najlepszy efekt chłodzenia [19]. W niniejszej pracy przyjęto wartość 350 μm jako optymalną średnią średnicę kropeł.

Mechanizm rozpadu strumienia cieczy i powstawania kropeł został szczegółowo omówiony w pracach [16,17,18]. Własności strumienia rozpylonego dzieli się na parametry związane z jego makrostrukturą i mikrostrukturą. Do parametrów makro zaliczamy kąt rozpylenia i zasięg strugi. Charakteryzują one jej kształt zewnętrzny. Z kolei do parametrów mikro należą m.in.: średnie średnice kropeł i ich rozkład w płaszczyźnie poziomej zwany widmem rozpylenia, ich średnice minimalna i maksymalna oraz powierzchnia właściwa kropeł. Omówienie szczegółowe ww. parametrów można znaleźć w pracach [16,17,18,20].

Ze względu na wielorakość zastosowania strumieni rozproszonych prowadzone są ciągłe badania nad skutecznością ich działania. Prace nad nowymi technologiami trwają nieustannie w wielu ośrodkach badawczych między innymi w Szkole Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie i Centrum Naukowo Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej w Józefowie [2,3,4,5,6,13,16,20].

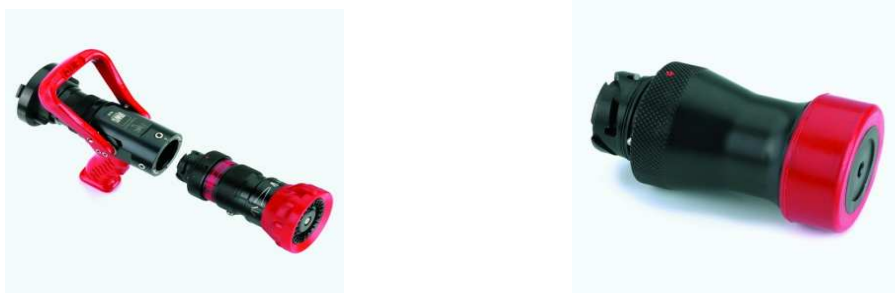
Strumienie rozpylone znajdują praktyczne zastosowanie przede wszystkim w prądownicach, które stanowią podstawowe narzędzie wykorzystywane przez strażaków podczas gaszenia pożarów [1]. Przedmiotem niniejszej pracy była prądownica Turbo-Twist

z głowicą mgłową. Głównym celem badań było określenie jej charakterystyki widma rozkładu promieniowo-obwodowego kropeł oraz intensywności zraszania strumienia rozpylonego, które nie wchodzi w zakres standardowych testów wykonywanych przez producenta sprzętu. Otrzymane wyniki pozwoliły określić efektywność gaśniczą badanej prądownicy jak również przydatność w ochronie przeciwpożarowej.

1. OPIS BADAŃ

1.1. Przedmiot badań

Przedmiotem badań była prądownica Turbo-Twist z głowicą mgłową pokazana na rys. 1. Posiada ona wymiary 200 x 111 x 272 mm i waży 1,760 kg (bez głowicy). Zasadniczą częścią tej prądownicy jest korpus z nasadą obrotową typu Storz 52 lub 75 z zaworem kulowym i specjalnej konstrukcji szybkozłączem przeznaczonym do montażu i demontażu nakładek roboczych. Jest to urządzenie wielofunkcyjne, do którego można dołączać 13 wymiennych głowic przeznaczonych do różnych zastosowań. Wymienne końcówki pozwalają jej używać jako prądownicy uniwersalnej, turbo, pianowej a nawet wytwornicy piany. Wszystkie głowice tego systemu są oznaczone literami TT. Omówienie dostępnych głowic można znaleźć w pracy [14] i na stronie internetowej [23]



Rys. 1. Widok prądownicy PWT 52 Turo Twist z głowicą standardową po lewej i widok głowicy mgłowej po prawej [16]

1.2. Opis metody pomiarowej

W przeprowadzonym badaniu charakterystyki rozpylonej strugi cieczy użyto analizatora widma kropeł (zwanego dalej systemem AWK) wyprodukowanego w Zakładzie Elektronicznej Aparatury Pomiarowej KAMIKA w Warszawie [12]. Jest on przyrządem służącym do automatycznego pomiaru wymiarów cząstek stałych i ciekłych w powietrzu niezależnie od ich właściwości fizycznych i chemicznych. Głównymi elementami systemu pomiarowego są: fotoelektryczny analizator widma kropeł (AWK) składający się z sondy i przetwornika oraz komputera ze specjalną kartą oraz zainstalowanym oprogramowaniem przeznaczonym do rejestracji i wstępnej obróbki danych pomiarowych [20]. Przestrzeń pomiarowa sondy jest ukształtowana przez układ optyczny, do którego z nadajnika emitowane jest światło w zakresie podczerwieni. Analizowane cząstki poruszające się w ośrodku powietrza lub cieczy, wlatując w obszar przestrzeni pomiarowej, na skutek zjawiska rozproszenia, powodują osłabienie strumienia świetlnego odbieranego przez fotodiode. Każdej kropli odpowiada uformowany przez specjalny układ elektroniczny impuls elektryczny, którego amplituda jest proporcjonalna do jej wielkości. Po dokonaniu analizy jego kształtu i wielkości w momencie wykrycia maksimum jest uruchamiany przetwornik analogowo-cyfrowy. Gdy średnica obiektu mieści się w wymaganej tolerancji, jest on rejestrowany w programie AWK. Eliminuje się w ten sposób pomiary zniekształcone przez koincydencje mikro obiektów przechodzących przez sondę. Amplituda ta po kalibracji

sferycznej lub sitowej wyraża średnicę cząstki znajdującej się aktualnie w przestrzeni pomiarowej. Zmiany strumienia rejestrowane są przez komputer, który przedstawia je w postaci statystycznych parametrów zbioru a także określonych właściwości cząstek. W przeprowadzonym badaniu jest to średnia średnica objętościowa, ilość kropeł i czas pomiaru.

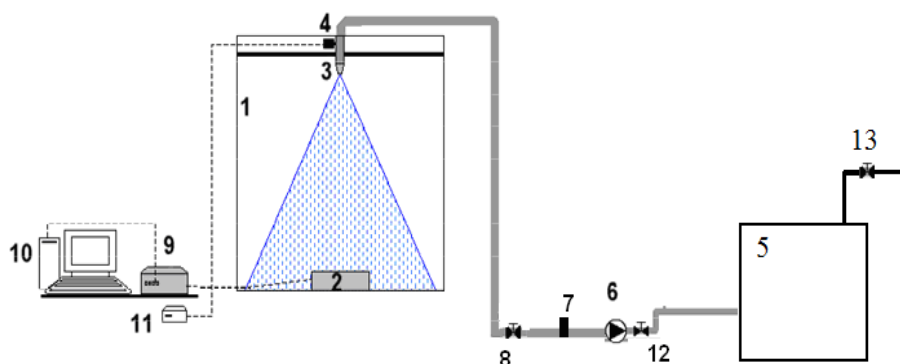
Urządzenie posiada liczniki zliczające równoległe ilość zmierzonych mikro obiektów i sumę amplitud, co pozwala po pomiarze na określenie bezpośrednio średniej arytmetycznej wielkości zmierzonego zbioru elementów. Dzięki możliwości współpracy z komputerem wyniki badań można otrzymać w postaci wykresów i tabel bezpośrednio po pomiarach. Analizator AWK daje możliwość wyznaczenia średnich średnic kropeł oraz ich rozkładu w przedziale od 13 do 3000 μm [12]. Maksymalny całkowity błąd pomiarowy systemu AWK wynosi 2,5%.

Głównymi argumentami, które zdecydowały o wyborze tego typu urządzenia do przeprowadzenia badań były:

- a) krótki czas pomiaru,
- b) stosunkowo niska pracochłonność przy przygotowaniu stanowiska i wykonywaniu pomiarów,
- c) wysoka dokładność i powtarzalność pomiarów,
- d) przydatność do pomiarów technicznych,
- e) otrzymywanie bezpośrednio po pomiarze wyników w postaci tabel i wykresów,
- f) szeroki zakres pomiarowy (od 13 do 3000 μm),
- g) możliwość rejestrowania wyników pomiaru w postaci tabelarycznej i wykresów,
- h) możliwość eksportu danych do innych programów np. typu MS Excel.

1.3. Opis stanowiska badawczego

Stanowisko badawcze znajduje się w laboratorium hydromechaniki w SGSP. Przeprowadzano na nim już szereg badań, które zostały omówione w pracach [2,3,4,5,6,13,16,20]. Schemat stanowiska badawczego został pokazany na rys. 2.



Rys. 2. Schemat stanowiska pomiarowego [20]

Objaśnienia do rys. 2 :

- 1 - komora pomiarowa
- 2 - sonda AWK
- 3 - badana prądownica
- 4 - czujnik ciśnienia
- 5 - zbiornik wody

- 6 - układ pomp zasilających
- 7 - przepływomierz
- 8 - zawór kulowy
- 9 - analizator AWK
- 10 - komputer typu PC
- 11 - pulpit czujnika ciśnienia
- 12 - zawór kulowy otwierający i zamykający układ pomiarowy
- 13 - zawór do zewnętrznego zasilania w wodę

Głównym elementem stanowiska badawczego jest komora pomiarowa (1) ze ścianami przezroczystymi wykonanymi z pleksi o wymiarach 2x1,5x2,8 m. Badana prądownica (3) umieszczona jest na wysokości 247 cm. Zasilana jest przez zestaw wysokociśnieniowych, wielostopniowych pomp firmy Grundfos CR 3 (6). Tuż przed prądownicą Turbo-Twist znajduje się tensometryczny czujnik ciśnienia CL1 (4) połączony z przetwornikiem C300, na którym można odczytać wartość ciśnienia. Rozpylony strumień analizowany jest przez sondę AWK o średnicy otworu wlotowego o powierzchni $F=254 \text{ mm}^2$ (2). Sonda umieszczona jest na specjalnym stelażu o wysokości 66 cm nad podłogą komory pomiarowej w celu zminimalizowania błędów pomiarów spowodowanego odbijaniem się kropelek od powierzchni posadzki. Dane z sondy przekazywane są poprzez analizator AWK (9) do komputera klasy PC (10) z wbudowaną kartą pomiarową systemu AWK.

Na rysunkach 3-6 przedstawiono fotografie komory pomiarowej i poszczególnych elementów stanowiska.



Rys. 3. Widok komory pomiarowej [16]



Rys. 4. Widok prądownicy Turbo Twist [16]



Rys. 5. Widok zestawu pomp z hydroforem [16]



Rys. 6. Widok sondy AWK [16]

1.4. Procedura badawcza i błędy pomiarowe

Pomiary właściwości strumienia rozpylonego wykonywane były w 25 punktach pomiarowych. Miejsca pomiaru wyznaczały promienie okręgów umieszczonych współosiowo z osią prądownicy. Punkty pomiarowe były położone na dwóch prostopadłych osiach: O_x (kąty 0° i 180°) w odległościach $r = 10\text{cm}, 20\text{cm}, 30\text{cm}, 40\text{cm}, 50\text{cm}, 60\text{cm}$ i 70cm i O_y (kąty 90° i 270°) w odległościach $r = 10\text{cm}, 20\text{cm}, 30\text{cm}, 40\text{cm}$ i 50cm licząc od osi dyszy. Pomiary były dokonywane po obydwu stronach dyszy. Badania prądownicy odbywały się przy stabilizowanym ciśnieniu równym $0,5\text{ MPa}$. Sonda pomiarowa rozpoczynała pomiar po uruchomieniu zapisu w programie przy pomocy przycisku START i kończyła go automatycznie po zliczeniu 100000 kropeł (ustawiony parametr w programie).

Badania zostały wykonywane według następującego algorytmu postępowania:

1. Włączenie komputera oraz analizatora AWK.
2. Ustawienie odpowiednich parametrów pomiaru w programie AWK.
3. Uruchomienie pomp zasilających prądownicę.
4. Ustawienie sondy w odpowiednim punkcie pomiarowym.
5. Otworzenie zaworu kulowego zasilającego układ.
6. Uruchomienie programu komputerowego (poprzez przycisk Start), rozpoczęcie pomiaru.
7. Zakończenie pomiaru, zapisanie wyników (automatycznie po zliczeniu 100 000 kropeł).
8. Zamknięcie zaworu kulowego zasilającego układ.
9. Wykonanie czynności zapisanych w punktach 4-8 dla wszystkich 25 punktów pomiarowych.
10. Zakończenie badania.

Do przedstawienia wyników i ich analizy korzystano ze zliczanych przez program AWK średnich średnic objętościowych kropeł D_v , które są najbardziej miarodajne w analizie skuteczności gaśniczej strumienia.

Wykonywane badania obarczone są błędami wynikającymi zarówno z niedoskonałości urządzeń pomiarowych jak i „czynnika ludzkiego”. Dlatego otrzymane wyniki nie oddają w pełni prawdziwych wartości wielkości mierzonych, lecz tylko ich przybliżoną wartość. Różnica między nimi określona jest mianem błędu bezwzględnego. Błąd bezwzględny określa jedynie różnicę między rzeczywistą wartością mierzonej wielkości a wartością przybliżoną otrzymaną z pomiaru. Do oceny dokładności przyrządów pomiarowych użytych podczas badań wykorzystano wartość błędu względnego. Główne błędy pomiarowe w przeprowadzonym badaniu będą dotyczyły wartości średniej średnicy objętościowej. Jak wykazano w poprzednich pracach badawczych bazujących na sondzie AWK [12] wartość błędu względnego δ_{D_v} nie przekracza wartości $0,05\%$. Jest on niewielki i może być pominięty w dalszych analizach. Błąd w wartości D_v może powstać pośrednio również na skutek zakłóceń spowodowanych odbiciem kropli od ścian komory pomiarowej oraz jej posadzki, na której znajduje się sonda. Błąd ten został jednak zminimalizowany poprzez ustawienie sondy na specjalnym stelażu na wysokości 66 cm oraz zachowaniu odpowiedniej odległości od ścian komory pomiarowej. Rozmieszczenie punktów pomiarowych oraz ustawienie sondy według nich również obarczone jest błędem. Wymienione czynności wykonywano z dokładnością $0,5\text{ cm}$, co biorąc pod uwagę minimalną mierzoną odległość od osi równą 10 cm odpowiada w najgorszym przypadku błędowi względnemu nie przekraczającemu 5% .

2. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Jedną z najistotniejszych wielkości określających jakość rozpylenia cieczy jest średnia objętościowa średnica kropeł D_v [μm]. Dzięki Analizatorowi Widma Kropeł otrzymaliśmy tę wielkość w rozkładzie powierzchniowym wyliczoną indywidualnie dla każdego pomiaru.

Na potrzeby badań przyjęto zakres 2 badanych średnic pojedynczych kropeł odpowiadający przedziałowi od 13 μm do 600 μm podzielony na 16 przedziałów pomiarowych. Sposób obliczania D_v przez system AWK wyraża zależność (1):

$$D_v = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^m D_i^3 \cdot \Delta n_i}{N}} \quad (1)$$

gdzie:

D_v – średnia średnica objętościowa obliczona w badanym punkcie pomiarowym [μm],

D_{vi} – średnia średnica objętościowa dla i -tego przedziału pomiarowego [μm],

Δn_i – ilość kropeł, jaka znalazła się w i -tym przedziale długości średnic podczas pomiaru,

m – łączna ilość przedziałów pomiarowych na jaki podzielony został całkowity zakres badanych średnic (16),

N – całkowita ilość kropeł, jaka została zliczona podczas pomiaru równa 100 000.

Jednym z parametrów określających przydatność strumieni rozpylonych w ochronie przeciwpożarowej jest intensywność zraszania materiału palnego, czyli ilość wody, jaka pokryje daną powierzchnię w jednostce czasu. Za pomocą analizatora AWK można uzyskać pośrednio wartość intensywności zraszania prądownicy. Po zakończeniu badania wśród uzyskanych wyników otrzymywano m.in. wartość średniej średnicy objętościowej D_v oraz czas, w którym analizator AWK zarejestrował 100 000 kropeł. Intensywność zraszania I_z jest to wartość, której odpowiada objętości cieczy odniesionej do jednostki powierzchni, która zrasza punkt pomiarowy w jednostce czasu. Jako powierzchnię zraszania przyjęto powierzchnię otworu wlotowego sondy równą 254 mm^2 . Mając powyższe dane wartość intensywności zraszania obliczono z następującego wzoru [3]:

$$I_z = \frac{\pi \cdot D_v^3 \cdot N}{6 \cdot F \cdot t} \quad (2)$$

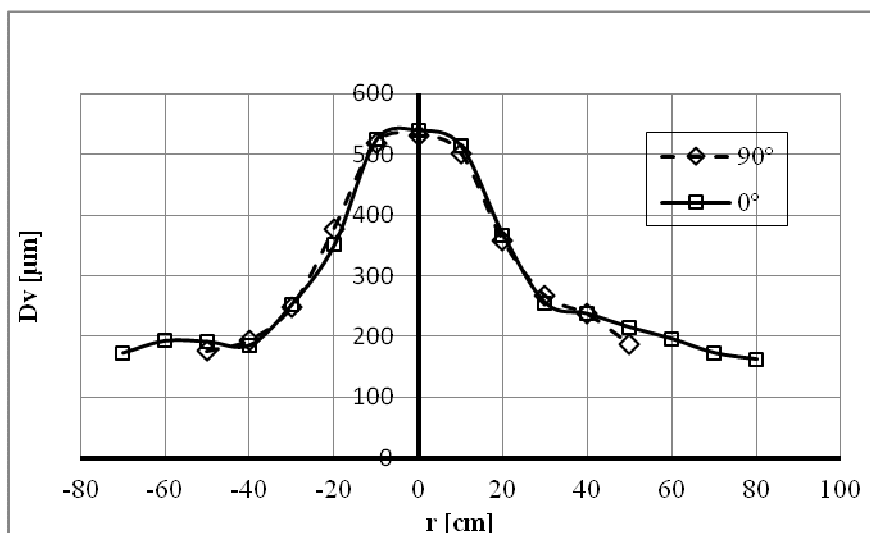
gdzie:

I_z – intensywność zraszania [mm/min],

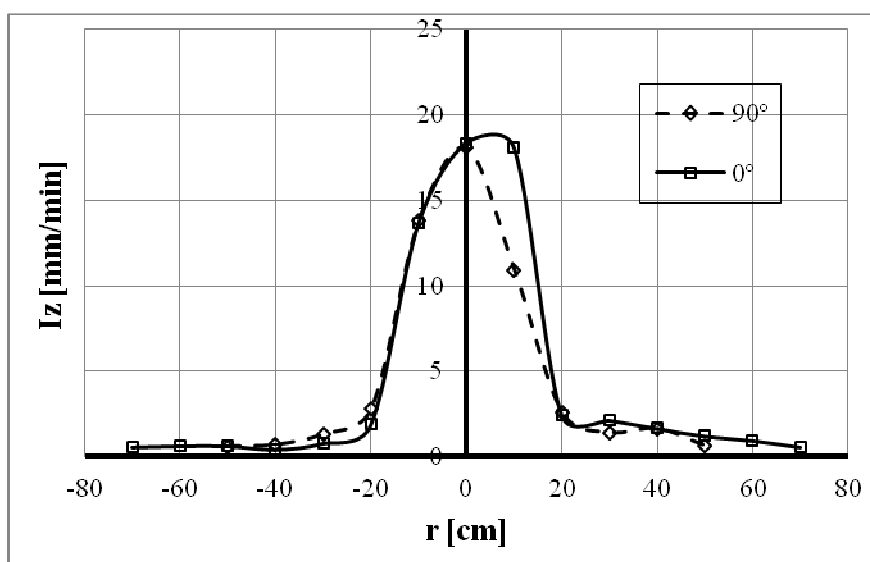
F – powierzchnia otworu wlotowego sondy równa 254 mm^2 ,

t – czas trwania pojedynczego eksperymentu [min].

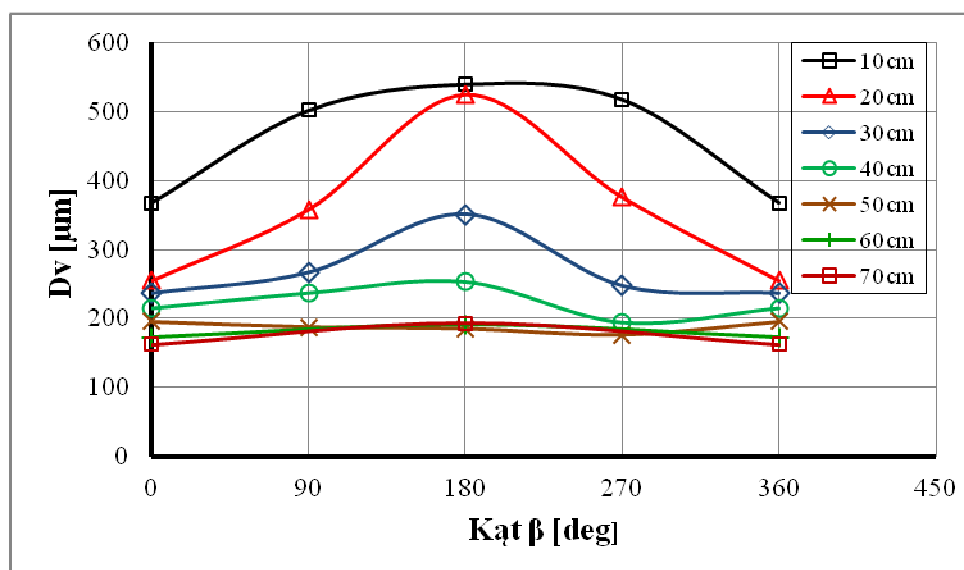
Wyznaczone na podstawie wzorów (1) i (2) wartości D_v i I_z we wspomnianych wcześniej punktach pomiarowych zamieszczono w tabelach, które można znaleźć w pracy [15]. W niniejszym opracowaniu na rys. 7 i 8 pokazano rozkłady promieniowe średniej objętościowej średnicy kropeł $D_v(r)$ i intensywności zraszania $I_z(r)$ wzdłuż osi Ox (kąty 0° i 180°) i osi Oy (kąty 90° i 270°), natomiast na rys. 9 i 10 rozkłady obwodowe tych samych wielkości dla promieni 10, 20, 30, 40, 50, 60 i 70 cm.



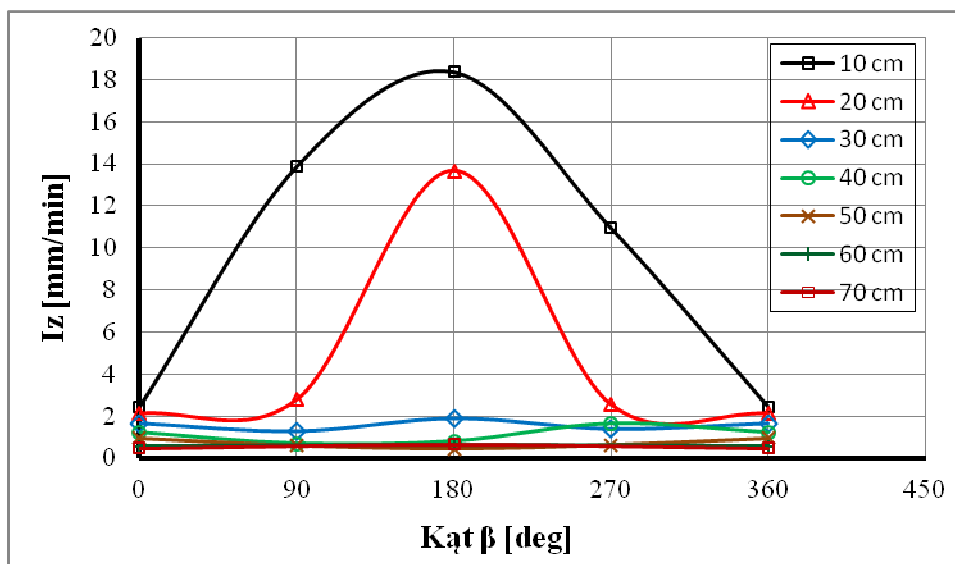
Rys. 7. Rozkłady promieniowe średnich objętościowych średnic kropeł wzdłuż osi Ox (0°) i Oy (90°)



Rys. 8. Rozkłady promieniowe intensywności zraszania wzdłuż osi Ox (0°) i Oy (90°)



Rys. 9. Rozkłady obwodowe średnich objętościowych średnic kropeł dla promieni 10, 20, 30, 40, 50, 60 i 70 cm



Rys. 10. Rozkłady obwodowe intensywności zraszania dla promieni 10, 20, 30, 40, 50, 60 i 70 cm

Z wykresów pokazanych na rys. 7 wynika, że przy ciśnieniu zasilania równym 0,5 MPa promieniowy rozkład wielkości kropeł wzdłuż osi O_x ($\beta = 0^\circ$) i $O_y(90^\circ)$ jest prawie identyczny. We wszystkich badanych rozkładach promieniowych D_v przyjmuje swoje maksimum równe około 540 μm w obszarze o promieniu około 10 cm liczonym od osi prądownicy. Średnia średnica objętościowa przyjmuje swoje minimum równe około 160 μm w odległości około 70 cm od osi prądownicy. Obydwa przebiegi są praktycznie symetryczne względem tej osi. Po przekroczeniu odległości 10 cm od osi średnia średnica objętościowa kropeł gwałtownie maleje osiągając w odległości ok. 30 cm od osi średnią wartość 250 μm . Wraz z dalszym wzrostem odległości spadek średniej średnicy jest już znacznie wolniejszy. W odległości 70 cm od osi dyszy przyjmuje ona wartość ok. 170 μm .

Dla ciśnienia zasilania 0,5 MPa intensywność zraszania I_z zawiera się w przedziale od 0,47 mm/min do 18,36 mm/min. Największa wartość, czyli 18,36 mm/min występuje na osi O_x w odległości około 10 cm od osi wylotowej prądownicy. Z przebiegu charakterystyk pokazanych na rys. 8 wynika, że intensywność zraszania gwałtownie maleje wraz ze wzrostem odległości od osi prądownicy. Począwszy od odległości ok. 30 cm jej spadek jest już znacznie wolniejszy. W zakresie od 30 do 50 cm jej wartość spada z ok. 1,5 mm/min do 0,47 mm/min. Jej rozkład promieniowy wzdłuż osi O_y jest w przybliżeniu symetryczny, natomiast w przypadku osi O_x występuje pewna niesymetria spowodowana większymi wartościami intensywności zraszania uzyskanymi po prawej stronie osi prądownicy.

Rozkład obwodowy wielkości kropeł (rys. 9) uzyskany przy ciśnieniu zasilania 0,5 MPa jest stosunkowo równomierny. Różnice między rozkładami wielkości kropeł na obwodach koła oddalonego o r od osi prądownicy wzdłuż osi O_y (kąty 90° i 270°) nie różnią się znacznie od siebie (maksymalna różnica nie przekracza 40 μm). W przypadku osi O_x (kąty 0° i 180°) różnice te są znacznie większe i np. w odległości 20 cm od osi: dla kąta 0° średnia średnica kropeł wynosi 255 μm , zaś dla kąta 180° , 525 μm . Jej największe wahania w rozkładzie obwodowym występują w obszarze o promieniu 40 cm. Dla promieni powyżej 40 cm rozkład jest równomierny (wykresy dla odległości 50, 60, 70, 80 cm praktycznie się pokrywają).

W rozkładzie obwodowym (rys. 10) przy ciśnieniu zasilania 0,5 MPa największą wartość intensywności zraszania równą 18,36 mm/min uzyskano na obwodzie o promieniu $r = 10$ cm. Jej największe różnice występują w odległości od 10 do 20 cm od osi prądownicy. Są to jednocześnie wartości najwyższe sięgające od 18,36 mm/min do ok. 1,5 mm/min. Dla

większych promieni intensywność zraszania na obwodzie stabilizuje się, a różnice między wartościami nie przekraczają 1 mm/min. Podobnie jak na rys. 9 również w tym przypadku można zaobserwować gwałtowny spadek wartości I_z w odległości od 0 cm do 30 cm od osi dyszy. Powyżej tej wartości intensywność zraszania kształtuje się na zbliżonym poziomie dla dowolnych kątów β .

W celu pełniejszej analizy uzyskanych rezultatów zdefiniowano i wyznaczono wartości następujących parametrów:

1. Całkowita średnia średnica objętościowa kropeł \overline{D}_v w μm

$$\overline{D}_v = \frac{\sum_{i=1}^n D_{vi}}{n} \quad (3)$$

gdzie:

n – liczba punktów pomiarowych równa 25,

Obliczona na podstawie uzyskanych wyników $\overline{D}_v = 312 \mu\text{m}$

2. Odchylenie standardowe średniej średnicy objętościowej kropeł σ_{Dv} w μm

$$\sigma_{Dv} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_{vi} - \overline{D}_v)^2}{n}} \quad (4)$$

Odchylenie standardowe dla całego rozpatrywanego obszaru wynosi około **142 μm** .

3. Wskaźnik zbliżenia do średnicy optymalnej **WSO** w μm

$$WSO = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_{vi} - D_{vopt})^2}{n}} \quad (5)$$

gdzie: D_{vopt} – założona na podstawie dostępnej literatury [9,10,11,19] średnia średnica objętościowa kropli optymalna z punktu widzenia efektywności gaśniczej równa 350 μm .

Parametr ten określa stopień zbliżenia zmierzonych średnic do wartości przyjętej za optymalną z punktu widzenia efektywności gaśniczej. Wartość **WSO** dla całego rozpatrywanego obszaru wynosi około **147 μm** . Analizując obwodowe rozkłady wartości tego wskaźnika $WSO=f(r)$, można stwierdzić, że najbardziej zbliżone do optymalnych średnice kropeł otrzymano w odległości około 30 cm od osi dyszy ($WSO=87 \mu\text{m}$), a najmniej zbliżone w odległości około 70 cm ($WSO=174 \mu\text{m}$).

4. Całkowita średnia intensywność zraszania \overline{I}_z w mm/min

$$\overline{I}_z = \frac{\sum_{i=1}^n I_{zi}}{n} \quad (6)$$

gdzie:

I_{zi} – średnia intensywność zraszania wyznaczona dla i-tego punktu pomiarowego [mm/min]

Na podstawie otrzymanych wartości intensywności zraszania średnia całkowita intensywność zraszania wyniosła: $\bar{I}_z = 5,19 \text{ mm/min}$

5. Wskaźnik nierównomierności zraszania **WNZ** w mm/min

$$WNZ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_{zi} - \bar{I}_z)^2}{n}} \quad (7)$$

Globalny wskaźnik nierównomierności zraszania równoważny w tym przypadku odchyleniu standardowemu określa rozrzut wartości intensywności dla całego rozpatrywanego obszaru. Wyniósł on **6,79 mm/min**. Analizując jego wartości wzdłuż promienia można stwierdzić, że najmniejsze wartości nie przekraczające 5 mm/min przyjmuje on w odległościach od 20 cm do 50 cm licząc od osi dyszy, a największe w osi dyszy (ponad 12 mm/min).

6. Wskaźnik asymetrii zraszania **WAZ** w mm/min

$$WAZ(\beta) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (I_{jp} - I_{jl})^2}{m}} \quad (8)$$

gdzie:

I_{jp} – wartość intensywności zraszania w j-tym punkcie pomiarowym znajdującym się na prawo od punktu centralnego [mm/min],

I_{jl} – wartość intensywności zraszania w j-tym punkcie pomiarowym znajdującym się na lewo od punktu centralnego [mm/min],

m – ilość wszystkich punktów pomiarowych położonych po jednej stronie punktu centralnego ($m=7$ dla osi Ox i $m=5$ dla osi Oy).

Dla osi Ox (kąty 0° i 180°) wartość wskaźnika asymetrii zraszania wyniosła 1,76 mm/min, a dla osi Oy (kąty 90° i 270°) jego wartość wyniosła 1,38 mm/min. Z punktu widzenia efektywności gaśniczej korzystne jest, aby przyjmował on jak najmniejszą wartość

WNIOSKI I PODSUMOWANIE

Na podstawie otrzymanych wyników badań prądownicy Turbo-Twist z głowicą mgłową oraz ich analizy sformułowano następujące wnioski:

1. Średnia średnica kropeł (D_v) strumienia rozproszonego maleje wraz ze wzrostem odległości od osi prądownicy. Największy spadek występuje w odległości od 0 do ok. 30-40 cm od osi dyszy prądownicy. Powyżej tych wartości średnia średnica kropeł przyjmuje wartości minimalne w stosunku do całego rozkładu rzędu ok. 200 μm . Należy zatem przyjąć, iż skuteczność gaśnicza powyżej 30-40 cm od osi prądownicy gwałtownie maleje. Znacznie obniża to również działanie izolujące strażaka - prądownika przed promieniowaniem cieplnym.
2. Całkowita średnia średnica kropeł wynosi 312 μm , a więc jest to wartość zbliżona do założonej wcześniej średnicy optymalnej równej 350 μm . Prądownica spełnia przyjęte uprzednio warunki. Należy się jednak zastanowić, czy przyjęta wartość optymalna D_v jest poprawna. Skuteczność gaśnicza uwarunkowana jest nie tylko średnią średnicą kropeł, ale również rodzajem palącego się materiału. W zależności od grupy pożaru oraz jego wielkości D_v może przyjmować on różne wartości optymalne.

3. Wskaźnik WSO przyjmuje najniższą wartość dla $r = 30$ cm, a więc w tej odległości od osi prądownicy wielkości kropel są najbardziej zbliżone do wielkości optymalnych.
4. Rozkład obwodowy średniej średnicy kropel jest stosunkowo równomierny. Największe wahania (ok. $250 \mu\text{m}$) średniej średnicy kropel D_v w rozkładzie obwodowym występują w odległościach do $r = 40$ cm od osi prądownicy. Dla promieni powyżej 40 cm rozkład obwodowy jest równomierny (wartości D_v praktycznie się pokrywają).
5. Intensywność zraszania prądownicy podobnie jak D_v maleje wraz ze wzrostem odległości od osi. Największy spadek występuje w odległości od 0 do ok. 20 cm od osi strumienia wylotowego. Powyżej tych wartości intensywność zraszania przyjmuje wartości minimalne w stosunku do całego rozkładu rzędu ok. 2 mm/min. Należy przyjąć, iż skuteczność gaśnicza w odległości powyżej 20 cm od osi prądownicy gwałtownie maleje.
6. Można przyjąć, że rozkład obwodowy intensywności zraszania jest stosunkowo równomierny zwłaszcza w odległości powyżej 20 cm od osi, gdzie wartości I_z praktycznie się pokrywają. Największe wahania (ok. 13 mm/min) I_z w rozkładzie obwodowym występują dla $r = 10$ cm oraz $r = 20$ cm.
7. Wskaźniki asymetrii zraszania WAZ dla obu osi przyjmują zbliżone wartości przekraczające 1 mm/min. Wynika to przede wszystkim z tego, że średnie wartości intensywności zraszania w tych samych odległościach od dyszy po jej prawej stronie nieco przewyższają te, które otrzymano po lewej stronie. Szczególnie wyraźnie jest to widoczne w przypadku punktów pomiarowych położonych na osi Ox .
8. Charakterystyki intensywności zraszania w promieniowym i obwodowym rozkładzie widma kropel są proporcjonalne do charakterystyk wielkości średnich średnic kropel w tych punktach. Przyjmują w tych samych punktach pomiarowych wielkości maksymalne i minimalne.
9. Na podstawie rozkładu promieniowego i obwodowego wartości D_v i I_z , a także średnich $I_{zr}(r)$ i $\overline{D}_v(r)$ stwierdzono, że największa skuteczności gaśnicza badanej prądownicy przypada na obszar położony w odległości od 0 do 30 cm od punktu centralnego (osi dyszy). W tej odległości występuje najlepsza intensywność zraszania (od ok. 3 mm/min do 18 mm/min.), a także optymalne wielkości kropel rzędu 200-500 μm . Dzięki temu wytworzony strumień w swoim obrebie działania będzie znacząco ograniczał proces rozprzestrzeniania się płomienia, a także chronił zabezpieczoną powierzchnię przed ewentualnym ciepłem dostarczanym z zewnątrz.

Podsumowując wszystkie dotychczasowe rozważania można jednoznacznie stwierdzić, iż prądownica Turbo-Twist z głowicą mgłową posiada największą skuteczność gaśniczą w odległości od ok. 0 do ok. 30 cm od osi. Powyżej tych wartości efektywność gaśnicza gwałtownie maleje. Wraz z nią maleje ochrona strażaka przed promieniowaniem ciepłym. Brak możliwości regulacji kąta rozproszenia oraz wydajności ogranicza zakres stosowania prądownicy w ochronie przeciwpożarowej. Turbo-Twist z głowicą mgłową generuje prądy rozproszone o stosunkowo optymalnych średnicach kropel (od 200 do 500 μm) i średniej intensywności zraszania przekraczającej 5 mm/min, co gwarantuje efektywne gaszenie pożarów. Prądy wody o takich średnicach kropel oraz intensywności zraszania znajdują zastosowanie przy gaszeniu pożarów małych oraz średnich.

INVESTIGATION OF SPRAY PROPERTIES GENERATED BY WATER NOZZLE WITH MIST HEAD

Abstract

Investigation of spray properties generated by high-tech water nozzle Turbo Twist with mist head was the main goal of this work. Tested nozzle as well as applied measuring stand and method are described. Results obtained during experiments such as mean diameter of droplets and sprinkling intensity along central axis, which have a significant influence on extinguishing effectiveness, are presented in graphical form. A method of calculation of indexes determining quality of the spray are also given. The conclusions formulated on the basis of the results obtained during tests are include at the end of this paper.

BIBLIOGRAFIA

1. Bielecki P., *Podstawy taktyki gaszenia pożarów*, Kraków 1996.
2. Gałaj, J., Kieliszek, S. *Badanie wpływu nadciśnienia na niektóre własności strumienia rozpylonego wytwarzanego przez wybrany rozpylacz strumieniowo-wirowy*. Zeszyty Naukowe SGSP, Nr 31, Warszawa 2004, s. 49-62.
3. Gałaj, J., Drzymała, T.: *Analysis of water droplets spectrum on a plane in spray generated by mist nozzles and the sprinkler from extinguishing point of view*. Logistyka 3, Poznań 2011.
4. Gałaj, J., Drzymała, T. *Badanie wpływu strumienia centralnego na parametry strumienia rozpylonego wytwarzanego przez dyszę ze zderzającymi się strumieniami*, Zeszyty Naukowe SGSP, nr 34, Warszawa 2006, s. 43-54.
5. Gałaj, J., Drzymała, T. *Badanie wpływu zawirowania strumienia centralnego wybranej dyszy na parametry strumienia rozpylonego*, Zeszyty Naukowe SGSP, nr 35, Warszawa 2007, s. 3-15.
6. Gałaj, J., Wawerek, T.: *Badanie porównawcze parametrów strumieni rozpylonych wytwarzanych przez wybrane tryskacze stosowane w ochronie przeciwpożarowej*. Logistyka 6, Poznań 2011.
7. Gil D., Placek P., *Wyposażenie techniczne – armatura wodno pianowa*, Częstochowa 2003.
8. Grant G., Drysdale D.: *The suppression and extinction of class 'A' fire using water sprays*. FRDG 1;97.
9. Grimwood P., *Rozgorzenie i techniki operowania prądami wodnymi*, United Kingdom 1996.
10. Grimwood P., Desmet K.: *Tactical Firefighting. A Comprehensive Guide to Compartment Firefighting & Fire Training. version 1.1*, Firetactics, Cemac, January 2003.
11. Kaleta A., *Wpływ rozdrobnienia strumienia wodnego na jego skuteczność gaśniczą*, Warszawa 1985.
12. KAMIKA Zakład Elektronicznej Aparatury Pomiarowej, *AWK SYSTEM. Analiza Wielkości Cząstek K_μK*, 1999.
13. Kolman R., *Badanie wpływu wybranych parametrów geometrycznych dyszy i ciśnienia zasilania na parametry strumienia rozpylonego*, Warszawa 2004.

14. Kucmin, Ł.: *Analiza porównawcza własności przepływowych różnych typów prądownic*, Rozprawa magisterska, SGSP, Warszawa 2012.
15. Luszniwicz A., *Statystyka ogólna*, PWE, Warszawa 1987.
16. Masternak, M, *Badanie rozkładu strumienia rozpylonego generowanego przez głowice mgłowe prądownicy Turbo Twist*. Praca magisterska SGSP, Warszawa 2012.
17. Orzechowski Z., Prywer J., *Wytwarzanie i zastosowanie rozpylonej cieczy*, Warszawa 2008.
18. Orzechowski Z., Prywer J., *Rozpylanie cieczy*, Warszawa 1991.
19. Tuomisaari M.: *Suppression of Compartment Fires with a Small Amount of Water*. VTT Finland, 1995.
20. Zielińska A., *Badanie rozkładu kropeł w strumieniu rozpylonym*, Praca magisterska SGSP, Warszawa 2004.
21. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 21 kwietnia 2006r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. z 2006 r. Nr 80, poz. 563).
22. www.sorbex.pl, 12.08.2012.
23. www.kadimex.pl, 12.08.2012.
24. www.firetactics.com, 10.05.2012.

Autorzy:

dr inż. Jerzy GAŁAJ – Szkoła Główna Służby Pożarniczej w Warszawie

mgr inż. Michał MASTERNAK – Komenda Powiatowa PSP w Wieliczce