

Jerzy GAŁAJ, Tomasz DRZYMAŁA, Radosław ZADOROŻNY

## ANALIZA WPŁYWU KĄTA ROZPYLENIA PRĄDOWNICY TURBOJET 52 NA ROZKŁAD INTENSYWNOŚCI ZRASZANIA

*W artykule zaprezentowano badania doświadczalne dotyczące wpływu kąta rozpylenia strumienia wody podawanego z prądownicy TurboJet 52 na rozkład intensywności zraszania. Omówiono w nim m.in. przedmiot badań, metodykę badań i stanowisko pomiarowe oraz przebieg badań. Prądownicę TurboJet 52 badano dla trzech kątów rozpylenia strumienia: 60°, 90° i 120° przy stabilizowanym ciśnieniu 6 bar i wydatku 230 dm<sup>3</sup>/min. W tabelach i na trójwymiarowych wykresach zamieszczono wyniki rozkładów intensywności zraszania. Zdefiniowano kryteria oceny wyników oraz przeprowadzono ich analizę. Na tej podstawie sformułowano wnioski, mające wymiar praktyczny dla strażaków operujących rozproszonymi prądami wodnymi.*

### WSTĘP

Woda jest najpowszechniej stosowanym środkiem gaśniczym. Wynika to, m. in. z jej właściwości fizycznych i parametrów cieplnych, a także niemal nieograniczonej dostępności i zredukowanych do minimum kosztów użytkowania. Nic więc dziwnego, że wykorzystuje się ją do zwalczania niemalże wszystkich rodzajów pożarów. Nie zawsze jednak jej skuteczność gaśnicza jest satysfakcjonująca. Odpowiada za to szereg czynników, z których najważniejszym jest jej sposób podawania na środowisko pożaru. Z tego powodu, już od wielu lat, liczne ośrodki naukowe, a nawet strażacy, biorący na co dzień udział w akcjach gaśniczych, prowadzą szereg badań dotyczących najbardziej efektywnego wykorzystania wody. Ich głównym celem jest optymalizacja parametrów strumieni wodnych w kontekście prowadzenia działań gaśniczych. Na przestrzeni lat udowodniono m. in., że prądy rozproszone pozwalają lepiej wykorzystać wodę i jej właściwości gaśnicze [1,2,14]. Współcześnie badaniom strumieni rozpylonych poświęcił się amerykański strażak – instruktor Paul Grimwood, który analizował głównie pożary wewnętrzne. W swoich publikacjach podejmował on kwestię stosowania prądów rozproszonych oraz związany z tym problem optymalizacji średnic kropeł, charakteryzujących się dużą efektywnością schładzania strefy podsufitowej, wydajnym odbieraniem ciepła oraz znacznym zmniejszeniem strat popożarowych powstałych przez zalanie części obiektów nieobjętych strefą spalania [7,8,9]. Grimwood jako wieloletni praktyk, bazując na własnym doświadczeniu, skupiał się w swojej pracy przede wszystkim na praktycznych aspektach wykorzystania strumieni wodnych, takich jak np. techniki operowania prądami gaśniczymi. W swoich publikacjach jednak określił on również m. in. teoretyczną i praktyczną zdolność chłodzenia wody. Ponadto, opierając się na opracowaniach literaturowych pochodzących z wielu krajów, przedstawił on przegląd uznawanych wartości optymalnych średnic kropeł w kontekście zdolności do chłodzenia środowiska pożaru. Mieszczą się one w przedziale od 200 µm do 500 µm w zależności od rodzaju i fazy pożaru. Wszystkie wspomniane badania potwierdzają więc, że pożarnictwo w całości zostało zdominowane przez strumienie rozpylone. Problemem jest jednak fakt, że wiedza na ich temat jest nadal zbyt mała. W literaturze, zwłaszcza amerykańskiej i skandynawskiej, spotyka się co prawda różne opracowania dotyczące prądów wodnych stosowanych w pożarnictwie, ale żadne nie wyczerpuje w pełni poruszanej tematyki. Istnieje również szereg publikacji dotyczących rozpylonych

strumieni wodnych generowanych przez dysze mgłowe, tryskacze lub zraszacze [16-19]. Ciągłe jednak brakuje w literaturze opracowań dotyczących prądów rozproszonych wytwarzanych przez prądownice w warunkach rzeczywistych, a należy podkreślić, że jest to szczególnie ważny aspekt praktyczny, ponieważ od skuteczności gaśniczej zależy przede wszystkim czas trwania pożaru. Dzięki rozwojowi nowych technologii w zakresie ochrony przeciwpożarowej otrzymujemy coraz to więcej możliwych do zastosowania 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. Prądownice typu Turbo stosowane współcześnie posiadają możliwość płynnej regulacji kąta rozpylenia oraz wydajności, dzięki czemu mogą być one 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 zbyt dużego w stosunku do potrzeb zużycia środka i wydłużenia prowadzonej akcji gaśniczej [11]. Ze względu na swoją uniwersalność i skuteczność stosowania prądownice wodne są podstawowym narzędziem stosowanym przez Państwową Straż Pożarną [6,13,20,21,22]. Stopień rozpylenia strugi wody oraz intensywność zraszania to dwa parametry, które mają bardzo duży wpływ na skuteczność i jakość prowadzonych działań gaśniczych. Jedną z najważniejszych wielkości określających jakość rozpylenia cieczy jest średnia średnica 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. Konsekwencją zbyt małych kropeł może być przedwczesne odparowanie w kolumnie konwekcyjnej. Wówczas nie jest możliwe schładzanie samego materiału palnego. Najważniejsze jest to, aby krople jak najdłużej oddziaływały na strefę spalania. 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 mm 1 do 3 mm) i mgłowe (od 0,1 mm do 1 mm). Stopień rozdrobnienia pozwala na zwiększenie powierzchni wymiany ciepła. Dlatego najczęściej wykorzystuje się strumienie rozproszone

do gaszenia pożarów wewnętrznych. Użycie rozpylonych strumieni wodnych ma również duży wpływ na ochronę strażaka podczas gaszenia pożarów. Współczesne prądownice umożliwiają wytworzenie prądów wody o dużym kącie rozpylenia, tworząc tym samym „parasol ochronny” dla strażaka przed promieniowaniem cieplnym.

Od wielu lat prowadzone są badania mające na celu poznanie najbardziej efektywnego wykorzystania strumienia wodnego, jego odpowiedniego rozproszenia oraz podawania. Ich głównym celem jest optymalizacja parametrów strumieni wodnych w kontekście prowadzenia działań gaśniczych. Jednym z ośrodków naukowych, gdzie prowadzone są prace badawcze nad efektywnością gaśniczą strumieni wodnych jest Szkoła Główna Służby Pożarniczej, w której wykonywane są liczne prace badawcze i rozwojowe poświęcone tej tematyce pod kierunkiem Jerzego Gałaja i Tomasza Drzymały [3-5, 15]. Wyniki takich badań są również pomocne w rozwoju znanych i szeroko stosowanych modeli pożarów.

## 1. OPIS BADAŃ

### 1.1. Cel i przedmiot badań

Głównym celem badań było określenie wpływu kąta rozpylenia regulowanego przy pomocy głowicy na rozkład intensywności zraszania w strumieniu rozpylonym. Przedmiotem badań była prądownica wodna TurboJet 52 produkowana przez firmę AWG z płynną regulacją wydatku od 100 dm<sup>3</sup>/min do 450 dm<sup>3</sup>/min oraz kąta rozpylenia do 120 stopni. Na rys. 1. przedstawiono widok badanej prądownicy przygotowanej do eksperymentu.



Rys. 1. Widok badanej prądownicy Turbojet 52 przygotowanej do eksperymentu

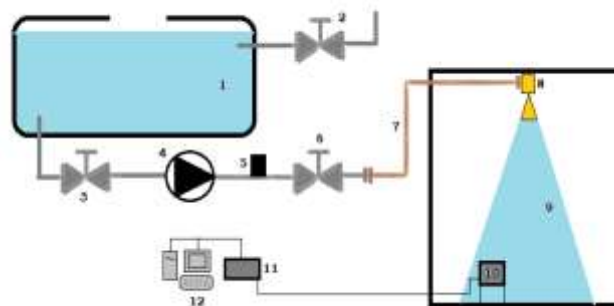
### 1.2. Opis metody pomiarowej

Pomiary parametrów strumienia rozproszonego wody wykonano za pomocą analizatora widma kropeł AWK, który został wyprodukowany przez firmę KAMIKA. Jest to przyrząd przeznaczony 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 z układem elektronicznym przetwarzającym sygnały elektryczne. Połączenie wykonane jest za pomocą kabla o długości 20 metrów. 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 fotodiodę, co powoduje, że w układzie elektronicznym formowane są impulsy elektryczne proporcjonalne do średnic kropeł. Układ elektroniczny połączony jest za pośrednictwem dwóch kabli: sterującego i pomiarowego do specjalnego interfejsu w komputerze, gdzie analizie poddany jest 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 a następnie przeliczane na odpowiednie 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, które używa się w zależności od koncentracji kropeł. Koncentracja kropeł zależna jest od natężenia przepływu cieczy w rozpylaczu i odległości badanego rozpylacza od sondy. Maksymalny całkowity błąd pomiarowy systemu AWK wynosi 2,5%. Analizator AWK daje możliwość wyznaczenia średnich średnic kropeł oraz ich rozkładu w przedziale od 13 µm do 5000 µm [12]

### 1.3. Stanowisko badawcze

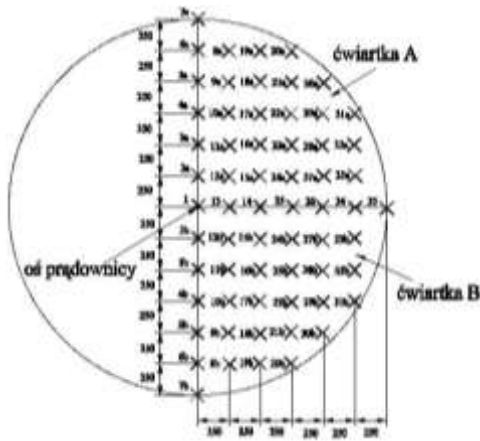
Stanowisko badawcze wraz z układem pomiarowym znajduje się w Szkole Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie w Laboratorium Technicznych Systemów Zabezpieczeń. Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rys. 2. W jego skład stanowiska wchodziła: komora pomiarowa (9), badana prądownica (8) zasilana przez zestaw wysokociśnieniowych pomp (4), zawór regulacyjny (6), zawory wlotowy (2) i wylotowy (3), tensometryczny czujnik ciśnienia CL1 połączony z przetwornikiem CL300, sonda (10), analizator AWK (11) oraz komputer klasy PC (12) z wbudowaną kartą pomiarową systemu AWK i specjalizowanym oprogramowaniem. Rozpylony strumień był analizowany przez sondę AWK, z której dane były przekazywane za pośrednictwem analizatora do komputera. Otwór wlotowy sondy miał powierzchnię równą 254 mm<sup>2</sup>



Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego

### 1.4. Omówienie procedury badawczej

Pomiary rozkładu intensywności zraszania wykonywano w ustalonych punktach pomiarowych, których rozkład na płaszczyźnie podłogi pokazano na rys. 3. 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 (na podstawie wstępnych obserwacji 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).



**Rys. 3.** Schemat rozmieszczenia i numeracja punktów pomiarowych na płaszczyźnie podłogi

Badania prądownicy odbywały się dla wszystkich ustawień przy stabilizowanym ciśnieniu (ciśnienie zasilania około 6 bar) i stałej wydajności 230 dm<sup>3</sup>/min. Zbadano również symetrię osiową osi Ox i Oy. Sonda pomiarowa rozpoczynała pomiar po uruchomieniu zapisu w programie przy pomocy przycisku **Start** i kończyła go automatycznie po czasie 5 min lub po zliczeniu 50 000 kropeł (ustawiony parametr w programie). Mierzony zakres kropeł ustawiony w programie wynosił od 0 mm do 5 mm. Badania przeprowadzono dla trzech kątów rozpylenia strumienia: 60°, 90° i 120°.

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 (czas trwania pomiaru 5 min lub automatycznie po zliczeniu 50 000 kropeł).
8. Zamknięcie zaworu kulowego zasilającego układ.
9. Wykonanie czynności zapisanych w punktach 5-8 dla wszystkich punktów pomiarowych.
10. Zakończenie badania.

Do przedstawienia wyników i ich analizy korzystano ze zliczanych przez program AWK średnich średnic objętościowych kropeł  $D_v$  w  $\mu\text{m}$ , które są najbardziej miarodajne w analizie skuteczności gaśniczej strumienia. Wyznaczanie one były zgodnie z podaną niżej zależnością:

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

gdzie:

$D_i$  – średnia średnica kropeł w i-tym zakresie pomiarowym,  $\mu\text{m}$

$m$  – liczba zakresów pomiarowych

$\Delta n_i$  – liczba zliczonych kropeł zaliczonych do i-tego zakresu pomiarowego

$N$  – liczba wszystkich zliczonych kropeł.

Na podstawie średniej objętościowej średnicy kropeł wyznaczonej przez program AWK dla każdego punktu pomiarowego obliczono intensywność zraszania  $I_z$  (jeden z najistotniejszych parametrów decydujących o efektywności gaśniczej wody) uzyskując tym samym jego rozkład na badanej powierzchni. Zgodnie z definicją jest to ilość

wody, która dociera do danej powierzchni w jednostce czasu. Najczęściej stosowaną w praktyce jednostką jest mm/min. Jako powierzchnię zraszania przyjęto otwór wlotowy sondy. Intensywność zraszania została wyznaczona według następującej zależności:

$$I_z = \frac{\pi \cdot D_v^3 \cdot N \cdot 10^{-9}}{6 \cdot F \cdot t} \quad (2)$$

gdzie:

$D_v$  – średnia średnica objętościowa kropeł,  $\mu\text{m}$

$F=254 \text{ mm}^2$  – powierzchnia otworu wlotowego sondy

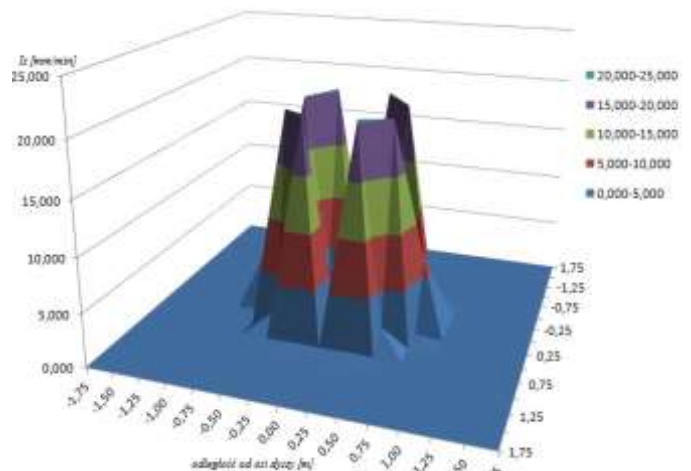
$t$  – czas zliczania kropeł podawany przez program AWK, min

## 2. WYNIKI BADAŃ

W tabelach 1-3 i na rysunkach 4-6 zamieszczono obliczone wartości intensywności zraszania  $I_z$  i jej trójwymiarowe rozkłady dla poszczególnych kątów rozpylenia 60°, 90° i 120°. Pola w tabelach odpowiadające punktom pomiarowym, w których intensywność zraszania była zbliżona do zera pozostawiono puste.

**Tab. 1.** Wartości intensywności zraszania  $I_z$  w mm/min dla kąta rozpylenia 60°

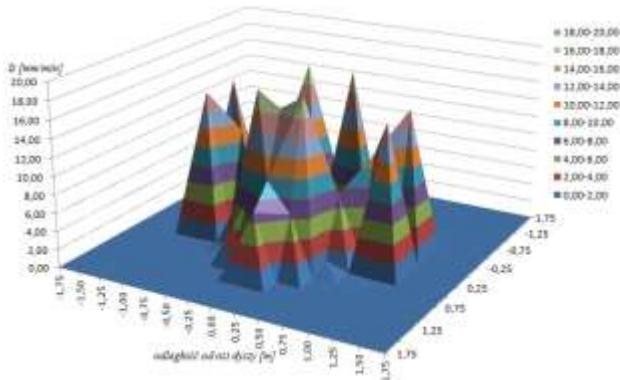
Ox \ Oy	-0,75	-0,50	-0,25	0	0,25	0,50	0,75
0,75			0,07		0,07		
0,50		1,66	20,32	0,47	20,32	1,66	
0,25	0,18	19,94	3,74	0,20	3,74	19,94	0,18
0,00	6,46	2,67	0,07	0,61	0,07	2,67	6,46
-0,25	0,18	19,94	3,74	0,20	3,74	19,94	0,18
-0,50		1,66	20,32	0,47	20,32	1,66	
-0,75			0,07		0,07		



**Rys. 4.** Rozkład intensywności zraszania dla kąta rozpylenia 60°

**Tab. 2.** Wartości intensywności zraszania  $I_z$  w mm/min dla kąta rozpylenia 90°

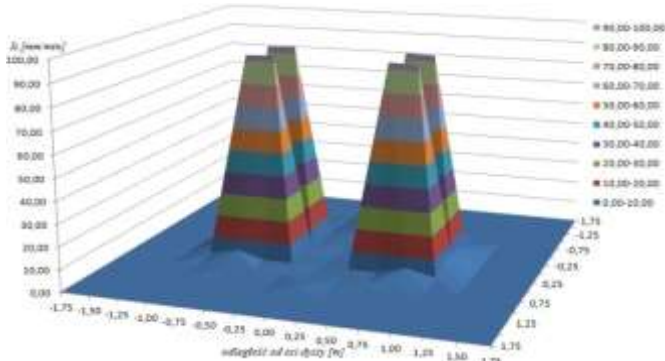
Ox \ Oy	-1	-0,75	-0,50	-0,25	0	0,25	0,50	0,75	1
1,00					7,05				
0,75				6,51	9,62	6,51			
0,50		0,13	0,97	18,19	16,55	18,19	0,97	0,13	
0,25	15,97	1,00	7,39	2,71	1,81	2,71	7,39	1,00	15,97
0,00	0,03	11,39	2,43	0,27	0,09	0,27	2,43	11,39	0,03
-0,25	15,97	1,00	7,39	2,71	0,28	2,71	7,39	1,00	15,97
-0,50		0,13	0,97	18,19	1,47	18,19	0,97	0,13	
-0,75				6,51	3,99	6,51			
-1,00					0,01				



**Rys. 5.** Rozkład intensywności zraszania dla kąta rozpylenia 90°

**Tab. 3.** Wartości intensywności zraszania  $I_z$  w mm/min dla kąta rozpylenia 120°

Ox \ Oy	-1	-0,75	-0,50	-0,25	0	0,25	0,50	0,75	1
1,00					1,28				
0,75		1,20	1,37	0,80	0,56	0,80	1,37	1,20	
0,50	2,38	5,28	1,77	1,84	1,09	1,84	1,77	5,28	2,38
0,25	4,82	92,65	93,13	0,68	0,23	0,68	93,13	92,65	4,82
0,00	0,21	2,45	2,70	1,08	0,03	0,18	2,11	12,17	6,02
-0,25	4,82	92,65	93,13	0,68	0,90	0,68	93,13	92,65	4,82
-0,50	2,38	5,28	1,77	1,84	3,03	1,84	1,77	5,28	2,38
-0,75		1,20	1,37	0,80	3,40	0,80	1,37	1,20	
-1,00					2,70				



**Rys. 6.** Rozkład intensywności zraszania dla kąta rozpylenia 120°

### 3. ANALIZA WYNIKÓW

Analizę przeprowadzono wykorzystując w tym celu wcześniej zdefiniowane globalne wskaźniki takie jak: całkowita średnia intensywność zraszania  $\bar{I}_z$ , średnia promieniowa intensywność zraszania  $\bar{I}_z(r)$ , całkowity średni WNZ i promieniowy WNZ(r) wskaźnik nierównomierności zraszania oraz wskaźnik asymetrii zraszania WAZ. Poniżej podano ich definicję

Całkowita średnia intensywność zraszania jest średnią arytmetyczną intensywności zraszania we wszystkich punktach pomiarowych dla tego samego kąta rozpylenia lub brana łącznie dla wszystkich kątów rozpylenia. Ogólny schemat jej wyznaczania określa następująca zależność:

$$\bar{I}_z = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n} \quad (3)$$

gdzie:

$I_i$  – intensywność zraszania w i-tym punkcie pomiarowym, mm/min  
 $n$  – liczba wszystkich punktów pomiarowych

W tab. 4 zestawiono obliczone wartości średnich intensywności zraszania zarówno dla poszczególnych kątów rozpylenia  $\phi$  jak i dla wszystkich łącznie.

**Tab. 4.** Wartości średnich intensywności zraszania w mm/min dla kątów rozpylenia 60°, 90° i 120° oraz dla wszystkich kątów łącznie

Kąt rozpylenia	60°	90°	120°
$\bar{I}_z$	5,23	5,50	14,16
Średnia	7,77		

Na podstawie danych zamieszczonych w tab. 4 można stwierdzić, że najmniejsze wartości średniej intensywności zraszania otrzymano dla kąta rozpylenia 60° a największe dla kąta 120°, przy czym różnica pomiędzy wartościami intensywności dla kątów 60° i 90° jest niewielka i nie przekracza 0,3 mm/min.

Średnia promieniowa intensywność zraszania jest średnią arytmetyczną intensywności zraszania we wszystkich punktach pomiarowych położonych w tej samej odległości  $r$  od osi prądownicy (środek układu współrzędnych) dla tego samego kąta rozpylenia lub brana łącznie dla wszystkich kątów rozpylenia. Ogólny schemat jej wyznaczania określa następująca zależność:

$$\bar{I}_z(r) = \frac{\sum_{j=1}^{n_r} I_j}{n_r} \quad (4)$$

gdzie:

$I_j$  – intensywność zraszania w j-tym punkcie pomiarowym położonym na promieniu  $r$ , mm/min

$n_r$  – liczba wszystkich punktów pomiarowych położonych na promieniu  $r$

W tab. 5 zestawiono wartości promieniowej średniej intensywności zraszania zarówno dla poszczególnych kątów rozpylenia jak i dla wszystkich kątów łącznie.

**Tab. 5.** Wartości średnich promieniowych intensywności zraszania w mm/min dla kątów rozpylenia 60°, 90° i 120° oraz dla wszystkich kątów łącznie

Kąt rozpylenia	Odległość $r$ od osi prądownicy [m]			
	0,25	0,50	0,75	1,00
60°	0,4	17,8	2,6	-
90°	4,4	6,9	12,9	2,6
120°	1,3	6,5	8,4	5,0
Średnia	2,0	10,4	8,0	3,8

Na podstawie wartości zamieszczonych w tab. 5 można stwierdzić, że bez względu na kąt rozpylenia największą średnią intensywnością zraszania charakteryzuje się obszar położony pomiędzy promieniem  $r=0,5$  m a promieniem  $r=0,75$  m, natomiast wartości minimalne średniej intensywności zraszania na ogół występują w obszarze zbliżonym do osi prądownicy. Największą średnią wartość intensywności zraszania równą 17,8 mm/min otrzymano dla kąta 60° i promienia  $r=0,5$  m, natomiast najmniejszą równą 0,4 mm/min dla tego samego kąta, ale promienia  $r=0,25$  m.

Wskaźnik nierównomierności zraszania WNZ charakteryzuje stopień odchylenia intensywności zraszania wyznaczonych dla poszczególnych punktów pomiarowych od średniej wartości intensywności zraszania. Wskaźnik ten jest obliczamy za pomocą następującego wzoru:

$$WNZ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I}_z)^2}{n}} \quad (4)$$

Obliczone wartości wskaźnika WNZ dla poszczególnych kątów rozpylenia i dla wszystkich łącznie zamieszczono w tab. 6.

**Tab. 6.** Wartości wskaźnika WNZ w mm/min dla kątów rozpylenia 60°, 90° i 120° oraz dla wszystkich kątów łącznie

Kąt rozpylenia [°]	60	90	120
WNZ	15,25	9,59	14,55
Średnia	13,13		

Na podstawie średniej wartości globalnego wskaźnika WNZ zamieszczonych w tab. 6 można stwierdzić, że rozpylany strumień posiada znaczną nierównomierność zraszania zwłaszcza dla kątów rozpylenia 60° i 120°. Średnia globalna wartość wskaźnika przekracza 13 mm/min.

Promieniowy wskaźnik nierównomierności zraszania WNZ(r) charakteryzuje odchylenie intensywności zraszania od wartości średniej w punktach położonych na promieniu r i może być wyznaczony z następującej zależności:

$$WNZ = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n_r} [I_j - \bar{I}_z(r)]^2}{n_r}} \quad (5)$$

Wyznaczone średnie wartości promieniowego wskaźnika nierównomierności zraszania zestawiono w tab. 7.

**Tab. 7.** Wartości promieniowego wskaźnika WNZ(r) w mm/min dla kątów rozpylenia 60°, 90° i 120° oraz dla wszystkich kątów łącznie

Kąt rozpylenia [°]	Odległość od osi prądownicy r [m]			
	0,25	0,5	0,75	1,00
60	0,1	19,8	0,4	-
90	7,4	8,4	10,6	3,5
120	1,3	4,3	4,9	5,5
Średnia	2,9	10,8	5,3	4,5

Na podstawie wartości średnich promieniowego wskaźnika nierównomierności zraszania zamieszczonych w tab. 7 można stwierdzić, że w przypadku kąta rozpylenia 120° wraz ze zwiększaniem odległości r od osi prądownicy wartości wskaźnika nierównomierności rosną, przy czym są one wtedy najmniejsze i nie przekraczają 6 mm/min. W przypadku pozostałych kątów rozpylenia nie występują już tak wyraźne prawidłowości. Przykładowo dla kąta 90° rosną one aż do odległości od dyszy r=0,75 m, po czym przy dalszym zwiększaniu odległości gwałtownie spadają osiągając na promieniu r=1 m wartość mniejszą od 4 mm/min. Największą nierównomierność zraszania odpowiadającą wskaźnikowi WNZ(r)=19,8 mm/min otrzymano w odległości r=0,5 m dla kąta rozpylenia 60°.

Wskaźnik asymetrii zraszania WAZ służy do określenia stopnia asymetrii strumienia rozpylonego względem osi Ox i Oy łącznie. Jest on wyznaczany na podstawie następującej zależności:

$$WAZ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m_x} [I_{ipx}(r) - I_{iix}(r)]^2 + \sum_{j=1}^{m_y} [I_{ipy}(r) - I_{ijx}(r)]^2}{m_x + m_y}} \quad (6)$$

gdzie:

$I_{ipx}(r)$  – wartość intensywności zraszania w i-tym punkcie pomiarowym położonym na promieniu r po stronie dodatniej półosi Ox, mm/min

$I_{ijx}(r)$  - wartość intensywności zraszania w i-tym punkcie pomiarowym położonym na promieniu r po stronie ujemnej półosi Ox lub Oy, mm/min

$I_{ipy}(r)$  – wartość intensywności zraszania w i-tym punkcie pomiarowym położonym na promieniu r po stronie dodatniej półosi Oy, mm/min

$I_{ijy}(r)$  - wartość intensywności zraszania w i-tym punkcie pomiarowym położonym na promieniu r po stronie ujemnej półosi Oy, mm/min  
 $m_x$  – liczba punktów pomiarowych położonych po jednej stronie osi Ox  
 $m_y$  – liczba punktów pomiarowych położonych po jednej stronie osi Oy

Obliczone średnie wartości wskaźnika asymetrii zraszania WAZ dla wybranych kątów rozpylenia 90° i 120° oraz dla obu łącznie zestawiono w tab. 8.

**Tab. 8.** Wartości globalnego wskaźnika WAZ w mm/min dla kątów rozpylenia 90° i 120° oraz jej średniej wartości dla tych kątów

Kąt rozpylenia [°]	90	120
WAZ	4,42	5,01
Średnia	4,71	

Na podstawie wartości wskaźnika WAZ zamieszczonych w tab. 8 można stwierdzić, że istnieje znaczna asymetria badanego strumienia dla kątów rozpylenia 90° i 120°. Można przypuszczać, że występuje ona również w przypadku innych kątów rozpylenia. Nieco większą asymetrią intensywności zraszania charakteryzował się strumień o większym kącie rozpylenia (WAZ=5,01 mm/min).

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

W ramach niniejszej pracy przeprowadzono badania laboratoryjne mające na celu przeanalizowanie wpływu kąta rozpylenia strumienia rozproszonego generowanego przez powszechnie stosowaną w Państwowej Straży Pożarnej prądownicę Turbojet 52 na rozkład intensywności zraszania powierzchni poziomej podłogi, na którą ten strumień padał. Ze względu na dużą liczbę punktów pomiarowych ograniczono się tylko do tych, które były położone w jednej wybranej ćwiartce koła o maksymalnym promieniu 1 m a także na osiach Ox i Oy m.in. w celu oceny jego ewentualnej asymetrii. Testy wykonano dla trzech kątów rozpylenia 60°, 90° i 120°. Otrzymane wyniki przedstawiono zarówno w formie tabelarycznej jak i graficznej w postaci trójwymiarowych wykresów. Zdefiniowano kilka wskaźników takich jak średnia globalna i promieniowa intensywność zraszania oraz wskaźniki nierównomierności i asymetrii zraszania, które znacznie ułatwiły analizę uzyskanych wyników. Na ich podstawie sformułowano następujące wnioski końcowe:

1. Największą średnią wartość intensywności zraszania w badanym obszarze równą 14,16 mm/min otrzymano dla kąta rozpylenia 120°, a najmniejszą prawie trzykrotnie mniejszą równą 5,23 mm/min dla kąta 60°.
2. Najlepiej zraszonym obszarem w przypadku wszystkich badanych kątów rozpylenia była powierzchnia pierścienia ograniczonego od dołu promieniem 0,5 m a od góry 0,75 m. Największą wartość średniej promieniowej intensywności zraszania dla kąta rozpylenia 60° zaobserwowano w odległości 0,5 m, natomiast dla kątów 90° i 120° w odległości 0,75 m od osi prądownicy.
3. Największą globalną nierównomierność zraszania zanotowano w przypadku kąta rozpylenia 60°, niewiele mniejszą w przypadku kąta 120°, natomiast wyraźnie najmniejszą dla kąta 90°.
4. W większości badanych przypadków w obszarze ograniczonym promieniem r=0,75 m nierównomierność zraszania wzrasta wraz z odległością od osi prądownicy. Jedyny wyjątek stanowi tutaj kąt rozpylenia 60°, dla którego otrzymano największą wartość wskaźnika nierównomierności zraszania w odległości r=0,5 m.
5. Badany strumień rozpylony charakteryzował się dosyć znaczną asymetrią w przypadku kątów rozpylenia 90° i 120°. Dla kąta 60°

nie przeprowadzono w tym zakresie badań ze względu na uszkodzenie sondy, ale należy przypuszczać, że również i w tym przypadku zaobserwowano by asymetrię.

Reasumując na podstawie obliczonych globalnych wskaźników (WAZ) celowe wydaje się przeprowadzenie dodatkowych badań laboratoryjnych w pozostałych ćwiartkach okręgu o promieniu  $r=1,0$  m z uwzględnieniem tych samych kątów rozpylenia celem dokonania głębszej analizy wskaźników generowanego strumienia rozpylonego wody. Jednak ze względu na zbliżenie procesu badawczego do rzeczywistych warunków wskazane byłoby wykonanie pełnych testów w warunkach poligonowych z prądownicą pochyloną pod kątem zazwyczaj stosowanym podczas akcji. W ostatnim okresie takie badania zostały zaplanowane i wykonane a obecnie są opracowywane ich wyniki.

## BIBLIOGRAFIA

1. Bielecki P., *Podstawy taktyki gaszenia pożarów*. SA PSP, Kraków 1996.
2. Farley J., Scheffey J., Naval Research Laboratory - US Navy - *NRL Ltr Rpt 6180/0798.2*, Nov 17 1994.
3. Gałaj J., Kieliszek S., *Badanie wpływu niektórych własności geometrycznych dysz na parametry strumienia rozpylonego*. Prace Naukowe Politechniki Radomskiej, Transport nr 2(20) 2004.
4. Gałaj J., Drzymała T., *Badanie wpływu ciśnienia zasilania na parametry strumienia rozpylonego wytwarzanego przez dyszę nadźwiękową*. Prace Naukowe Politechniki Radomskiej, Transport nr 3(23) 2005.
5. Gałaj J., Drzymała T., *Projekt rozwojowy nr O ROB 0010 03 001 „Nowoczesne narzędzia inżynierskie do wspomagania decyzji, przeznaczone dla dowódców podczas działań ratowniczo gaśniczych PSP w obiektach budowlanych”*. Sprawozdanie z IV etapu. Warszawa 2014.
6. Gil D., Placek P., *Wyposażenie techniczne – armatura wodna i pianowa*, Częstochowa 2003.
7. Grimwood P., *Rozgorzenie i techniki operowania prądami wodnymi* ([www.firetactics.com](http://www.firetactics.com)).
8. Grimwood P., *Flashover & Nozzle Techniques*, Tactical Firefighting, Londyn 2002.
9. Grimwood, P., *Fire-fighting flow-rate*, London 2005.
10. Kaleta A., *Wpływ rozdrobnienia strumienia wodnego na jego skuteczność gaśniczą*. Warszawa, BIT KGSP 2/1985.
11. Kamiński, A., *Sytuacje pożarowe, siły i środki niezbędne w działaniach taktycznych*. Wydawnictwo SGSP, Warszawa 1998, s.111.
12. KAMIKA Zakład Elektronicznej Aparatury Pomiarowej, AWK SYSTEM. *Analiza Wielkości Częstek  $K_{\mu K}$* , Warszawa 1999.
13. Kochan Ł., *Badanie własności przepływowych wybranych prądownic wodnych aktualnie stosowanych w działaniach PSP*, Praca inżynierska SGSP, Warszawa 2014.
14. Kokot-Góra Sz., *Techniki operowania prądami gaśniczymi*, Opole 2015.
15. Kolman R., *Badanie wpływu wybranych parametrów geometrycznych dyszy i ciśnienia zasilania na parametry strumienia rozpylonego*, Warszawa 2004.
16. Mawhinney J., Richardson J., *A Review of Water Mist Fire Suppression Research and Development*, Fire Technology 1996, s. 54-90.
17. Mawhinney J.R., *Engineering Criteria for Water mist Fire Suppression Systems*, Ottawa 1993.
18. Orzechowski Z., Prywer J., *Wytwarzanie i zastosowanie rozpylonej cieczy*, WNT, Warszawa 2008.
19. Orzechowski Z., Prywer J., Zarzycki R., *Mechanika płynów w inżynierii środowiska*, WNT, Warszawa 1997.
20. Placek P., *Spręż i armatura wodna*, Warszawa 2011.
21. PN-EN 15182-1:2007 *Prądownice dla straży pożarnej. Część 1. Wymagania ogólne*.
22. PN-EN 15182-2:2007 *Prądownice dla straży pożarnej. Część 2. Prądownice uniwersalne PN 16*.

### Analysis of the influence of Turbojet 52 nozzle spray angle on distribution of sprinkling intensity

*This paper presents studies on the influence of the spray angle on the distribution of sprinkling intensity in a spray generated by the TurboJet 52 nozzle. Among the others the following is 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°. The obtained results are presented in a tabular and graphical form. Based on the analysis of results the conclusion are formulated, important not only for the theoretical considerations but also in practice, especially in the context of water stream operation by the firefighters during rescue and fire-fighting actions.*

Autorzy:

bryg. dr hab. inż. **Jerzy Gałaj**, prof. SGSP – Szkoła Główna Służby Pożarnej w Warszawie, Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego, Katedra Techniki Pożarnej, Zakład Hydromechaniki i Przeciwpożarowego Zaopatrzenia w Wodę, [galaj@sgsp.edu.pl](mailto:galaj@sgsp.edu.pl)

mł. bryg. dr inż. **Tomasz Drzymała** – Szkoła Główna Służby Pożarnej w Warszawie, Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego, Katedra Bezpieczeństwa Budowli i Rozpoznawania Zagrożeń, Zakład Podstaw Budownictwa i Materiałów Budowlanych, [tomekdrzymala@wp.pl](mailto:tomekdrzymala@wp.pl)

mł. kpt. mgr inż. **Radosław Zadorożny** – Państwowa Straż Pożarna