

*mł. bryg. dr inż. Tomasz Drzymała*

*bryg. dr hab. inż. Jerzy Gałaj, prof. Szkoły Głównej Służby Pożarniczej*

*inż. Michał Wójcik*

Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego

Szkoła Główna Służby Pożarniczej

## **Analiza wpływu wydatku i ustawienia głowicy prądownicy TurboJet 52 na rozkład intensywności zraszania w strumieniu rozpylonym**

### **Streszczenie**

W artykule zaprezentowano badania doświadczalne dotyczące wpływu wydatku i ustawienia głowicy prądownicy TurboJet 52 na rozkład intensywności zraszania w strumieniu rozpylonym. Omówiono w nim m.in. przedmiot i metodykę badań i stanowisko pomiarowe oraz przebieg badań. Prądownicę TurboJet 52 badano przy trzech różnych ustawieniach głowicy, odpowiadających kątom rozpylenia strumienia: 60°, 90° i 120°. Podczas badań rejestrowano wyniki dla trzech różnych wydatków: 230 dm<sup>3</sup>/min, 330 dm<sup>3</sup>/min i 450 dm<sup>3</sup>/min. Badania prądownicy odbywały się dla wszystkich ustawień przy stabilizowanym ciśnieniu zasilania równym około 6 bar. Wyniki rozkładów intensywności zraszania w strumieniu rozpylonym przedstawiono w formie graficznej.

Przeprowadzono analizę wyników oraz sformułowano wnioski, mające wymiar praktyczny dla strażaków operujących rozproszonymi prądami wodnymi.

**Słowa kluczowe:** rozpylanie, prądownica wodna, strumień wody, natężenie przepływu, średnica kropli, intensywność zraszania, powierzchnia zraszania

## **Analysis of the Impact of the Flow Rate and Settings of the Nozzle TurboJet 52 on Distribution of the Sprinkling Intensity in Spray**

### **Abstract**

This paper presents studies on the influence of the nozzle output and spray angle on the distribution of sprinkling intensity in a spray generated by the TurboJet 52 nozzle. Among the others the following issues have been discussed in the paper:

study subject, study method, research stand and the course of studies. The studies were conducted for three different nozzle spray angles of 60°, 90° and 120° and three different flow rates of 230 dm<sup>3</sup>/min, 330 dm<sup>3</sup>/min and 450 dm<sup>3</sup>/min. The studies for all settings were carried out at the stabilized supply pressure equal to about 6 bars. The results of sprinkling intensity distribution are presented on the graphs. Based on the analysis of the results the conclusions have been set. They are , important not only for the theoretical considerations but can be applied in practice, especially for fire-fighters operating with water stream.

**Keywords:** spraying, water nozzle, water stream, flow rate, water droplet diameter, sprinkling intensity, sprinkling area

## WPROWADZENIE

Dzięki rozwojowi nowych technologii w zakresie ochrony przeciwpożarowej, powstaje coraz więcej urządzeń do skutecznego podawania dowolnych strumieni wodnych. Dostępny jest szeroki wachlarz strumieni, od mgłowego o małej wydajności i dużym rozpyleniu, do prądów zwartych o dużej wydajności i dużych kroplach. Współcześnie stosowane prądownice typu Turbo posiadają możliwość płynnej regulacji kąta rozpylenia oraz wydajności, dzięki czemu mogą być dostosowywane do różnego rodzaju prowadzonych działań gaśniczych w natarciu lub obronie, co pozwala na optymalny dobór parametrów prądu gaśniczego do rodzaju palącego się materiału. Jest to istotne, gdyż nieskuteczne używanie wody może doprowadzić do zużycia środka i wydłużenia prowadzonej akcji gaśniczej. Ze względu na swoją uniwersalność i skuteczność są one podstawowym narzędziem stosowanym przez Państwową Straż Pożarną (PSP). Zatem stopień rozpylenia strugi wody oraz intensywność zraszania to dwa parametry, które mają bardzo duży wpływ na skuteczność i jakość prowadzonych działań gaśniczych.

Jedną z najistotniejszych wielkości określających jakość rozpylenia cieczy jest średnia średnica kropeł. Dzięki Analizatorowi Widma Kropeł (AWK) otrzymano średnią wielkość cząsteczki w rozkładzie powierzchniowym  $D_v$  [ $\mu\text{m}$ ], wyliczoną indywidualnie dla każdego pomiaru. Na potrzeby badań przyjęto zakres dwóch badanych średnic pojedynczych kropeł w przedziale

od 13  $\mu\text{m}$  do 1000  $\mu\text{m}$ . Kolejnym istotnym parametrem określającym przydatność strumieni rozpylonych w ochronie przeciwpożarowej jest intensywność zraszania (materiału palnego)  $I_z$  [mm/min], czyli ilość wody, jaka pokryje daną powierzchnię w jednostce czasu. Za pomocą analizatora AWK można uzyskać pośrednio wartość intensywności zraszania, wykorzystując do tego celu rozkład średnich objętościowych średnic kropeł.

Stopień rozpylenia cieczy powinien być dostosowany do rodzaju materiału palnego. Istotny jest również rodzaj podawanego prądu gaśniczego oraz charakterystyka środowiska pożaru (wielkość pomieszczeń oraz ilość przeszkód). W przypadku gaszenia pożarów ciał stałych ważne jest, aby stopień rozpylenia nie był za duży [11]. Konsekwencją zbyt małych kropeł może być przedwczesne odparowanie w kolumnie konwekcyjnej. Wówczas nie jest możliwe schładzanie samego materiału palnego. Najważniejsze jest, aby krople jak najdłużej oddziaływały na strefę spalania [12]. Podczas gaszenia pożarów należy dążyć do tego, aby jak największa ilość wody została odparowana. Strumienie zwarte mają bardzo małą skuteczność pod względem odbierania ciepła, ponieważ ich działanie jest miejscowe, o dużym natężeniu. Poprawę skuteczności gaśniczej dają strumienie rozproszone, które ze względu na wielkość kropeł dzieli się na kropliste (od 1 mm do 3 mm) i mgłowe (od 0,1 mm do 1 mm). Stopień rozdrobnienia pozwala na zwiększenie powierzchni wymiany ciepła [7–10,13]. Dlatego najczęściej strumienie rozproszone wykorzystuje się do gaszenia pożarów wewnętrznych. Użycie rozpylonych strumieni wodnych ma również duży wpływ na ochronę strażaka. Współczesne prądownice umożliwiają wytworzenie prądów wody o dużym kącie rozpylenia, tworząc tym samym „parasol ochronny” dla strażaka przed promieniowaniem ciepłym.

Od wielu lat prowadzone są badania mające na celu poznanie najbardziej efektywnego wykorzystania strumienia wodnego [15], jego odpowiedniego rozproszenia oraz podawania. Ich głównym celem jest optymalizacja parametrów strumieni wodnych. Jednym z ośrodków naukowych, gdzie prowadzone są prace badawcze nad efektywnością gaśniczą strumieni wodnych jest Szkoła Główna Służby Pożarniczej (SGSP), w której wykonuje się liczne prace badawcze i rozwojowe poświęcone tej tematyce pod kierunkiem Jerzego Gałaja i Tomasza Drzymały [1–10]. Wyniki takich badań są również pomocne w rozwoju znanych i szeroko stosowanych modeli pożarów [7].

## 1. STANOWISKO BADAWCZE I METODYKA POMIARÓW

### 1.1. Cel i przedmiot badań

Głównym celem badań było określenie wpływu ustawienia głowicy prądownicy TurboJet 52 na rozkład intensywności zraszania w strumieniu rozpylnym. Przedmiotem badań była prądownica wodna TurboJet 52 firmy AWG z płynną regulacją wydatku oraz kąta rozpylenia do 120 stopni. Wydatek prądownicy można zmieniać w zakresie od 100 dm<sup>3</sup>/min do 450 dm<sup>3</sup>/min. Jej widok przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Przedmiot badań – prądownica TurboJet 52

Źródło: [16]

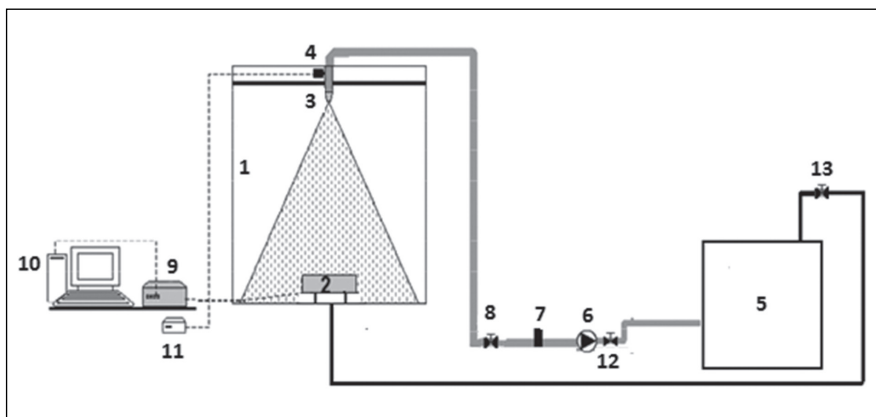
### 1.2. Metoda pomiarowa

Pomiary parametrów strumienia rozproszonego wody wykonano za pomocą analizatora widma kropeł AWK, który został wyprodukowany przez firmę KAMIKA. Jest to przyrząd do pomiaru automatycznego wymiarów cząstek stałych i ciekłych, niezależnie od ich właściwości fizycznych oraz chemicznych. Może on zostać wykorzystany w warunkach laboratoryjnych

lub poligonowych. Zestaw pomiarowy AWK składa się z sondy pomiarowej, w której znajduje się przetwornik fotoelektryczny połączony za pomocą kabla o długości 20 m z układem elektronicznym przetwarzającym sygnały elektryczne. Sonda posiada układ optyczny składający się z nadajnika oraz odbiornika światła podczerwonego. Swobodnie opadające krople po dostaniu się do wnętrza sondy, na skutek zjawiska rozproszenia zaburzają odbiór podczerwieni przez fotodiode, w układzie elektronicznym formowane są impulsy elektryczne proporcjonalne do średnic kropli. Układ elektroniczny połączony jest przez dwa kable (sterujący i pomiarowy) do specjalnego interfejsu w komputerze, gdzie analizie poddany zostaje kształt i amplituda impulsu. Po kalibracji impulsów otrzymuje się średnicę kropli znajdującą się aktualnie w układzie pomiarowym. Wyniki pomiaru są zapisywane w pamięci komputera w jednostkach elektrycznych i można je przeliczyć na jednostki fizyczne. Wyniki wyświetlane są na monitorze, a sterowanie przyrządem odbywa się za pomocą klawiatury i myszy komputerowej. Dzięki współpracy urządzenia z komputerem, można uzyskać charakterystyki na wykresach bezpośrednio po zakończeniu pomiaru. Sonda wyposażona jest w trzy wymienne przysłony, których używa się w zależności od koncentracji kropli. Koncentracja kropli zależna jest od natężenia przepływu cieczy w rozpylaczu i odległości badanego rozpylacza od sondy. Dla kropli o wielkości 100  $\mu\text{m}$  maksymalny błąd pomiarowy systemu AWK wynosi 2,5  $\mu\text{m}$ . Analizator AWK daje możliwość wyznaczenia średnich średnic kropli oraz ich rozkładu w przedziale od 13  $\mu\text{m}$  do 5000  $\mu\text{m}$  [14].

### *1.3. Stanowisko badawcze*

Stanowisko badawcze wraz z układem pomiarowym znajduje się w SGSP w Laboratorium Technicznych Systemów Zabezpieczeń. Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rys. 2. W jego skład wchodzi: komora pomiarowa (1), badana prądownica (3), która jest zasilana przez zestaw wysokociśnieniowych pomp (6). Tuż przed prądownicą TurboJet 52 znajduje się tensometryczny czujnik ciśnienia CL1 (4) połączony z przetwornikiem CL300 (11), na którym można odczytać wartość ciśnienia. Rozpylony strumień analizowany jest przez sondę AWK (2) o powierzchni otworu wlotowego  $F = 254 \text{ mm}^2$ . Dane z sondy przekazywane są poprzez analizator AWK (9) do komputera klasy PC (10) z wbudowaną kartą pomiarową systemu AWK.



**Rys. 2.** Schemat stanowiska badawczego

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 (obieg zamknięty)

Źródło: Opracowanie własne

Na rys. 3 przedstawiono przykładowy rozkład strumienia generowanego przez prądownicę TurboJet 52 podczas badań.

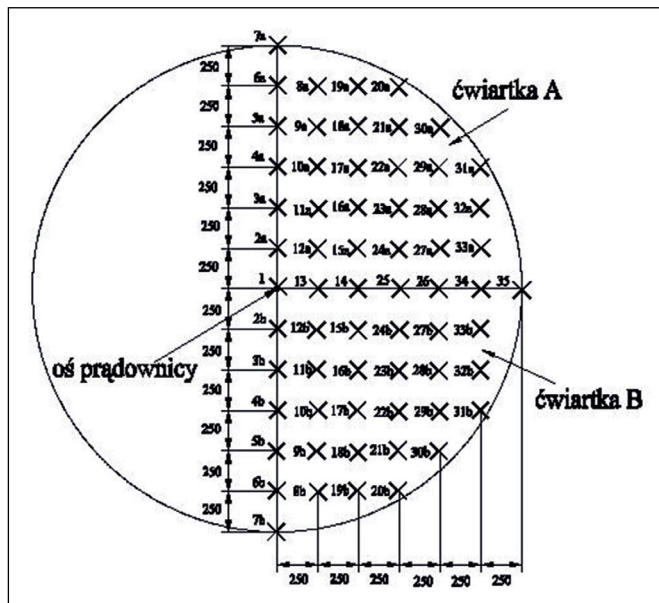


**Rys. 3.** Strumień generowany przez prądownicę TurboJet 52

Źródło: Opracowanie własne

1.4. Omówienie procedury badawczej

Pomiary rozkładu intensywności zraszania wykonywano w ustalonych punktach pomiarowych, których rozkład na płaszczyźnie podłogi pokazano na rys. 4. Środek okręgu leżał na przedłużeniu osi prądownicy. Punkty pomiarowe były położone na liniach prostych, równoległych do osi prostopadłych przechodzących przez środek okręgu i były oddalone od siebie o tę samą odległość wynoszącą 250 mm. Wszystkie punkty pomiarowe leżały wewnątrz koła o założonym maksymalnym promieniu równym około 1,5 m (przyjęto, że strumień rozpylony nie będzie wykraczał poza tę granicę). Ze względu na przyjęte założenia o symetrii strumienia, zaznaczono tylko punkty w dwóch ćwiartkach A i B. Każdy punkt oznaczono kolejną liczbą z dodatkiem litery a (dla punktu położonego w ćwiartce A) lub b (dla punktu położonego w ćwiartce B). Dla sprawdzenia symetrii w ćwiartce B badania przeprowadzono tylko dla punktów położonych na prostej przechodzącej przez środek okręgu (punkty 2b, 3b, 4b i 5b). W celu identyfikacji konkretnego badania w nazwie pliku, w którym zapisywano dane umieszczono numer punktu pomiarowego [6].



Rys. 4. Schemat rozkładu punktów pomiarowych na płaszczyźnie podłogi  
Źródło: [6]

Sonda pomiarowa rozpoczynała pomiar po uruchomieniu zapisu w programie przy pomocy przycisku START i kończyła go automatycznie po 5 min lub po zliczeniu 50 tys. kropeł (ustawiony parametr w programie). Strumień rozpylony generowany przez prądownicę TurboJet 52 badano przy trzech kątów rozpylenia strumienia: 60°, 90° i 120° oraz przy trzech wydatkach: 230 dm<sup>3</sup>/min, 330 dm<sup>3</sup>/min i 450 dm<sup>3</sup>/min [6].

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. Automatyczne zakończenie pomiaru i zapisanie wyników po 5 min lub po zliczeniu 50 tys. kropeł.
8. Zamknięcie zaworu kulowego zasilającego układ.
9. Wykonanie czynności zapisanych w punktach 5-9 dla wszystkich punktów pomiarowych.
10. Zakończenie badania.

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

## 2. METODYKA ORAZ WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

### 2.1. *Metodyka określania intensywności zraszania $I_z$*

Dzięki zastosowaniu analizatora widma kropeł (AWK) można było wyznaczyć średnią wielkość cząsteczki w rozkładzie powierzchniowym  $D_v$  [ $\mu\text{m}$ ] wyliczoną indywidualnie dla każdego pomiaru według wzoru 1. Na potrzeby badań przyjęto zakres 2 badanych średnic pojedynczych kropeł w przedziale od 13  $\mu\text{m}$  do 1000  $\mu\text{m}$ . Sposób obliczania średniej średnicy objętościowej kropeł  $D_v$  przez system AWK wyraża poniższa zależność (1):



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

gdzie:

$D_i$  – średnia średnica objętościowa dla i-tego przedziału pomiarowego [ $\mu\text{m}$ ],

$\Delta n_i$  – liczba kropeł, jaka została zliczona w i-tym przedziale długości średnic,

$m$  – łączna liczba przedziałów pomiarowych, na jaki podzielony został całkowity zakres badanych średnic,

$N$  – całkowita liczba kropeł, jaka została zliczona podczas pomiaru.

Wyniki pomiarów średnich średnic objętościowych kropeł wyznaczonych w badanych punktach pomiarowym zamieszczono w opracowaniu [6, 16]. Bazując na tych wynikach wartości intensywności zraszania w analizowanych punktach pomiarowych wyznaczono metodą pośrednią. Po zakończeniu badania wśród uzyskanych wyników otrzymywano m.in. wartość średniej średnicy objętościowej  $D_v$  oraz czas, w którym analizator AWK zarejestrował 50 tys. kropeł. Jako powierzchnię zraszania przyjęto powierzchnię otworu wlotowego sondy pomiarowej równą 254 mm<sup>2</sup>. Mając powyższe dane, wartość intensywności zraszania  $I_z$  [mm/min] obliczono za pomocą wzoru (2):

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

gdzie:

$F$  – powierzchnia otworu wlotowego sondy równa 254 mm<sup>2</sup>,

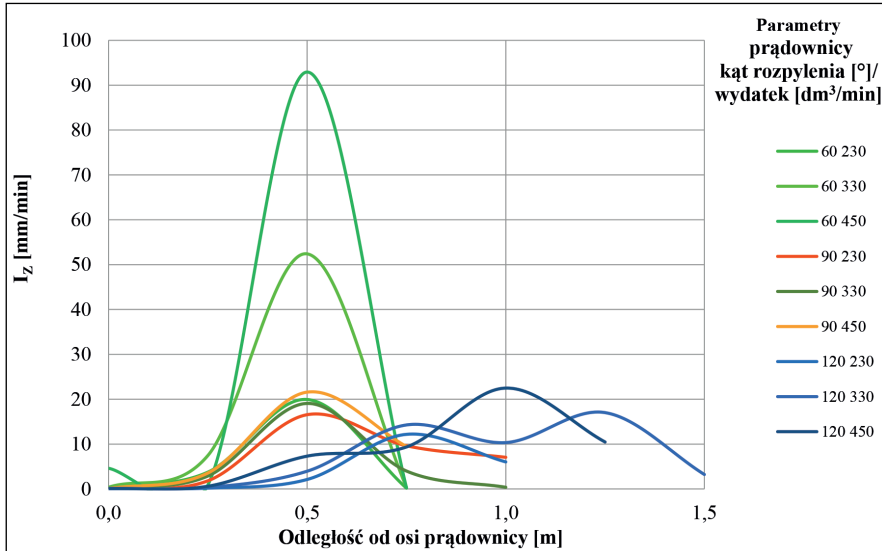
$t$  – czas trwania pojedynczego eksperymentu [min],

$D_v$  – średnia średnica objętościowa zmierzona przez system AWK [mm],

$N$  – liczba kropeł zliczanych podczas próby.

## 2.2. Rozkład promieniowy intensywności zraszania $I_z$

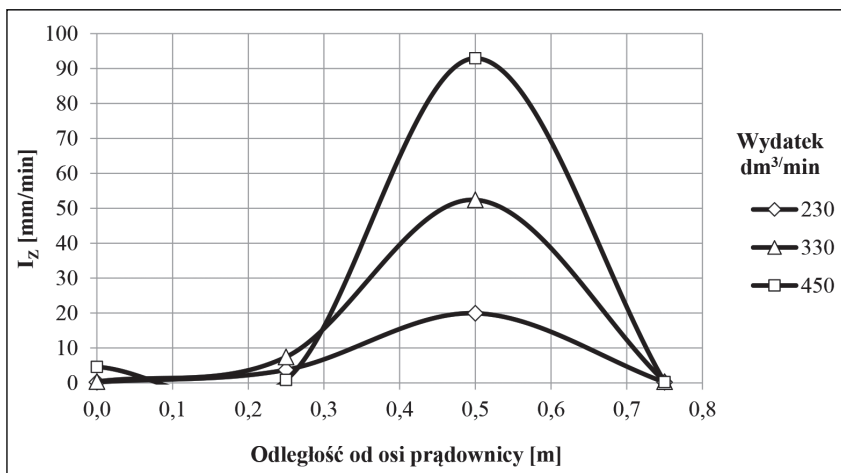
Na rysunkach 5 – 8 zamieszczono zestawienie konfiguracji w funkcji  $I_z = f(r)$  wzdłuż osi  $Ox$ , zwanych dalej rozkładem promieniowym  $I_z$ . Przedstawiono również wyniki badań dla poszczególnych ustawień kąta rozpylenia [6, 16].



Rys. 5. Rozkłady promieniowe intensywności zraszania  $I_z = f(r)$  zmierzone wzdłuż osi Ox

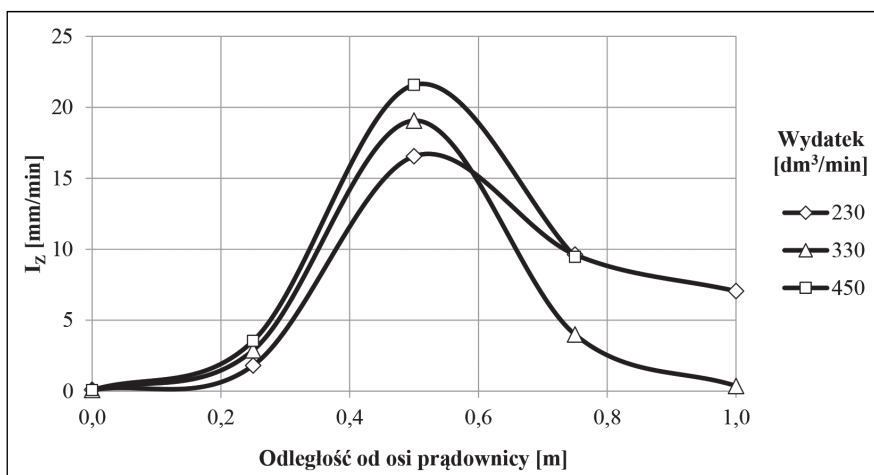
Źródło: Opracowanie własne

Wartości dla wszystkich konfiguracji prądownicy wykazują znikome oddziaływanie strumienia w obszarze ograniczonym promieniem  $r = 25$  cm. Powyżej tej odległości od osi prądownicy zaznacza się znaczny wzrost wartości intensywności zraszania. W zakresie promienia  $r = 0,25$  m – 0,75 m największe wartości intensywności zraszania odnotowano dla ustawienia głowicy na kąt rozpylenia  $60^\circ$ . Wysokie wartości  $I_z$  są związane z dużym oddziaływaniem miejscowym strumienia w odległości około 50 cm od osi dyszy. Przy ustawieniu głowicy na kąt rozpylenia  $90^\circ$  uzyskano znacznie mniejsze wartości, ale obszar zraszania zwiększył się do 100 cm. Zwiększenie kąta rozpylenia do  $120^\circ$  poskutkowało wydłużeniem promienia powierzchni zraszania nawet do 1,5 m. Wzrost wydatku wiąże się ze wzrostem  $I_z$ . Maksymalne wartości dla kątów rozpylenia  $90^\circ$  i  $120^\circ$  są porównywalne. Zwiększenie kąta rozpylenia w tych przypadkach skutkuje jedynie oddaleniem wartości maksymalnych od osi prądownicy ( $90^\circ$  – 50 cm;  $120^\circ$  – od 75 cm do 125 cm w zależności od wydatku). Na rysunkach 6 – 8 przedstawiono rozkłady dla poszczególnych ustawień głowicy (kątów rozpylenia).



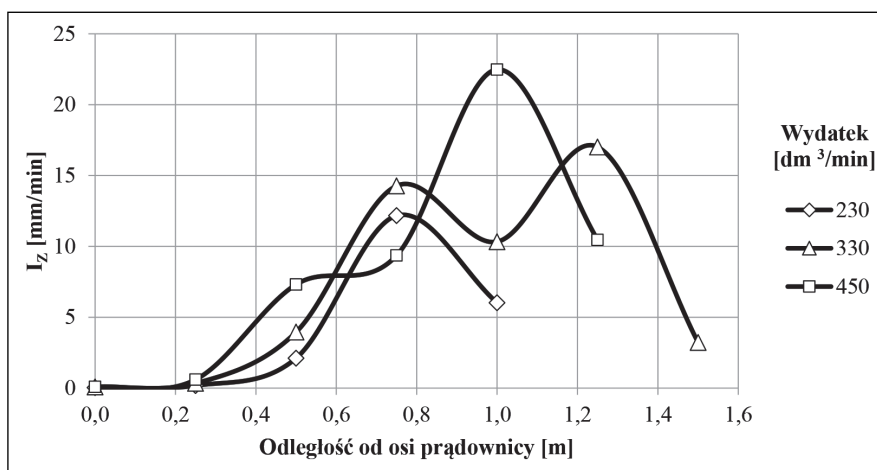
Rys. 6. Rozkłady promieniowe intensywności zraszania  $I_z(r)$  dla kąta rozpylenia 60°  
 Źródło: Opracowanie własne

Dla ciśnienia zasilania 6 bar i najmniejszego badanego kąta rozwarcia charakterystyki kształtują się podobnie. Największe wartości uzyskano w punktach położonych w pobliżu promienia  $r = 50$  cm. Zwiększenie wydatku powoduje wzrost maksymalnej wartości intensywności zraszania. Przy kącie rozpylenia 60° uzyskano największe wartości  $I_z$  (nawet 92 mm/min dla wydatku 450  $\text{dm}^3/\text{min}$ ).



Rys. 7. Rozkłady promieniowe intensywności zraszania  $I_z(r)$  dla kąta rozpylenia 90°  
 Źródło: Opracowanie własne

Zmiana ustawienia głowicy na większy kąt rozpylenia wpłynęła na znaczne zmniejszenie maksymalnych wartości intensywności zraszania (około czterokrotny spadek w przypadku wydatku  $450 \text{ dm}^3/\text{min}$ ). Przy mniejszych wydatkach spadek ten jest coraz mniejszy (około dwukrotny przy wydatku  $330 \text{ dm}^3/\text{min}$  i praktycznie pomijalny przy wydatku  $230 \text{ dm}^3/\text{min}$ ). Maksymalne wartości intensywności, podobnie jak w przypadku kąta rozpylenia  $60^\circ$ , otrzymano w punktach położonych na promieniu około 50 cm. W odległości powyżej 75 cm od osi intensywne oddziaływanie wody widoczne jest tylko dla wydatku  $230 \text{ dm}^3/\text{min}$ .



**Rys. 8.** Rozkłady promieniowe intensywności zraszania  $I_z(r)$  dla kąta rozwarcia  $120^\circ$   
Źródło: Opracowanie własne

Dla ustawienia głowicy na kąt rozpylenia  $120^\circ$  odnotowano wzrost intensywności zraszania w odległości powyżej 50 cm od osi. Dla wydatku  $330 \text{ dm}^3/\text{min}$  wartości intensywności zraszania przekraczające  $10 \text{ mm/min}$  (wymagana minimalna intensywność zraszania potrzebna do ugaszenia średniego pożaru) uzyskano w obszarze ograniczonym promieniami 60 cm i 140 cm. Otrzymano wówczas dwa maksima intensywności zraszania, jedno odległe od osi o około 75 cm i drugie o około 125 cm. Maksymalna wartość intensywności zraszania przy tym wydatku wyniosła około  $17 \text{ mm/min}$  w odległości około 125 cm od dyszy. Analogiczny obszar dla wydatku  $450 \text{ dm}^3/\text{min}$  jest węższy i ograniczony promieniami 80 cm i 125 cm. W tym przypadku uzyskano jedno maksimum równe około  $22 \text{ mm/min}$  w odległości około

100 cm od osi prądownicy. Największy obszar uzyskano w przypadku wydatku 230 dm<sup>3</sup>/min (odpowiednio promienie 65 cm i 90 cm). Ponadto przy tym wydatku zasięg strumienia jest ograniczony tylko do 100 cm.

### 2.3. Całkowita średnia intensywność zraszania

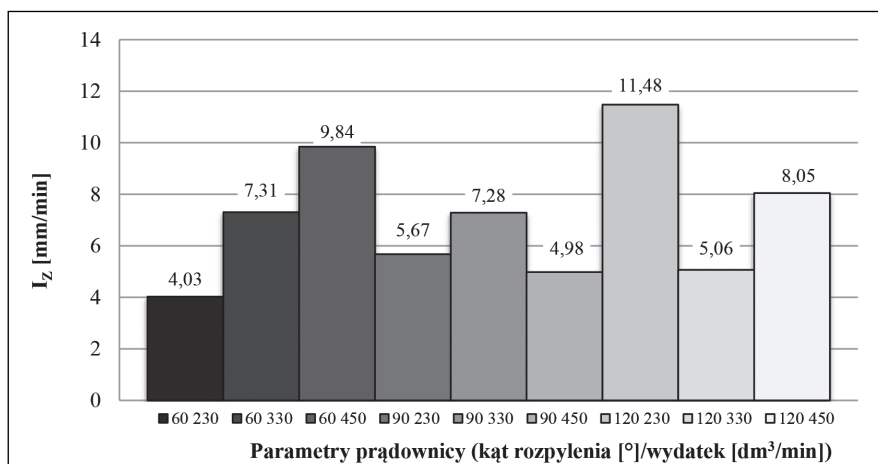
Średnia globalna intensywność zraszania  $\bar{I}_z$  została obliczona zgodnie ze wzorem (3) jako średnia arytmetyczna intensywności zraszania we wszystkich punktach pomiarowych:

$$\bar{I}_z = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n} \text{ [mm/min]} \quad (3)$$

gdzie:

$I_i$  – intensywność zraszania w i-tym punkcie pomiarowym [mm/min],

$n$  – liczba punktów pomiarowych.



Rys. 9. Wartości  $\bar{I}_z$  dla wszystkich analizowanych kombinacji parametrów prądownicy

Źródło: Opracowanie własne

Na podstawie wyników przedstawionych na rys. 9 można stwierdzić, że przy określonym kącie rozpylenia, na uzyskanie największej całkowitej średniej wartości intensywności zraszania  $\bar{I}_z$  [mm/mim] ma wpływ również odpowiednie ustawienie na głowicy prądownicy wartości wydatku. Dla 60°

było to 450 dm<sup>3</sup>/min (9,84 mm/min), dla 90° – 330 dm<sup>3</sup>/min (7,28 dm<sup>3</sup>/min) i dla 120° – 230 dm<sup>3</sup>/min (11,48 mm/min).

#### 2.4. Wskaźnik nierównomierności zraszania

W pracy wykonano dwa rodzaje analizy współczynnika nierównomierności zraszania. W pierwszym obliczono współczynnik nierównomierności zraszania WNZ w rozpatrywanym obszarze badań według wzoru (4).

$$WNZ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I}_z)^2}{n}} \quad [\text{mm/min}] \quad (4)$$

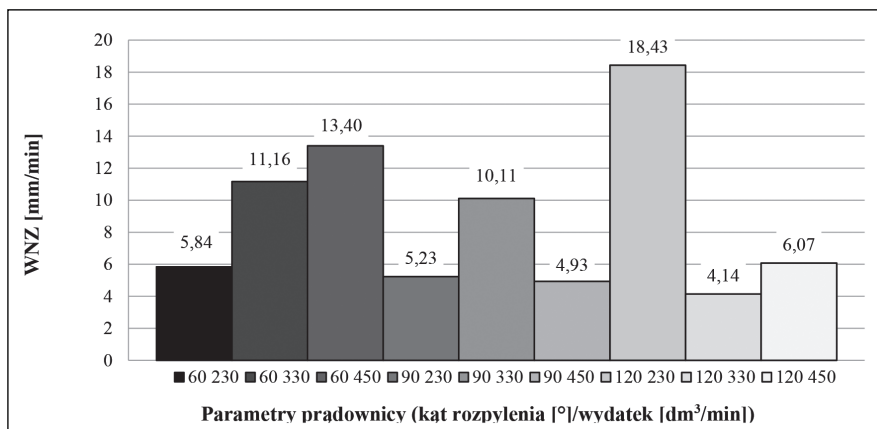
Wartość wskaźnika nierównomierności zraszania WNZ jest tym mniejsza, im mniejszy jest rozrzut wartości intensywności zraszania kropel. Im większa wartość średniej intensywności zraszania, tym jest ono bardziej nierównomierne. Jego wartości uzyskane dla wszystkich kombinacji parametrów badanej prądownicy przedstawiono na rysunku 10. Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że charakter zmian wartości wskaźnika WNZ jest analogiczny do zmian globalnej średniej intensywności zraszania. Największą jego wartość, równą 18,43 mm/min, uzyskano przy parametrach: kąt rozpylenia 120° i wydatku 230 dm<sup>3</sup>/min, a najmniejszą równą 4,14 mm/min przy tym samym kącie rozpylenia i wydatku 330 dm<sup>3</sup>/min. Drugi rodzaj, to zależność współczynników WNZ(r) liczonych osobno dla każdego promienia według wzoru (5).

$$WNZ(r) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_r} (I_i - \bar{I}_z)^2}{n_r}} \quad [\text{mm/min}] \quad (5)$$

gdzie:

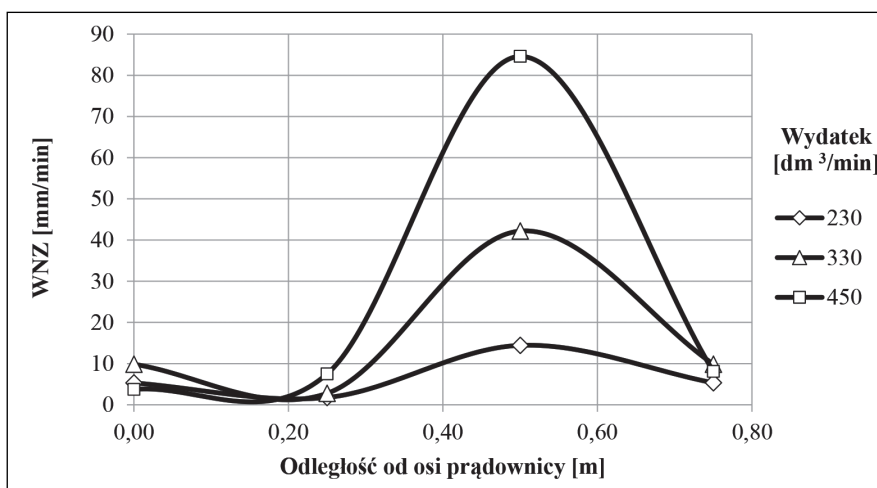
$n_r$  – liczba punktów pomiarowych położonych na tym samym promieniu  $r$ .

Na rys. 11 – 13 pokazano przebiegi funkcji WNZ(r) dla poszczególnych ustawień kąta rozpylenia.



Rys. 10. Wartości wskaźnika WNZ dla wszystkich kombinacji parametrów prądownicy

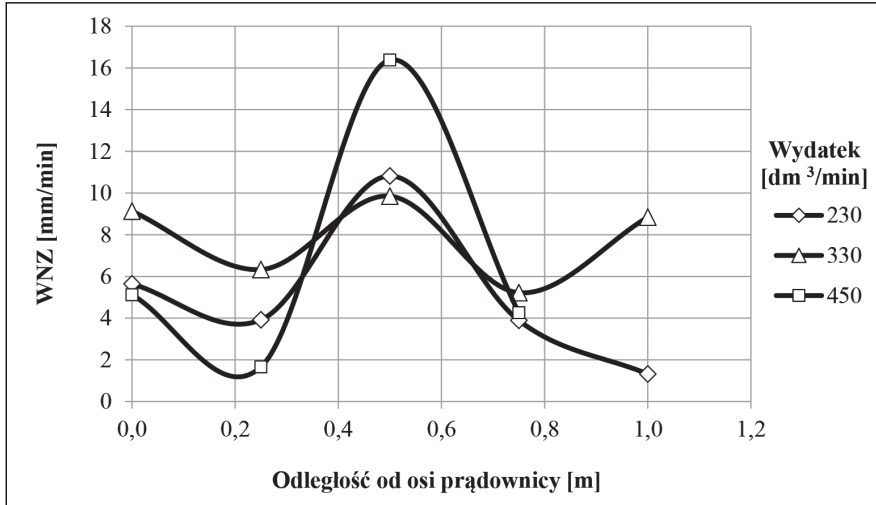
Źródło: Opracowanie własne



Rys. 11. Rozkład promieniowy wskaźnika WNZ(r) dla kąta rozpylenia 60°

Źródło: Opracowanie własne

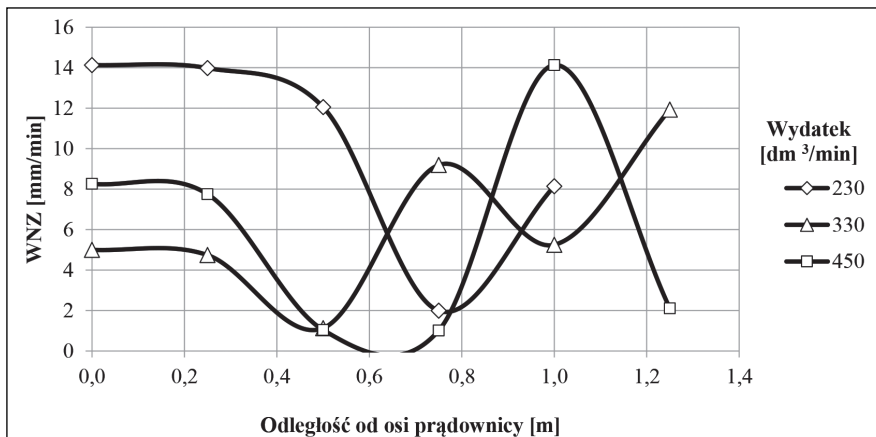
Przebiegi funkcji są bardzo zbliżone do charakterystyk  $I_z(r)$ . Pogorszenie równomierności zraszania następuje po przekroczeniu 25 cm. Zwiększenie wydatku skutkuje wzrostem wartości wskaźnika WNZ w odległości 50 cm od osi prądownicy. Znaczne zróżnicowanie wartości intensywności zraszania  $I_z$  jest spowodowane miejscowym oddziaływaniem zwężonego strumienia wody, charakterystycznego dla kąta rozpylenia 60°.



Rys. 12. Rozkład promieniowy wskaźnika WNZ(r) dla kąta rozpylenia 90°

Źródło: Opracowanie własne.

Przy kącie rozpylenia 90° wskaźnik nierównomierności zraszania WNZ(r) przyjmuje dla wszystkich badanych wydatków największe wartości w punktach odległych około 50 cm od osi prądownicy. Największe różnice dochodzące do 15 mm/min pomiędzy maksymalną i minimalną wartością wskaźnika otrzymano dla wydatku 450 dm<sup>3</sup>/min, a najmniejsze nie przekraczające 5 mm/min dla wydatku 330 dm<sup>3</sup>/min.



Rys. 13. Rozkład promieniowy wskaźnika WNZ(r) dla kąta rozpylenia 120°

Źródło: Opracowanie własne.



Dla ustawienia głowicy odpowiadającego kątowi rozpylenia  $120^\circ$  uzyskano najbardziej zróżnicowane wyniki wskaźnika nierównomierności zraszania. Dla każdego wydatku widoczne są obszary charakteryzujące się z niskimi wartościami wskaźnika  $WNZ(r)$  (ok. 2 mm/min) oraz przedziały w których wskaźnik  $WNZ(r)$  jest wielokrotnie większy (przykładowo około 14 mm/min przy wydatkach 230 dm<sup>3</sup>/min i 450 dm<sup>3</sup>/min. Najmniejsze odchylenia wartości  $I_z$  odpowiadające największej równomierności zraszania uzyskano w obszarze ograniczonym promieniami 50 cm i 75 cm.

Wzrost wydatku powoduje przesunięcie obszarów o zwiększonej nierównomierności zraszania.

### 3. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

W artykule omówiono przeprowadzone badania mające na celu wyznaczenie intensywności zraszania i wielkości z nią związanych na płaszczyźnie podłogi przez strumień rozpylony generowany przez standardową prądownicę TurboJet 52 zawieszoną pionowo na wysokości 2,5 m. Podczas testów poprzez odpowiednie ustawienia głowicy zmieniano wydatek (230 dm<sup>3</sup>/min, 330 dm<sup>3</sup>/min i 450 dm<sup>3</sup>/min) i kąt rozpylenia prądownicy ( $60^\circ$ ,  $90^\circ$  i  $120^\circ$ ).

Na podstawie uzyskanych rozkładów średnich objętościowych średnic kropeł wyznaczono intensywności zraszania w tych samych punktach pomiarowych.

Otrzymane wyniki oraz ich analiza pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków końcowych:

1. Największe maksymalne wartości intensywności zraszania  $I_z$  zmierzone wzdłuż osi  $Ox$  zaobserwowano dla kąta rozpylenia  $60^\circ$  i wydajności 450 dm<sup>3</sup>/min (ponad 90 mm/min), natomiast najmniejsze dla kąta rozpylenia  $90^\circ$  i wydatku 330 dm<sup>3</sup>/min (poniżej 10 mm/min). Przy kątach rozpylenia  $60^\circ$  i  $90^\circ$  wystąpiły one w punktach pomiarowych oddalonych od osi prądownicy o około 50 cm. Na podstawie otrzymanych rozkładów można stwierdzić, że niezależnie od wydatku prądownicy przy tych kątach rozpylenia najlepsze, z punktu widzenia intensywności zraszania, są powierzchnie ograniczone promieniami 60 cm i 80 cm.
2. Przy kącie rozpylenia  $120^\circ$  otrzymano inny kształt charakterystyki promieniowej intensywności zraszania. Maksymalne wartości intensywności zraszania dla różnych wydatków wystąpiły w różnych odległościach od

osi prądownicy i tak przy wydatku  $230 \text{ dm}^3/\text{min}$  wyniosła ona około 75 cm (około 12 mm/min), przy wydatku  $330 \text{ dm}^3/\text{min}$  wynosiła ona około 125 cm (około 17 mm/min), a przy wydatku  $450 \text{ dm}^3/\text{min}$  wyniosła około 100 cm (około 22 mm/min).

3. Największą globalną wartość intensywności zraszania uzyskano dla kąta rozpylenia  $120^\circ$  i wydatku  $230 \text{ dm}^3/\text{min}$ , natomiast najmniejszą dla kąta rozpylenia  $60^\circ$  i wydatku  $230 \text{ dm}^3/\text{min}$ .
4. Porównując wartości wskaźnika nierównomierności zraszania *WNZ* dla różnych kątów rozpylenia można dojść do wniosku, że przy kątach  $60^\circ$  i  $90^\circ$  wpływ ten jest znacznie mniejszy niż przy kącie  $120^\circ$ .

Możliwość regulacji kąta rozpylenia oraz wydatku zwiększa zakres stosowania badanej prądownicy w ochronie przeciwpożarowej, co gwarantuje efektywne gaszenie pożarów. Jednak przy wyborze odpowiedniego ustawienia głowicy prądownicy podczas gaszenia pożarów trzeba wziąć pod uwagę zarówno wymaganą intensywność zraszania dostosowaną do mocy pożaru i odległości od źródła ognia, jak i zapewnienie odpowiedniej jakości rozpylenia charakteryzującej się równomiernością strumienia. Otrzymane rezultaty mają wymiar praktyczny i mogą być pomocne dla strażaków operujących rozproszonymi prądami wodnymi.

#### LITERATURA

- [1] Gałaj J., Drzymała T., Analysis of water droplets spectrum on a plane in spray generated by mist nozzles and the sprinkler from extinguishing effectiveness point of view, *Logistyka* 2010, nr 6, s. 895–904.
- [2] Gałaj J., Drzymała T., Analiza porównawcza metod obliczeniowych szacowania wymaganej wydajności podawania wody niezbędnej do efektywnego gaszenia pożarów, *Logistyka* 2014, nr 6, s. 3725–3735.
- [3] Drzymała T., Gałaj J., Omówienie i ocena programu przeznaczonego do symulacji taktycznych rozwinięć linii węzowych z samochodów pożarniczych, *Zeszyty Naukowe SGSP* 2014, nr 51 (3), s. 32–49.
- [4] Gałaj J., Drzymała T., Analiza wpływu natężenia przepływu wody na rozkład intensywności zraszania w strumieniu rozpylonym wytwarzanym przez prądownicę Turbo Master 52, *Logistyka* 2015, nr 4, s. 3302–3312.

- [5] Gałaj J., Drzymała T., Analiza wpływu kąta rozpylenia na rozkład średnic kropeł w strumieniu rozpylonym wytwarzanym przez prądownicę Turbo Master 52, *Logistyka* 2015, nr 5, s. 929–950.
- [6] Gałaj J., Drzymała T., Sprawozdanie z IV etapu projektu rozwojowego nr O ROB 0010 03 001 „Nowoczesne narzędzia inżynierskie do wspomagania decyzji, przeznaczone dla dowódców podczas działań ratowniczo gaśniczych PSP w obiektach budowlanych, Warszawa 2014.
- [7] Gałaj J., Drzymała T., Sprawozdanie z VI etapu projektu rozwojowego nr O ROB 0010 03 001 „Nowoczesne narzędzia inżynierskie do wspomagania decyzji, przeznaczone dla dowódców podczas działań ratowniczo gaśniczych PSP w obiektach budowlanych”, Warszawa 2015.
- [8] Gałaj J., Drzymała T., Tabaka D., Impact of Flow Rate on the Extinguishing Effectiveness of the Spray Produced by Selected Nozzle, Proceedings of the 25-th International Conference „Fire Protection 2016”, Ostrava, 21–22 September, pp. 92–96.
- [9] Drzymała T., Gałaj J., Wójcik M., Analysis of the Impact of the Settings and Flow Rate of the Nozzle on Distribution of the Droplets Diameter in Spray, Proceedings of the 25-th International Conference „Fire Protection 2016”, Ostrava, 21-22 September, pp. 55-58.
- [10] Gałaj J., Drzymała T., Tabaka D., Analiza wpływu wydajności na rozkład średnic kropeł w strumieniu rozpylonym wytwarzanym przez prądownicę Turbo Master 52, (An Analysis of the Impact of Flow Rate and Spray Angle on the Distribution of Water Droplet Diameters in the Spray Stream Generated by the Turbo Master 52 Nozzle), *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza* 2016, nr 43(3), s. 51–62.
- [11] Grimwood P., Barnett C., Fire-fighting flow-rate [online], 2005, [dostęp 12 kwietnia 2015], <http://www.fire-flows.com/FLOW-RATE%20202004.pdf>.
- [12] Grimwood P., Desmet K., Flashover & Nozzle Techniques, [online], 2002, [dostęp 21 kwietnia 2015], <http://www.pawlingfire.org/content/training/file/FLASHOVER%20NOZZLE%20TECHNIQUES.pdf>.
- [13] Kaleta A., Wpływ rozdrobnienia strumienia wodnego na jego skuteczność gaśniczą, Warszawa 1985.
- [14] KAMIKA Zakład Elektronicznej Aparatury Pomiarowej, AWK SYSTEM. Analiza Wielkości Cząstek K $\mu$ K, 1999.
- [15] Orzechowski Z., Prywer J., Wytwarzanie i zastosowanie rozpylonej cieczy, WNT, Warszawa 2008.