

bryg. dr hab. inż. **Jerzy Gałaj**, prof. SGSP¹
mł. bryg. dr inż. **Tomasz Drzymała**¹
mł. kpt. inż. **Daniel Tabaka**¹

Przyjęty/Accepted/Принята: 16.05.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 05.09.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2016;

Analiza wpływu wydajności i kąta rozpylenia na rozkład średnic kropeł w strumieniu rozpylonym wytwarzanym przez prądownicę Turbo Master 52²

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

Анализ влияния производительности и угла распыления на распределение диаметра капель в струе из пожарного ствола TURBO MASTER 52

ABSTRAKT

Cel: Średnice kropeł w strumieniu rozpylonym mają istotny wpływ na jego skuteczność gaśniczą. W związku z powyższym niniejsza praca miała na celu wyznaczenie rozkładu średnic kropeł w strumieniu rozpylonym podawanym z prądownicy Turbo Master 52 przy różnych wydajnościach i kątach rozpylenia, a następnie przeanalizowanie wpływu ostatniego z wymienionych parametrów na ten rozkład.

Metody: Badania przeprowadzono dla trzech standardowych wydajności prądownicy: 200 dm³/min, 300 dm³/min i 400 dm³/min, które mierzono przy pomocy przepływomierza elektromagnetycznego. Pomiar średnic kropeł zrealizowano przy pomocy sondy AWK produkcji KAMIKA Instruments, która została połączona z analizatorem kropeł współpracującym poprzez specjalną kartę z zestawem komputerowym. Zainstalowane oprogramowanie specjalistyczne wskazanej wyżej firmy umożliwia nie tylko odczyt średnich objętościowych średnic kropeł, ale również czas pomiaru, liczbę kropeł zliczoną w poszczególnych przedziałach średnic oraz sumaryczną liczbę zliczonych kropeł. Według producenta całkowity błąd pomiaru nie przekracza 2,5%. Po wstępnym wyznaczeniu elipsy zraszania dla każdego przypadku określano położenie punktów pomiarowych.

Wyniki: Dzięki przeprowadzonym eksperymentom uzyskano zbiór wielkości średnich średnic kropeł w wyznaczonych punktach pomiarowych dla różnych wydajności i kątów rozpylenia. W celu porównania otrzymanych wyników i ich oceny zdefiniowano kilka parametrów, takich jak: całkowita średnia średnica kropeł, wskaźnik nierównomierności rozpylenia i wskaźnik odchylenia od średnicy optymalnej. W postaci tabelarycznej i graficznej przedstawiono zależności tych parametrów od wydajności prądownicy.

Wnioski: Na podstawie przeprowadzonych badań uzyskano informację nt. wpływu wydajności prądownicy na średnią średnicę objętościową rozpylanych kropeł oraz na wartości wskaźników odchylenia od średnicy optymalnej i nierównomierności rozpylenia. Pozwala ona na wybór odpowiedniej wydajności prądownicy przy danym kącie jej pochylenia i rozpylenia strumienia, dla której skuteczność gaśnicza będzie największa. Odpowiada ona najmniejszym wartościom obydwu wskaźników.

Słowa kluczowe: gaszenie pożarów, strumień, prądownice wodne, strumień rozpylony, rozkład średnic kropeł, intensywność zraszania, powierzchnia zraszania

Typ artykułu: doniesienie wstępne

ABSTRACT

Aim: As the diameters of the droplets in a spray stream have a significant impact on the effectiveness of the extinguishing process, the main purpose of this work was to determine the distribution of water droplet diameters in the spray stream supplied from the Turbo Master 52 nozzle at various flow rates and spray angles and then analyse the impact of the latter parameter on this distribution.

Methods: Three standard nozzle flow rates were used in the experiment – 200 dm³/min, 300 dm³/min and 400 dm³/min - and they were measured using an electromagnetic flow meter. The measurement of droplet diameters was carried out using an AWK probe manufactured by KAMIKA Instruments, which was connected to a droplet analyser communicating through a special card with a computer set. The installed specialised software from the same company not only allows you to read average volumetric droplet diameters, but also the time of measurement,

¹ Szkoła Główna Służby Pożarniczej / The Main School of Fire Service, Warsaw, Poland; galaj@sgsp.edu.pl;

² Procentowy wkład merytoryczny w przygotowanie artykułu / Percentage contribution: J. Gałaj – 40%, T. Drzymała – 40%, D. Tabaka – 20%;

the counted number of drops in the individual diameter intervals and the total number of counted drops. According to the manufacturer, the total measurement error does not exceed 2.5%. After the initial determination of the spraying ellipse, the position of the measuring points was determined for each case.

Results: The performed experiments allowed obtaining a set of average droplet diameters at the designated measuring points for different flow rates and spray angles. In order to compare the obtained results and to evaluate them, several parameters, such as the overall average diameter of all droplets, uneven spraying indicator, and the indicator of deviation from the optimum diameter were defined. The dependences of these parameters on the flow rate of the nozzle were presented in tabular and graphical forms.

Conclusions: Based on the performed experiments, information on the impact of the flow rate of the nozzle on the average volume diameter of spray droplets and the values of the indicators of deviation from the optimal diameter and uneven spraying were obtained. This allows us to select the appropriate flow rate of the nozzle at a given tilt angle and spray angle, which will be the most effective for firefighting. It corresponds to the lowest values of both indicators.

Keywords: fire extinguishing, spray, water nozzle, water stream, water-droplet diameter, sprinkling intensity, sprinkling area

Type of article: short scientific report

АННОТАЦИЯ

Цель: Поскольку диаметры капель в распыленном потоке оказывают существенное влияние на его гасящую эффективность, целью данной работы было определение распределения диаметра капель в струе, подаваемой из ствола Turbo Master 52, при разных значениях производительности и углах распыления, а также анализ влияния последнего из вышеуказанных параметров на данное распределение.

Методы: Исследования были проведены для трех стандартных значений производительности: 200 дм³/мин, 300 дм³/мин и 400 дм³/мин. Значения были определены с помощью электромагнитного расходомера. Измерение диаметра капель было проведено с использованием зонда AWK, изготовленного Kamika Instruments, подключенного к анализатору капель взаимодействующему через специальную карту с компьютером. Установленное специальное программное обеспечение этой фирмы позволяет не только получить средний объемный диаметр капель, но также время измерения, число капель в отдельных отсеках диаметра и общее количество подсчитанных капель. По словам производителя, суммарная погрешность измерения не превышает 2,5%. После первоначального определения эллипса орошения для каждого случая было определено расположение точек измерения.

Результаты: Благодаря проведенным экспериментам получена информация о средних величинах диаметра капель в специально определенных точках измерения для различных значений производительности и углов распыления. Для сравнения полученных результатов и их оценки было определено несколько параметров, таких как общий средний диаметр капель, индекс неравномерности распыления и индекс отклонения от оптимального диаметра. В форме таблиц и графически показана зависимость этих параметров от производительности ствола.

Выводы: На основании проведенных исследований была получена информация о влиянии производительности ствола на средний диаметр распыляемых капель, а также на значения отклонений от оптимального диаметра и неравномерного распыления. Это позволяет выбрать соответствующую производительность ствола при определенном угле ее наклона и распыления потока, для которой гасящая эффективность будет наилучшая. Это соответствует самым низким значениям обоих показателей.

Ключевые слова: тушение пожаров, струя, стволы, распыленная струя, распределение диаметра капель, интенсивность орошения поверхность орошения

Вид статьи: предварительный отчет

1. Wprowadzenie

Już w czasach najdawniejszych człowiek podejmował próby walki z jednym z najgroźniejszych żywiołów, jakim jest ogień. Zarówno wtedy, jak i obecnie najczęściej stosowanym środkiem do walki z pożarem była i jest woda. Jest to związane z jej właściwościami fizykochemicznymi, między innymi dużą pojemnością cieplną oraz największym ze wszystkich cieczy ciepłem parowania. Woda jest także ogólnodostępna, tania oraz neutralna dla otaczającego środowiska [1].

Mimo że do ugaszenia większości pożarów używana jest właśnie woda, nie zawsze jej wykorzystanie jest w pełni efektywne. Skuteczność prowadzenia działań gaśniczych zależy głównie od rodzaju strumienia wodnego podawanego na pożar. Od lat prowadzone są badania mające na celu poznanie najbardziej efektywnego sposobu wykorzystania strumienia wodnego, jego odpowiedniego rozproszenia oraz podawania. 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. W połowie XX wieku Rasbash opublikował prace dotyczące gaszenia rozlewisk węglowodorowych mgłą wodną, w których analizował zależność pomiędzy wielkością kropli i prędkością mgły a efektywnością gaszenia [23]. Jego doświadczenia nie tylko przyniosły wiele cennych wniosków, ale przede wszystkim zrewolucjonizowały ówczesne pożarnictwo. Nieco później, pod koniec lat 70. XX wieku, badania marynarki wojennej USA stworzyły podwaliny dzisiejszych

1. Introduction

Since ancient times mankind has made attempts to fight one of the most dangerous elements – fire. Both then and at present the most commonly used means of fighting fire was, and still is, water. This is due to its physicochemical properties, including its large heat capacity and the highest vaporisation temperature of all liquids. Water is also widely available, inexpensive and neutral for the environment [1].

Although extinguishing most fires requires water, using it is not always fully effective. The effectiveness of firefighting operations depends mainly on the kind of water spray applied to the fire. For many years research has been conducted on the most effective methods of using water spray, nozzle patterns and supply. The main objective of these studies has been to optimise water spray parameters in the context of conducting firefighting operations. Over the years it has been demonstrated that, among other things, dispersed streams enable firefighters to take better advantage of water and its extinguishing properties. In the middle of the 20th century, David Rasbash published several works on extinguishing hydrocarbon spill fires using water mist, in which he analysed the correlation between the droplet size/spray speed and extinguishing effectiveness [23]. His experiments not only led to many valuable conclusions, but – above all – spawned a revolution in firefighting. Later, at the end of the 1970s, studies by the American Navy prepared the ground for today's water-based firefighting systems in buildings [2], [16-17]. This

wodnych instalacji przeciwpożarowych w obiektach [2], [16-17]. Dzięki nim wzrosła również ranga szeroko rozumianej prewencji – zabezpieczenia budynków przed pożarami. Zauważono bowiem wymierne korzyści wynikające ze stosowania stałych urządzeń gaśniczych w budynkach. W konsekwencji dało to impuls do rozwoju technicznych systemów zabezpieczeń przeciwpożarowych. Współcześnie badania strumieni rozpylonych przeprowadzał amerykański strażak – instruktor Paul Grimwood. Analizował on głównie pożary wewnętrzne. W swoich publikacjach [7-9] podjął 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 wskutek zalania części obiektów nieobjętych strefą spalania. Grimwood jako wieloletni praktyk, bazując na własnym doświadczeniu, skupił się w swojej pracy przede wszystkim na praktycznych aspektach wykorzystania strumieni wodnych, takich jak np. techniki operowania prądami gaśniczymi. W publikacji jednak określił również m.in. teoretyczną i praktyczną zdolność chłodzenia wody. Ponadto w oparciu o opracowania literaturowe z wielu krajów przedstawił 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. Mimo że w literaturze, zwłaszcza amerykańskiej i skandynawskiej, można znaleźć różne opracowania dotyczące prądów wodnych stosowanych w pożarnictwie, żadne z nich nie wyczerpuje w pełni poruszanej tematyki. Istnieje również szereg publikacji dotyczących teorii i badań rozpylonych strumieni wodnych generowanych przez dysze, tryskacze lub zraszacze [3], [4], [10], [15], [18-20]. 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 otrzymuje się coraz 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. Stosowane współcześnie 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. Pozwala to na optymalny dobór parametrów prądu gaśniczego do rodzaju palącego się materiału. Jest to istotne, gdyż nieskuteczne używanie wody może doprowadzić do przedwczesnego zużycia środka i wydłużenia prowadzonej akcji gaśniczej [11], [14]. Ze względu na swoją uniwersalność i skuteczność stosowania prądownicy typu Turbo są podstawowym narzędziem stosowanym przez Państwową Straż Pożarną [6], [14], [23].

Głównym celem artykułu było przeprowadzenie badań doświadczalnych mających dać podstawę do ustalenia wpływu wydajności wody podanej przez prądownicę Turbo Master 52 na rozkład średnic wytworzonych kropeł. Otrzymane wyniki pozwoliły na przeanalizowanie efektywności badanej prądownicy oraz jej przydatności w działaniach ratowniczych.

led to increasing the role of widely understood prevention measures to protect buildings from fires, as the measurable benefits of using fixed extinguishing equipment in buildings were recognised. As a consequence, there was a boost in the development of fire protection systems. Today research on spray streams is being conducted by the British firefighter and instructor Paul Grimwood. He has focused on fires occurring in buildings. In his publications [7-9] he addressed the issue of using dispersed streams and the related question of water droplet diameters characterised by the high efficiency of cooling ceiling areas, efficient heat reception and a considerable reduction in post-fire damage arising from flooding objects not within the fire zone. Grimwood, as a long-term practitioner, drew on his own experience, and in his work focused mainly on the practical aspects of water streams, such as the techniques of using extinguishing streams. In his publication he also included the theoretical and practical cooling properties of water. Moreover, drawing on the extensive literature on the subject from many countries he provided a review of the recognised optimum values of droplet diameter in the context of their ability to reduce the temperature of a fire. These are between 200 μm and 500 μm , depending on the kind and stage of the fire. All the quoted studies confirm that firefighting has been dominated by spray streams. The problem is the fact that knowledge in this field is still too limited. Although, in the literature, mostly American and Scandinavian, a variety of papers related to the use of water streams used in firefighting can be found, none of them is exhaustive. There are also some publications about the theory and studies into water spray streams generated by nozzles, sprinkler heads and sprinklers [3], [4], [10], [15], [18-20]. No papers about sprinkled streams emitted by nozzles in real-time conditions are still to be found in the literature, and it should be stressed that it is a very important practical aspect, as fire duration depends on extinguishing effectiveness.

Thanks to the development of new technologies in the field of fire protection, there are an increasing number of viable devices for the effective supply of different water sprays. There are many streams, from the “mist” type, with a low flow rate and big sprays, to tight streams with a high flow rate and big droplets. The currently used nozzles – the Turbo – type allow the easy regulation of the spray angle and flow rate, so they can be adjusted to various kinds of offensive and defensive firefighting operations. This provides an opportunity to choose the optimum parameters of the extinguishing stream to the kind of burning material. It is crucial, as ineffective use of water can lead to prematurely running out of the extinguishing agent and prolonging the firefighting operation [11], [14]. Because of its universal and effective usage, Turbo-type nozzles are the basic piece of equipment used by the State Fire Brigade [6], [14], [23].

The main purpose of this article involved experimental studies aimed at establishing the basis for establishing the impact of the flow rate of water supplied by the Turbo Master 52 nozzle on the distribution of water droplet diameters. The obtained results enabled the authors to analyse the effectiveness of the studied nozzle and its usefulness in rescue actions.

2. The Test Stand and Measurement Methodology

The studies were conducted in the Fire-Fighting Equipment Laboratory in the Main School of Fire Service in Warsaw, on a specially adjusted test bench. The subject of the research was a Turbo Master 52 nozzle, shown in Fig. 1.

The Turbo Master 52 water nozzle is a new-generation device in the AWG turbo product range. It is a nozzle with adjustable flow rate. It allows three stream types, by easily

2. Stanowisko badawcze i metodyka pomiarów

Badania zostały przeprowadzone w Laboratorium Sprzętu Ratowniczo-Gaśniczego w Szkole Głównej Służby Pożarnej w Warszawie, na specjalnie do tego celu przystosowanym stanowisku badawczym. Przedmiotem badań była prądownica Turbo Master 52 pokazana na ryc. 1.

adjusting the spray stream-cone angle, and has an integrated cleaning (rinsing) function. The flow rate is adjusted by turning a ring. After turning the ring fully clockwise the cleaning function is activated - it allows you to rinse the dirt with a diameter of up to 6 mm. The nozzle provides flow rate adjustments with the 100-200-300-400 l/min options and a rinsing function. Between the diffused and “umbrella-type” stream it is possible to easily adjust the cone angle to a max-



Ryc. 1. Prądownica Turbo Master 52 [24]
Fig. 1. The Turbo Master 52 Water Nozzle [24]



Ryc. 2. Analizator AWK
Fig. 2. The AWK analyser
Źródło: Archiwum własne.
Source: Own archive.



Ryc. 3. Sonda pomiarowa umieszczona na stojaku
Fig. 3. Measuring probe mounted to the stand
Źródło: Archiwum własne.
Source: Own archive.

Prądownica Turbo Master 52 to urządzenie nowej generacji turbo produkcji AWG. Jest to prądownica z regulowaną wydajnością. Pozwala uzyskać trzy rodzaje strumienia, płynnie regulować kąt rozwarcia strumienia rozproszonego, a także posiada zintegrowaną funkcję oczyszczania (płukania). Wydajność regulowana jest przy pomocy obrotowego pierścienia. Po przekręceniu pierścienia skrajnie w prawo uruchamia się funkcję oczyszczania – pozwala to na wypłukanie zanieczyszczeń o średnicy do 6 mm. Prądownica posiada regulację wydajności na następujących nastawach 100-200-300-400 l/min oraz płukanie. Pomiędzy strumieniem rozproszonym a parasolowym możliwa jest płynna regulacja kąta rozwarcia do maksymalnie 160°. Skrajne położenie uruchamia parasol ochraniający operatora przed promieniowaniem cieplnym. Ciśnienie robocze badanej w pracy prądownicy Turbo Master wynosi 0,6 MPa, natomiast ciśnienie maksymalne jest równe 1,6 MPa [25-26].

Do przeprowadzenia badań wpływu wydajności na wielkość średnic kropeł w strumieniu rozpylnym użyto analizatora widma kropeł AWK (ryc. 2) wyprodukowanego przez firmę KAMIKA Instruments w Warszawie. Przyrząd ten w warunkach laboratoryjnych lub poligonowych służy do pomiaru rozkładu rozpylnych i swobodnie opadających kropeł w powietrzu w zakresie od 5 µm do 5 mm. Zestaw pomiarowy AWK składa się z sondy pomiarowej (ryc. 3), w której znajduje się przetwornik fotoelektryczny połączony z układem elektronicznym przetwarzającym sygnały elektryczne. Połączenie wykonane jest z kabla o długości 20 m. Sonda ma układ optyczny składający się z nadajnika oraz odbiornika światła podczerwonego [12].

Swobodnie opadające krople po dostaniu się do wnętrza sondy na skutek zjawiska rozproszenia zaburzają odbiór podczerwieni przez fotodiode. W układzie elektronicznym formowane są wtedy impulsy elektryczne proporcjonalne do średnic kropeł. Układ elektroniczny połączony jest przez dwa kable: sterujący i pomiarowy 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 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 kropeł. Koncentracja kropeł zależna jest od natężenia przepływu cieczy w rozpylaczu i odległości badanego rozpylacza od sondy. Maksymalny całkowity błąd pomiarowy systemu wynosi 2,5%. Należy zwrócić uwagę na to, iż dokładność może zostać zaburzona poprzez zalanie układu pomiarowego sondy. Sygnalizuje to wskaźnik diodowy umieszczony na analizatorze AWK. Po zalaniu układu należy przerwać pomiar, aż do czasu wysuszenia sondy [10], [30].

Stanowisko badawcze (ryc. 4) składa się z układu pompowego (5), zbiornika na wodę (4), który stanowi bufor wodny i zasilany jest z hydrantu (1) za pośrednictwem węża W75 (2). Na wejściu do zbiornika znajduje się zawór (3), przy pomocy którego zamykany lub otwierany jest dopływ wody z hydrantu. Układ pompowy (5) tłoczy wodę i podaje ją pod ciśnieniem do układu zakończonego badaną prądownicą (12). Stojak (13) umożliwia regulację kąta pochylenia prądownicy względem podłoża. Prądownica wytwarza strumień rozpylny, a następnie opadające krople analizowane są przez sondę AWK (14) o powierzchni otworu wlotowego 254 mm². Sonda umieszczona jest na specjalnym stojaku około 50 cm

imum of 160°. The maximum setting generates a protection “umbrella” protecting the operator from heat radiation. The operating pressure of the analysed Turbo Master nozzle is 0.6 MPa, and the maximum pressure is 1.6 MPa [25-26].

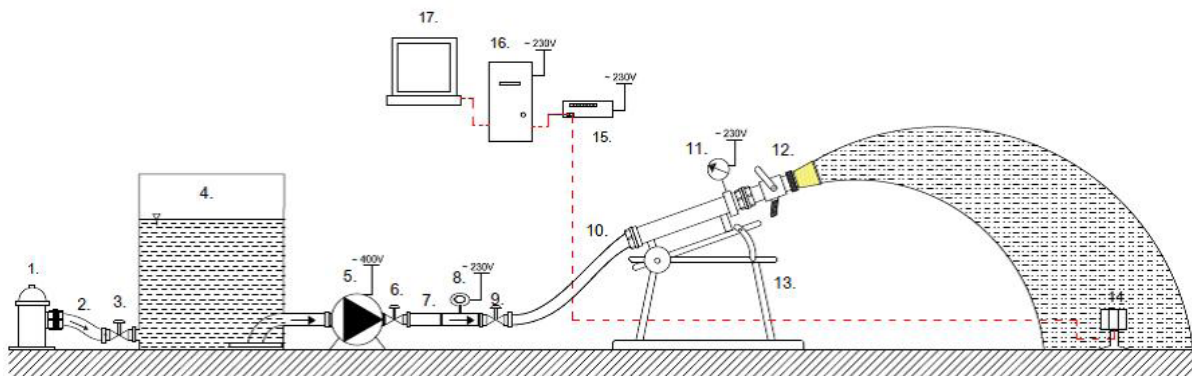
The impact of flow rate on droplet diameter in a sprayed stream was analysed using the AWK droplet-spectrum analyser (Fig. 2), produced by KAMIKA Instruments in Warsaw. In the laboratory or field conditions this device is used for measuring the distribution of sprayed and freely falling droplets in the air in the range of 5 µm to 5 mm. The AWK measuring set consists of a measuring probe (Fig. 3) which includes a photoelectric converter connected to an electronic circuit the electric signals. Connections are through a 20-m-long cable. The probe has an optical circuit comprising an infra-red light transmitter and a receiver [12].

Free-falling droplets, after penetrating the probe, due to the dispersion phenomenon, interfere with the reception of infra-red radiation by the photodiode. Electric impulses are generated in the electronic circuit proportionately to droplet diameters. The electronic circuit is connected by two cables, the control cable and the measurement cable, to a special computer interface where the shape and amplitude of the impulse is analysed. After impulse calibration, the diameter of the droplet currently located within the measurement system is determined. The results are saved in computer memory in electronic units and can be converted into physical units. The results are shown on the screen and the device is operated using a mouse and a keyboard. As the device is supported by computer software, the characteristics can be displayed as charts immediately after the measurement is completed.

The probe is equipped with three changeable measuring elements which should be deployed according to droplet concentration. The droplet concentration depends on the flow rate in the nozzle and the distance between the nozzle and the probe. The maximum total measuring error of the AWK system is 2.5%. It should be noted the accuracy might be impaired by water penetrating the probe's measurement unit. It is signalled by the diode placed on the AWK analyser. When the unit becomes penetrated with water, the measuring should be stopped until the probe is dry [10], [30].

The test bench (Fig. 4) consists of a pump system (5), a water tank (4) which makes up a water buffer and is powered from the fire hydrant (1) using the W75 fire hose W75 (2). At the tank inlet there is a valve (3), which opens and closes water flowing from the fire hydrant. The pump system (5) forces water under pressure to the system which ends with the studied nozzle (12). The stand (13) facilitates the adjustment of the nozzle tilt angle to the surface. The nozzle generates the sprayed stream and then the falling droplets are analysed by the AWK (14) probe with an inlet area of 254 mm². The probe is placed on a special stand around 50 cm above the ground to eliminate measuring errors caused by the droplets reflecting of the surface. Probe readings data are sent to the analyser (15) and then on to a computer (16) and displayed on the screen (17). While measuring through regulating valves (6,9) a fixed flow rate and pressure are maintained (12). The valve (9) is connected to a nozzle by the W75 water hose (10). Flow rate control is facilitated by a flow meter (8) mounted on the flow pipe, ending with a 52-mm outlet (7). Pressure control is afforded by the strain gauge placed before the nozzle outlet (11). Fig. 5-7 show the computer system during measurement, the nozzle placed on a stand and a pump system with a water buffer.

The distribution of measuring points was performed depending on the analysed stream type. The measuring points were placed on the ellipse sprinkled by the nozzle stream. The distribution of these points is schematically shown in Fig. 8. The maximum range of spray-stream reach was 12 m.



Ryc. 4. Schemat stanowiska pomiarowego [22]

Fig. 4. Schema of the measuring station [22]



Ryc. 5. Widok zestawu komputerowego podczas pomiaru
Fig. 5. A view of the computer system during the experiment

Źródło: Archiwum własne.

Source: Own archive.



Ryc. 6. Widok prężownicy zamontowanej
Fig. 6. A view of the nozzle mounted on a stand

Źródło: Archiwum własne.

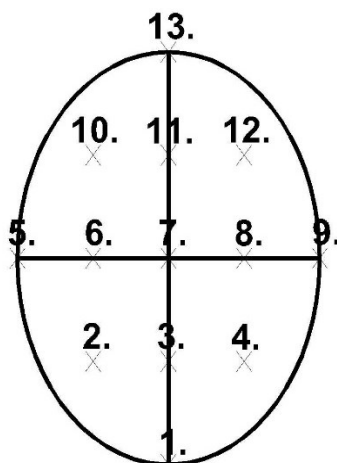
Source: Own archive.



Ryc. 7. Widok zestawu pompowego na stojaku
Fig. 7. A view of the pump system

Źródło: Archiwum własne.

Source: Own archive.



Ryc. 8. Schemat rozkładu punktów pomiarowych dla prądów rozpylonych [22]
 Fig. 8. Schema of the distribution of the measuring points for spray streams [22]

nad podłożem w celu wyeliminowania błędu pomiarowego powodowanego odbitymi kroplami od powierzchni podłoża. Dane odczytane przez sondę są przekazywane do analizatora (15), a następnie przesyłane do komputera (16) i wyświetlane na monitorze (17). Podczas pomiaru za pomocą zaworów regulacyjnych (6, 9) utrzymywany jest stały wydatek oraz ciśnienie na prądownicy (12). Zawór (9) jest połączony z prądownicą za pomocą węża pożarniczego W75 (10). Kontrolę wydajności umożliwia przepływomierz (8) zamontowany na rurze przepływowej zakończonej nasadami 52 (7). Kontrolę ciśnienia umożliwia tensometryczny czujnik ciśnienia zamontowany przed nasadą prądownicy (11). Na ryc. 5-7 pokazano odpowiednio zestaw komputerowy w trakcie pomiaru, prądownicę na stojaku oraz układ pompowy z buforem wodnym.

Rozkładu punktów pomiarowych dokonano w zależności od rodzaju badanego strumienia. Punkty pomiarowe zostały rozmieszczone na elipsie zraszanej przez strumień wytworzony przez prądownicę. Rozkład tych punktów został pokazany schematycznie na ryc. 8. Zasięg rzutu strumieni rozpylonych wynosił maksymalnie 12 m.

Badania odbywały się dla wszystkich kombinacji nastawień wydajności prądownicy (200 dm³/min, 300 dm³/min i 400 dm³/min) i kąta rozpylenia (30° i 60°) przy kącie pochylenia równym 30°. Każdy pomiar przeprowadzano przy ustabilizowanym ciśnieniu 6 bar, gdyż tyle wynosi ciśnienie robocze badanej prądownicy. Stan ciśnienia kontrolowano za pomocą tensometrycznego czujnika ciśnienia APAR umieszczonego tuż przed nasadą badanej prądownicy. Podczas pomiarów użyto czujnika APAR (typ AR002), którego błąd pomiarowy wynosił 0,5% przy zakresie pomiarowym do 10 bar. Czujnik ten współpracuje z przetwornikiem APAR (typ AR405C). Przetwornik analizuje sygnał przesyłany przez czujnik i wyświetla aktualnie panujące ciśnienie na nasadzie prądownicy. Oba przyrządy zostały wyprodukowane przez Zakład Elektroniki Pomiarowej w Warszawie. Podczas pomiarów utrzymywano wydatek na przepływomierzu zgodnie z ustawionym wydatkiem na głowicy prądownicy Turbo Master. Utrzymanie wymaganego przepływu możliwe było dzięki zastosowaniu elektromagnetycznego przepływomierza japońskiej firmy Yamatake – Honeywell. Przepływomierz umożliwia w sposób ciągły kontrolę wydajności na prądownicy, wskazując procentową wartość przepływu (przy czym 100% przepływu wynosi 500 dm³/min). Wskazania przyrządu są bardzo dokładne, gdyż jego błąd pomiaru wynosi 0,5% wielkości mierzonej. Aby zapewnić odpowiedni tor strugi

Tests were conducted for all combinations of flow rate (200 dm³/min, 300 dm³/min, and 400 dm³/min) and sprinkling angles (30° and 60°), with a 30° tilt angle. Every measurement was conducted at a stabilised pressure of 6 bar, as that was the operating pressure of the studied nozzle. The pressure was controlled by the APAR strain gauge placed slightly before the analysed nozzle's outlet. An APAR sensor (type AR002), with a measuring error of 0.5% in the measurement range of 10 bar, was used in measuring. The sensor works with an APAR converter (type AR405C). The converter analyses the signal sent by the sensor and display the current pressure on the nozzle outlet. Both devices were produced by Zakład Elektroniki Pomiarowej in Warsaw. During measurement, the flow rate was maintained on a flow meter according to a fixed flow rate set on the Turbo Master nozzle head. Maintaining the required flow was possible thanks to the use of an electromagnetic flow meter by Japanese company Yamatake – Honeywell. The flow meter facilitates constant flow rate control on the nozzle by showing the flow rate percentage value (100% flow is 500 dm³/min). The device shows precise values and its measurement tolerance is 0.5% of the measured quantity. To assure a proper stream track from the nozzle weather conditions were controlled and air speed was measured using an anemometer. Most measuring instances were done in windless weather. The maximum air speed while measuring was 1 m/s.

The measurement lasted 3 minutes or long enough for the probe to count 50,000 droplets. The measures were recorded by the AWK program which counted average volume diameters D_v between 5-5000µm. The measurement was initiated by pushing the START button and ended automatically after 3 min or after counting the programmed number of droplets, whichever came first. The research was conducted according to the following algorithm:

1. Setting a stable tilt angle of the nozzle.
2. Setting the spray angle using the nozzle head.
3. Setting the nozzle flow rate using the adjustment valve.
4. Turning on the computer and the AWK analyser.
5. Setting the proper parameters in the AWK program.
6. Turning on the pumps.
7. Placing the probe in the proper measurement point.
8. Opening the nozzle valve.
9. Starting the measurement (START button).
10. Finishing the measurement (50,000 droplets or 3 min) and recording the result.
11. Cutting the nozzle valve.

wytworzonej przez prądownicę, kontrolowano warunki pogodowe oraz mierzono prędkość wiatru anemometrem. W większości przypadków pomiarów dokonano przy pogodzie bezwietrznej. Maksymalna prędkość wiatru, przy której wykonywano pomiary wynosiła do 1 m/s.

Pomiar trwał 3 min lub do zliczenia przez sondę 50 000 kropeł. Rejestrację pomiarów dokonano przy pomocy programu AWK, który zliczał średnie średnice objętościowe D_v w przedziale 5-5000 μm . Początek pomiaru następował po kliknięciu przycisku START i kończył się automatycznie po 3 min lub wcześniejszym zliczeniu zaprogramowanej liczby kropeł. Badanie wykonywano według następującego algorytmu postępowania:

1. Ustawienie stałego kąta pochylenia prądownicy.
2. Ustawienie kąta rozpylenia przy pomocy głowicy prądownicy.
3. Ustawienie wydajności prądownicy przy pomocy zaworu regulacyjnego.
4. Uruchomienie komputera oraz analizatora AWK.
5. Ustawienie odpowiednich parametrów w programie AWK.
6. Uruchomienie pomp.
7. Ustawienie sondy w odpowiednim punkcie pomiarowym.
8. Otwarcie zaworu prądownicy.
9. Rozpoczęcie pomiaru (przycisk START).
10. Zakończenie pomiaru (50000 kropeł lub 3 min) i zapisanie wyniku.
11. Zamknięcie zaworu prądownicy.
12. Powtórzenie czynności opisanych w punktach 4-11 dla pozostałych punktów pomiarowych.
13. Powtórzenie czynności opisanych w punktach 3-12 dla pozostałych wydajności prądownicy.
14. Powtórzenie czynności opisanych w punktach 2-13 dla pozostałych kątów rozpylenia.
15. Wyłączenie pomp i zasilania.

3. Wyniki badań

W celu zagregowania uzyskanych wyników i umożliwienia ich porównania ze sobą zdefiniowano następujące parametry charakteryzujące w sposób ogólny otrzymane strumienie rozpylone:

3.1. Średnia arytmetyczna średnic średnic objętościowych kropeł D_v

Średnią arytmetyczną obliczono ze wszystkich dokonanych pomiarów na podstawie wzoru:

$$D_v = \frac{\sum_{i=1}^n D_{vi}}{n} \quad [\mu\text{m}] \quad (1)$$

gdzie:

n – liczba wszystkich punktów pomiarowych,

D_{vi} – średnia średnica objętościowa wyznaczona dla i -tego punktu pomiarowego [μm].

3.2. Wskaźnik odchylenia od średnicy optymalnej WSO

Określa odchylenie zmierzonych średnic średnic kropeł od wartości optymalnej najlepszej do działań gaśniczych w warunkach pożarowych. Do badań przyjęto, że optymalna średnia średnica objętościowa kropeł wynosi $D_{vopt} = 350 \mu\text{m}$. Wskaźnik WSO można wyznaczyć na podstawie poniższej zależności:

$$WSO = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_{vi} - D_{vopt})^2}{n}} \quad [\mu\text{m}] \quad (2)$$

12. Repeating the activities described in points 4-11 for other measurement points.
13. Repeating the activities described in points 3-12 for other nozzle flow rates.
14. Repeating the activities described in points 2-13 for other spray angles.
15. Cutting off the pump and feed.

3. Results

To aggregate the obtained results and facilitate their comparison, the following general parameters were defined to characterise the obtained spray streams:

3.1. The arithmetic mean of the average volume diameters of droplets D_v .

The arithmetic mean was calculated from all conducted tests using the following formula:

$$D_v = \frac{\sum_{i=1}^n D_{vi}}{n} \quad [\mu\text{m}] \quad (1)$$

where:

n = the total number of measuring points,

D_{vi} = the average volume diameter assigned for the i -th measuring point [μm].

3.2. The index of deviation from the optimum diameter (WSO).

This determines the deviation of the measured average diameters of droplets from the optimum value for firefighting operations. It was assumed in the research that the optimum average volume diameter was $D_{vopt} = 350 \mu\text{m}$. The WSO can be determined from the following:

$$WSO = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_{vi} - D_{vopt})^2}{n}} \quad [\mu\text{m}] \quad (2)$$

3.3. The uneven spray index (WNR).

It defines the spray heterogeneity values in a given research area. It can be determined using the following equation:

$$WNR = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_{vi} - D_v)^2}{n}} \quad [\mu\text{m}] \quad (3)$$

Table 1 shows the values of the three spray stream parameters defined above for all analysed tilt and spray angles and flow rates.

Fig. 9-11 indicate the points obtained from the experiment and calculations, representing the relationship between D_v , WSO and WNR parameters and the flow rate of the nozzle and the spray angle.

4. Summary and conclusions

This article presents the research into droplet distribution in a spray stream supplied by the Turbo Master 52 nozzle. The measurements were conducted in a partly-covered area and efforts were made to reduce the impact of air movement by the appropriate placement of the nozzle. The research was conducted for three different nozzle flow rate values (200, 300 and 400 dm^3/min) and two spray angles (30° and 60°). A sta-

Tabela 1. Wartości parametrów D_v , WSO i WNR**Table 1.** Values of parameters D_v , WSO and WNR

Wydajność / Flow rate [dm ³ /min]	kąt rozpylenia 30° / 30° spray angle			kąt rozpylenia 60° / 60° spray angle		
	D_v [μm]	WSO [μm]	WSO [μm]	D_v [μm]	WSO [μm]	WSO [μm]
200	587.5	265.6	119.0	478.6	152.8	82.5
300	637.6	288.3	20.2	634.1	306.8	115.8
400	698.2	349.8	33.3	713.5	371.2	75.2

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

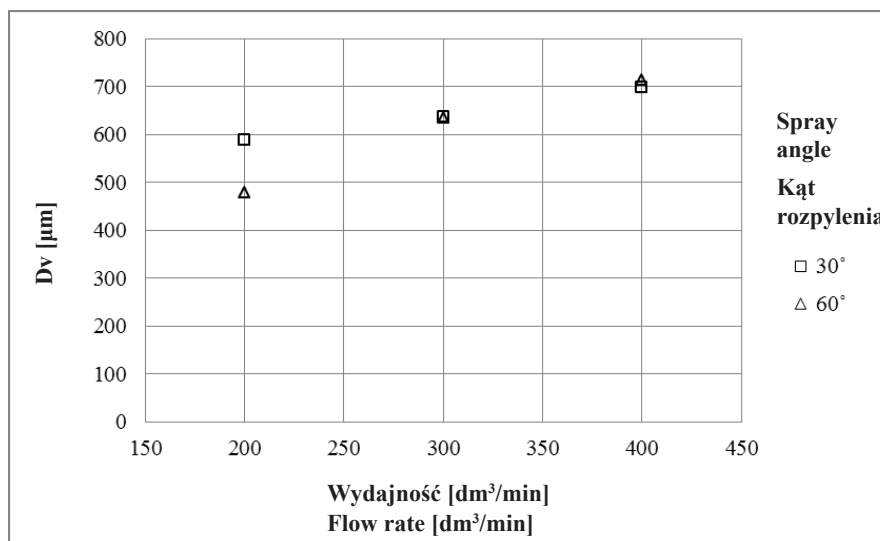
3.3. Wskaźnik niejednorodności rozpylenia WNR

Przedstawia on wartość nierównomierności zraszania w danym obszarze badań. Można go wyrazić przy pomocy następującego wzoru:

$$WNR = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_{vi} - D_v)^2}{n}} \quad [\mu\text{m}] \quad (3)$$

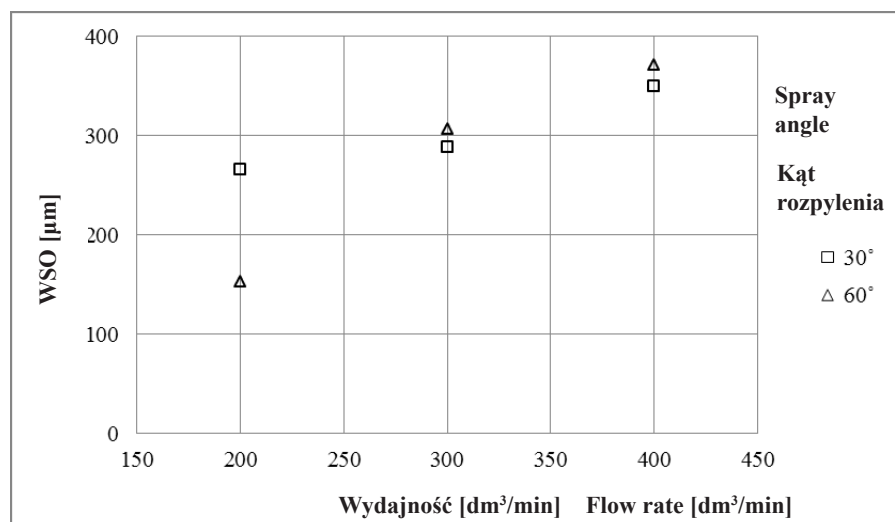
ble nozzle-tilt angle of 30° was used. The final research result was determining three aggregated parameters of the spray stream: the arithmetic mean of droplet diameter (D_v), the index of deviation from the optimum diameter (WSO), and the uneven spray index (WNR), which was used to measure its extinguishing effectiveness and spray quality.

On the basis of the obtained results, shown in Table 1 and in Fig. 9-11, the following conclusions may be made.



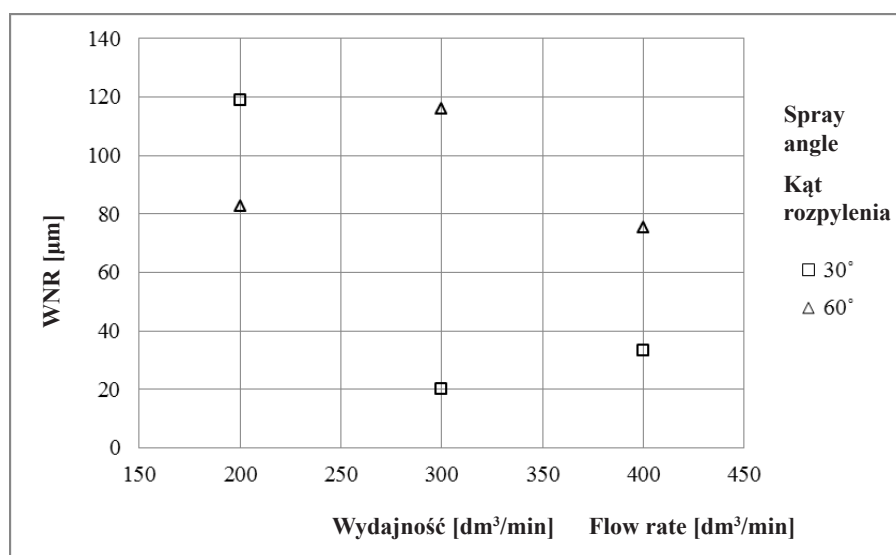
Ryc. 9. Zależność D_v od wydajności prądownicy dla dwóch kątów rozpylenia strumienia 30° i 60° [22]

Fig. 9. The relationship between the D_v and nozzle flow rate for the two spray angles 30° and 60° [22]



Ryc. 10. Zależność WSO od wydajności prądownicy dla dwóch kątów rozpylenia strumienia 30° i 60° [22]

Fig. 10. The relationship between the WSO and nozzle flow rate for the two spray angles 30° and 60° [22]



Ryc. 11. Zależność WNR od wydajności prądownicy dla dwóch kątów rozpylenia strumienia 30° i 60° [22]

Fig. 11. The relationship between the WNR and nozzle flow rate for the two spray angles 30° and 60° [22]

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

W tabeli 1 zestawiono wartości zdefiniowanych wyżej trzech parametrów strumieni rozpylonych dla wszystkich analizowanych kątów pochylenia i rozpylenia oraz wydajności.

Na ryc. 9-11 pokazano otrzymane w wyniku eksperymentu i obliczeń punkty reprezentujące odpowiednio zależności pomiędzy parametrami D_v , WSO i WNR a wydajnością prądownicy i kątem rozpylenia strumienia.

4. Podsumowanie i wnioski

W artykule przedstawiono badania rozkładu kropeł w strumieniu rozpylonym podawanym z prądownicy Turbo Master 52. Pomiarów dokonywano w przestrzeni ograniczonej wiatą, przy czym przez odpowiednie ustawienie prądownicy starano się zminimalizować wpływ ruchów powietrza. Badania przeprowadzono dla trzech różnych wydajności prądownicy 200, 300 i 400 dm³/min oraz dwóch kątów rozpylenia 30° i 60°. Zastosowano stały kąt pochylenia prądownicy równy 30°. Ostatecznym efektem badań było wyznaczenie trzech zagregowanych parametrów strumienia rozpylonego: średniej arytmetycznej średnicy kropeł D_v , wskaźnika odchylenia od średnicy optymalnej WSO i wskaźnika nierównomierności rozpylenia WNR, które posłużyły m.in. do oceny jego skuteczności gaśniczej i jakości rozpylenia.

Na podstawie uzyskanych wyników zestawionych w tabeli 1 i pokazanych na ryc. 9-11 można sformułować następujące wnioski:

1. Dla obydwu analizowanych kątów rozpylenia wartość średnicy D_v rośnie wraz ze wzrostem wydajności. Zależność tę można w przybliżeniu aproksymować funkcją liniową.
2. W badaniach obejmujących różne wydajności i kąty rozpylenia otrzymano szeroki zakres średnich arytmetycznych średnic kropeł mieszczący się w granicach od 476,8 µm do 713,5 µm. Najmniejsze krople uzyskano dla kąta rozpylenia 60° i wydajności 200 dm³/min, natomiast największe krople uzyskano dla tego samego kąta, ale przy wydajności 400 dm³/min. Stąd wynika wniosek, że wydajność prądownicy ma istotny wpływ na wielkość uzyskanych kropeł.
3. Krople charakteryzujące się najmniejszą wartością wskaźnika WSO, czyli najbardziej zbliżone do założonej

1. For both analysed spray angles the D_v diameter value increases along with the increase in flow rate. This correlation can be approximated using a linear function.
2. In tests involving various flow rates and spray angles, a wide range of average arithmetic means of droplet diameters – between 476.8 µm and 713.5 µm – was obtained. The smallest droplets were produced at a 60° angle with a flow rate of 200 dm³/min; the biggest droplets were produced at the same angle but with a 400 dm³/min flow rate. This leads to the conclusion that nozzle flow rate has a crucial impact on the size of the produced droplets.
3. The droplets with the smallest WSO value, i.e. the closest to the assumed optimum diameter, were obtained with the following parameters: spray angle 60° and 200 dm³/min (WSO=152,8 µm) flow rate. The highest WSO value (the least effective in firefighting) were obtained with the following parameters: spray angle 60° and 400 dm³/min (WSO=371,2 µm) flow rate.
4. The best spray quality with the lowest WNR value was obtained with the following parameters: spray angle 30° and 300 dm³/min (WNR=20,2 µm) flow rate and the worst spray quality was with the same angle and 200 dm³/min (WNR=119 µm) flow rate.
5. As for the highest firefighting effectiveness of the stream, despite a not-so-good spray quality, with the nozzle tilt angle at 30° the authors recommend the following nozzle parameters spray angle 60° and 200 dm³/min flow rate.
6. The obtained results and their analysis allow us to conclude that the Turbo Master 52 nozzle fulfils the criteria of a universal nozzle and can be used in most rescue and firefighting operations.

The conducted research did not allow a more detailed analysis of the impact of the nozzle's flow rate on the distribution of droplet diameters in a spray stream due the insufficient number of tested flow rates (for statistical reasons it is recommended to conduct the experiment for at least 7 different flow rates). Nevertheless, the obtained results for 3 different flow rates allowed us to conduct an initial qualitative analysis of this factor's impact on the average diameter of water droplets in a spray stream, which determines firefighting effectiveness. In the short term The Main School of Fire Service, as part of its statutory activities, is planning to conduct more detailed

średnicy optymalnej, otrzymano przy następujących parametrach: kąt rozpylenia 60° i wydajność 200 dm³/min (WSO=152,8 μm). Z kolei krople charakteryzujące się największą wartością WSO (najgorsze z punktu widzenia skuteczności gaśniczej) otrzymano przy następujących parametrach: kąt rozpylenia 60° i wydajność 400 dm³/min (WSO=371,2 μm).

4. Najlepszą jakość rozpylenia charakteryzującą się najmniejszą wartością wskaźnika WNR otrzymano przy następujących parametrach: kąt rozpylenia 30° i wydajność 300 dm³/min (WNR = 20,2 μm), natomiast najgorszą jakość rozpylenia przy tym samym kącie rozpylenia ale wydajności 200 dm³/min (WNR = 119 μm).
5. Ze względu na największą skuteczność gaśniczą strumienia, pomimo nienajlepszej jakości rozpylenia, autorzy przy kącie pochylenia prądownicy 30° zalecają następujące parametry prądownicy: kąt rozpylenia 60° i wydajność 200 dm³/min.
6. Uzyskane wyniki oraz ich analiza pozwalają stwierdzić, że prądownica Turbo Master 52 spełnia kryteria prądownicy uniwersalnej i może być stosowana do większości akcji ratowniczo-gaśniczych.

Przeprowadzone badania nie pozwoliły na bardziej szczegółowe przeanalizowanie wpływu wydajności prądownicy na rozkład średnic kropeł w strumieniu rozpylonym ze względu na zbyt małą liczbę zastosowanych wydajności (ze względów statystycznych wskazane byłoby przeprowadzenie eksperymentu dla minimum 7 różnych wydajności). Niemniej jednak otrzymane wyniki dla 3 różnych wydajności pozwalają na wstępną analizę jakościową wpływu tej wielkości na średnią średnicę kropeł wody w strumieniu rozpylonym, od której zależy jego efektywność gaśnicza. W najbliższym czasie w Szkole Głównej Służby Pożarnej w ramach pracy statutowej planowane są bardziej szczegółowe badania strumieni rozpylonych różnych prądownic wodnych i lanc gaśniczych obejmujące większą liczbę wydajności i punktów pomiarowych.

Literatura/Literature

- [1] Bielecki P., *Podstawy taktyki gaszenia pożarów*, 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” 2004, 2(20).
- [4] Gałaj J., Drzymała T., *Badanie wpływu ciśnienia zasilania na parametry strumienia rozpylonego wytwarzanego przez dyszę naddźwiękową*, „Prace Naukowe Politechniki Radomskiej: Transport” 2005, 3(23).
- [5] Gałaj J., Drzymała T., Projekt rozwojowy nr O ROB 0010 03 001 „Nowoczesne narzędzia inżynierskie do wspomaganie 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, [dostęp: 30.04.2016].
- [8] Grimwood P., *Flashover & Nozzle Techniques, Tactical Firefighting*, Crisis & Emergency Management Centre, London 2002
- [9] Grimwood, P., *Fire-fighting flow-rate*, 2005. https://firenotes.ca/download/Flow_Rates_for_Firefighting.pdf [accessed: 30.04.2016].
- [10] Kaleta A., *Wpływ rozdrobnienia strumienia wodnego na jego skuteczność gaśniczą*. Warszawa, BIT KGSP 1985, 2.
- [11] Kamiński A., *Sytuacje pożarowe, siły i środki niezbędne w działaniach taktycznych*, Wydawnictwo SGSP, Warszawa 1998, 111.
- [12] KAMIKA Zakład Elektronicznej Aparatury Pomiarowej, AWK SYSTEM. *Analiza Wielkości Cząstek K_uK*, 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*, Air Press, Opole 2015.
- [15] Kolman R., *Badanie wpływu wybranych parametrów geometrycznych dyszy i ciśnienia zasilania na parametry strumienia rozpylonego*, Praca magisterska, SGSP, Warszawa 2004.
- [16] Mawhinney J., Richardson J., *A Review of Water Mist Fire Suppression Research and Development*, „Fire Technology” 1996, 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] Orzechowski Z., Prywer J., *Rozpylanie cieczy*, WNT, Warszawa 1991.
- [21] Placek P., *Sprzęt i armatura wodna*, Warszawa 2011.
- [22] Tabaka, D., *Analiza wpływu wydajności na rozkład średnic kropeł i intensywność zraszania w strumieniu rozpylonym wytwarzanym przez prądownicę Turbo Master 52*, Praca inżynierska SGSP, Warszawa 2016.
- [23] <http://www.iafss.org/publications/frn/author/1551>, [dostęp: 30.04.2016].
- [24] Sklep internetowy Florian, <http://florian.sklep.pl/>, [dostęp: 30.04.2016].
- [25] PN-EN 15182-1:2007 Prądownice dla straży pożarnej. Część 1. Wymagania ogólne.
- [26] PN-EN 15182-2:2007 Prądownice dla straży pożarnej. Część 2. Prądownice uniwersalne PN 16.

Artykuł został przetłumaczony ze środków MNiSW w ramach zadania:

Stworzenie anglojęzycznych wersji oryginalnych artykułów naukowych wydawanych w kwartalniku „BiTP. Bezpieczeństwo i Technika Pożarowa” - typ zadania: stworzenie anglojęzycznych wersji wydawanych publikacji finansowane w ramach umowy 935/P-DUN/2016 ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego przeznaczonych na działalność upowszechniającą naukę.



* * *

dr hab. inż. Jerzy Gałąj, prof. SGSP – w roku 1979 ukończył Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej. Jest profesorem nadzwyczajnym na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego w Katedrze Techniki Pożarniczej. Pełni funkcję kierownika Zakładu Hydromechaniki i Przeciwożarowego Zaopatrzenia w Wodę. Jest autorem ponad stu publikacji naukowych w czasopismach zagranicznych i krajowych. Uczestniczył aktywnie w ponad 40 konferencjach międzynarodowych i brał udział w ponad 10 projektach badawczo-rozwojowych. Jego główne zainteresowanie skupia się obecnie na komputerowym modelowaniu pożarów i procesów gaszenia oraz badaniu spalania różnych materiałów w szczególności tworzyw sztucznych.

Jerzy Gałąj, Ph.D., professor at SGSP (The Main School of Fire Service). In 1979 he graduated from the Faculty of Power and Aeronautical Engineering at the Warsaw University of Technology. He is an Associate Professor at the Faculty of Fire Safety Engineering (Department of Fire Fighting Technical Science). He is the head of the Institute of Hydromechanics and Firefighting Water Supply. He is the author of over 100 science publications in domestic and foreign magazines. He presented his work in over 40 international conferences and took part in over 10 R&D projects. His main interests are presently focused on computer-aided fire and extinguishing process modelling and research into the combustion of various materials, in particular plastics.

dr inż. Tomasz Drzymała – absolwent studiów magisterskich Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie, którą ukończył w 2004 roku na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego. Pracę zawodową rozpoczął w 2004 roku na stanowisku asystenta w Zakładzie Hydromechaniki i Przeciwożarowego Zaopatrzenia w Wodę. Od 2011 roku zajmuje stanowisko kierownika Zakładu Podstaw Budownictwa i Materiałów Budowlanych w Katedrze Bezpieczeństwa Budowli. W ramach rozwoju naukowego bierze aktywny udział w konferencjach krajowych i zagranicznych, publikuje w czasopismach fachowych. Jest autorem oraz współautorem kilkudziesięciu artykułów i publikacji naukowych o tematyce dotyczącej ochrony przeciwpożarowej oraz budownictwa. Jego główne zainteresowanie skupia się obecnie na komputerowym modelowaniu procesów gaszenia oraz badaniu wpływu wysokich temperatur na zmianę właściwości materiałów kompozytowych.

Tomasz Drzymała, Ph.D. – In 2004 he completed his full-time Master's degree studies at the Faculty of Fire Safety Engineering of the Main School of Fire Service in Warsaw. He started his professional career in 2004 as an assistant at the Institute of Hydromechanics and Firefighting Water Supply. Since 2011 he has been the head of the Institute of Construction Fundamentals and Building Materials at the Construction Safety Department. In his academic path, he presents his papers at domestic and foreign conferences and publishes in professional magazines. He is the author and co-author of several dozen articles and science publications on fire protection and construction. His main interests currently include computer-aided extinguishing processes modelling and research into the influence of high temperatures on the properties of composite materials.

inż. Daniel Tabaka – absolwent studiów I stopnia na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej.

Daniel Tabaka, Eng. – He received his bachelor's degree from the Faculty of Fire Safety Engineering at The Main School of Fire Service.