

mł. bryg mgr inż. **Agata Domżał**¹
st. bryg. dr inż. **Waldemar Wnęk**¹
mgr inż. **Mateusz Prokop**¹

Przyjęty/Accepted/Принята: 16.05.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 02.08.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2016;

Zależność rozdziału wody od współczynnika przepływu dla wybranych tryskaczy ESFR²

The Dependence of Water Distribution on the Flow Coefficient of Selected ESFR Sprinklers

Зависимость распределения воды от коэффициента расхода для выбранных спринклеров ESFR

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest przedstawienie wyników badań laboratoryjnych dla wybranych tryskaczy szybkiego reagowania o średnicy 20 mm tzw. ESFR (Early Supression Fast Response). Tryskacze były poddane badaniu na rozkład wody poniżej i powyżej deflektora w celu ustalenia proporcji rozkładu wody nad przestrzenią planowaną do zabezpieczenia przez instalację tryskaczową. Opisano metodykę badawczą, podano zmierzone parametry wpływające na wyniki badań oraz wskazano przykłady zastosowania badanych tryskaczy w warunkach rzeczywistych.

Wprowadzenie: Pożary stanowią duże zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi. W związku z tym poszukiwane są rozwiązania w zakresie elementów liniowych instalacji tryskaczowych, które umożliwią podawanie jak największej ilości wody na palącą się substancję. Elementem wpływającym na efektywność gaszenia jest równomierność zraszania oraz rozdział wody. Innymi słowy, ile wody podawane jest na powierzchnię pod tryskaczem, a ile na strop budynku.

Metodologia: Artykuł został opracowany na podstawie wyników badań laboratoryjnych przeprowadzonych według normy PN-EN 12259-1. Stałe urządzenia gaśnicze. Podzespoły urządzeń tryskaczowych i zraszaczowych. Część 1: Tryskacze.

Wnioski: Instalacje tryskaczowe umożliwiają zwalczanie pożaru w pierwszej fazie jego wystąpienia oraz zapobiegają jego rozprzestrzenianiu się. Ich główną zaletą jest selektywne działanie, pozwalające na ograniczenie akcji gaśniczej tylko do miejsca wystąpienia pożaru, a więc zredukowanie strat spowodowanych działaniem wody.

Z przeprowadzonych pomiarów wynika, że:

- tryskacze ESFR jako elementy liniowe instalacji tryskaczowej zraszają powierzchnię z dużą intensywnością zależną od ciśnienia, sięgającą dla badanych elementów powyżej 460 l/min,
- duże intensywności zraszania generują potrzebę postawienia szczególnych wymagań co do rozmieszczania i doboru rodzaju instalacji tryskaczowej,
- na rozdział rozpraszanej wody poniżej, jak i powyżej deflektora ma wpływ współczynnik przelotowości K badanych tryskaczy,
- przy wzroście współczynnika K wzrasta rozdział wody, co powoduje zmianę w postaci wzrostu ilości wody poniżej deflektora dla badanego tryskacza wiszącego,
- przy wzroście współczynnika K w funkcji ciśnienia osiągane są większe zmiany wydajności wodnej tryskaczy poniżej, jak i powyżej deflektora.

Słowa kluczowe: stałe urządzenie gaśnicze, tryskacz, deflektor, rozdział wody

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

ABSTRACT

Aim: The purpose of this paper is to present the results from experiments involving the distribution of water from selected quick-response sprinklers with a diameter of 20 mm, known as Early-Suppression Fast-Response (ESFR) sprinklers.

Introduction: Fires are the cause of great risks to human life and health. There is a search for solutions to address the linear elements of sprinkler systems which facilitate the delivery of the maximum volume of water onto materials exposed to a fire. The elements which influence extinguishing effectiveness include the uniformity of spray and the dispersion of water. In other words, the volume of water delivered to the surface area beneath the sprinkler and to the roof of a building.

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

² Procentowy wkład merytoryczny w przygotowanie artykułu / Percentage contribution: A. Domżał – 45%; W. Wnęk – 45%; M. Prokop – 10%;

Methodology: The paper was based on research results derived from studies conducted in accordance with PN-EN 12259-1, dealing with fixed extinguishing systems - elements of sprinkler systems, Part 1, Sprinklers. Sprinklers were tested for water distribution above and below the deflector to establish the proportion of water distributed above the protected area. The testing methodology was appropriately described and the parameters which influenced the results were identified. Additionally, the use of tested sprinklers was exemplified in real-life conditions.

Conclusions: Sprinkler systems facilitate the successful extinguishing of fires during the initial phase of fire development and also prevent the propagation of flames. The main advantage of sprinkler systems is their selective operation. By concentrating extinguishing activities on the immediate area of a fire, potential damage caused by water activity are reduced. The experimental results demonstrate that depending on pressure, ESFR sprinklers used as linear elements in a sprinkler installation can spray an area with considerable intensity. For the tested elements, achieved levels were in excess of 460 l/min,

- a high spray intensity can mean different requirements for the location and application of sprinklers,
- water distribution above and below the deflector can be influenced by the K-factor of tested sprinklers,
- increasing the K-factor intensified the distribution of water, which in turn increased the amount of water below the deflector of a suspended test sprinkler,
- by increasing the K-factor as a function of pressure, greater changes are achieved in the water output of sprinklers above and below the deflector.

Keywords: fixed extinguishing systems, sprinkler, deflector, water distribution

Type of article: original scientific article

АННОТАЦИЯ

Цель: Целью данной статьи было представление результатов лабораторных испытаний выбранных спринклеров быстрого реагирования диаметром 20 мм, так называемых ESFR (Early Supression Fast Response). Спринклеры были протестированы на распределение воды выше и ниже дефлектора с целью определения пропорции распределения воды над обеспечиваемой спринклерной системой поверхностью. Была описана методика исследования, указаны измеряемые параметры, влияющие на результаты испытаний и определены примеры использования исследуемых спринклеров в реальных условиях.

Введение: Пожары представляют собой большую угрозу жизни и здоровью людей. Проводятся поиски решений линейных элементов спринклерных систем, которые позволяют подать максимально большое количество воды на горящее вещество. Фактором, влияющим на эффективность огнетушения, является равномерность орошения и распределение воды. Иначе говоря, сколько воды подается на поверхность под спринклером, а сколько на потолок здания.

Методология: Статья была разработана на основе результатов лабораторных испытаний, проведенных в соответствии со стандартом EN 12259-1. Стационарные системы пожаротушения. Элементы спринклерных и водораспылительных систем. Часть 1. Спринклеры.

Выводы: Спринклерные системы позволяют ликвидировать пожар на первой стадии возникновения и предотвращают его распространение. Их основным преимуществом является селективное действие, позволяющее ограничивать область гасящего действия только до места пожара, тем самым снижая потери, вызванные действием воды.

Проведенные исследования показывают, что:

- спринклеры ESFR, в качестве линейных компонентов спринклерной инсталляции, поливают поверхность с высокой интенсивностью в зависимости от давления, достигая в тестовых пунктах более 460 л/мин,
- высокая интенсивность орошения вызывает другие требования относительно расположения и выбора типа спринклерной инсталляции,
- на распределение рассеиваемой воды ниже и выше дефлектора влияет коэффициент расхода к исследуемым спринклерам,
- при увеличении коэффициента расхода K увеличивается распределение воды, что приводит к увеличению количества воды ниже дефлектора для исследуемого спринклера,
- при повышении коэффициента расхода K в функции давления достигаются большие изменения в производительности воды спринклерной системой ниже и выше дефлектора.

Ключевые слова: стационарные установки пожаротушения, спринклер, дефлектор, распределение воды

Вид статьи: оригинальная научная статья

1. Wprowadzenie

Stałe urządzenia gaśnicze to systemy trwale związane z zabezpieczanym obiektem, które uruchamiane są samoczynnie we wczesnej fazie pożaru. Są one wyposażone w środek gaśniczy, którym w przypadku urządzeń tryskaczowych jest woda. Instalacje tryskaczowe należą do najbardziej rozpowszechnionych stałych urządzeń gaśniczych i umożliwiają stłumienie pożaru w jego początkowej fazie rozwoju. Swoją popularność na całym świecie zyskały poprzez niezwykłą skuteczność działania, którą zawdzięczają specjalnemu rozwiązaniu technicznemu – niewielkiemu elementowi termoczulemu w główce tryskacza, reagującemu na przekroczenie granicznej wartości temperatury w określonych warunkach. Przekroczenie to powoduje natychmiastowe podanie środka gaśniczego w postaci wody na obszar, w którym rozwija się pożar. Woda kierowana jest na źródło pożaru w postaci rozproszonego strumienia o wcześniej ustalonych parametrach [1].

Przed zaprojektowaniem instalacji tryskaczowej należy określić jej najważniejsze parametry, do których należą:

- maksymalna powierzchnia chroniona przez jeden try-

1. Introduction

Fixed extinguishing systems are defined as systems which are permanently connected to the protected facility, spontaneously activated at the early stages of a fire, and equipped with an extinguishing agent. In the case of sprinklers, the extinguishing agent is water. Sprinkler systems belong to the most common fixed extinguishing systems, making it possible to suppress a fire in its early stages. They have enjoyed increasing worldwide popularity due to their exceptional performance, resulting from the application of a special technological solution – a small thermosensitive element located in the sprinkler head. Once the upper temperature limit is exceeded, under certain pre-defined conditions, the device responds by immediately releasing the extinguishing agent (water). A dispersed stream of water with pre-defined parameters is directed towards the fire source [1].

Prior to designing a sprinkler system, its most crucial parameters need to be determined, including:

- the maximum area to be protected by the sprinkler (i.e. the area located directly below the sprinkler, for which sufficient spraying intensity is required [m²]),

skacz (powierzchnia znajdująca się bezpośrednio pod tryskaczem, dla której wymagane jest zachowanie odpowiedniej intensywności zraszania [m^2]),

- intensywność zraszania (minimalna ilość wody [mm/min] wyznaczana jako stosunek ilości wody wypływającej z określonej grupy tryskaczy [l/min] do wielkości chronionej przez nie powierzchni [mm/min]),
- powierzchnia działania (przyjmowana do obliczeń powierzchnia, nad którą przewiduje się otwarcie tryskaczy, umiejscowiona najbardziej niekorzystnie w stosunku do zasilania [m^2], dawniej: powierzchnia obliczeniowa),
- minimalny czas działania (czas, w jakim wymagane jest zapewnienie odpowiedniego ciśnienia i natężenia przepływu na potrzeby działania urządzenia tryskaczowego, inaczej: czas gaszenia [min]).

Tryskacze typu ESFR stały się bardzo popularne przede wszystkim na rynku amerykańskim. Skrót ESFR oznacza wczesne tłumienie pożaru przez szybką reakcję – *early suppression fast response*. Główną ideą tej technologii wykonania tryskaczy jest osiągnięcie maksymalnego efektu w jak najkrótszym czasie poprzez bardzo szybkie wyzwolenie się instalacji tryskaczowej i tym samym rozpoczęcie skutecznego procesu tłumienia pożaru [2]. W instalacji takiej montuje się szybko działające tryskacze o dużej wydajności, które odpowiednią ilością wody o wysokim ciśnieniu tłumią pożar w jego zarodku. Takie instalacje przeznaczone są jednak tylko i wyłącznie do określonych rodzajów zagrożeń. Tryskacze ESFR, w przeciwieństwie do standardowych tryskaczy, mogą nie zadziałać prawidłowo przy niekorzystnych założeniach projektowych. W związku z tym podczas stosowania tryskaczy ESFR należy przestrzegać wszystkich wymagań określonych w standardach projektowych, takich jak VdS CEA 4001 czy też NFPA 13. Nominalna wartość stałej wypływu K dla tryskaczy ESFR wynosi od 200 do 360 [3], a dla porównania dla tryskaczy klasycznych od ok. 57 do ok. 115. Tryskacze ESFR należy instalować tylko w budynkach ze stropami i dachami o spadku poniżej 170 mm/m. W przypadku dachów lub stropów o spadku większym niż 170 mm/m należy zamontować sufit podwieszony, wykonany z materiału niepalnego. W takich przypadkach tryskacze ESFR powinny być instalowane pod sufitem podwieszonym. Ponad sufitem podwieszonym należy z kolei instalować tylko tryskacze klasyczne. W budynku z zainstalowanymi tryskaczami ESFR stropy konstrukcyjne powinny wytrzymać skierowane do góry obciążenie wynoszące 150 N/m^2 . Z kolei sufity podwieszane muszą wytrzymać skierowane do góry obciążenie równe 50 N/m^2 [3]. Przed zastosowaniem tryskaczy ESFR należy również upewnić się, czy są one prawidłowo dobrane względem kategorii zagrożenia w chronionej przestrzeni. Według wytycznych VdS CEA 4001 [3] tryskacze ESFR nie nadają się do ochrony m.in.:

- miejsc składowania materiałów palnych o specyficznym przebiegu pożaru, w tym rolek papieru higienicznego,
- otwartych zbiorników palnych na ciecze,
- magazynów, dla których nie można przewidzieć rodzaju składowanego materiału oraz sposobu składowania,
- materiałów zaliczanych do specjalnych kategorii zagrożeń, takich jak: aerozole, alkohole, czy też tworzywa sztuczne.

Zgodnie z amerykańską normą NFPA 13 [4] instalacje tryskaczowe z tryskaczami ESFR mogą być jedynie instalacjami wodnymi. Kombinacja instalacji tryskaczowych ESFR oraz systemów usuwania dymu i ciepła nie jest pod żadnym warunkiem dozwolona. Jeżeli jednak montaż systemów oddymiania jest konieczny ze względu na wymagania prawne, wówczas można uruchamiać je tylko w sposób ręczny. Wszystkie otwory w dachu muszą zamykać się automatycznie przed otwarciem się instalacji ESFR, jednak nie później niż 30 sekund po otwarciu się pierwszego tryskacza. Inne otwory, np. świetliki dachowe, powinny tworzyć z powierzchnią dachu jedną płaszczyznę lub

- the spraying intensity (the minimum amount of water [mm/min], determined as the relationship of the amount of water flowing from a given group of sprinklers [l/min] to the size of the protected area [mm/min]),
- the area of application (the area above which the opening of sprinklers is assumed for calculation purposes, located in the least advantageous position in relation to the supply source [m^2], previously referred to as the calculation area),
- the minimum time of application (the period during which the appropriate pressure and flow intensity are required for the proper sprinkler operation, also referred to as the extinguishing time [min]).

ESFR sprinklers have become extremely popular, especially on the American market. The principal idea of *Early-Suppression-Fast-Response* (ESFR) technology is to achieve the maximum effect as fast as possible, through prompt activation of the sprinkler system, which efficiently triggers the fire suppression process [2]. Such systems make use of quickly operating high-capacity sprinklers which are capable of extinguishing a fire at an early phase by using the right amount of water. However, ESFR sprinklers are intended exclusively for certain types of threat. Contrary to standard sprinklers, they can prove ineffective with certain less advantageous design assumptions. As a result, when using ESFR sprinklers, all the requirements specified in the design standards, including VdS CEA 4001 and NFPA 13, must be strictly complied with. The nominal outflow coefficient (K-factor) value for ESFR sprinklers ranges from 200 to 360 [3], and for classic sprinklers from approximately 57 to approximately 115. ESFR sprinklers can only be installed in buildings with roof and ceiling slopes of less than 170 mm/m. For slopes exceeding 170 mm/m, suspended ceilings made of inflammable materials are required. In the latter case, ESFR sprinklers should be mounted under the suspended ceiling, above which only classic sprinklers are permitted. The structural floors in buildings where ESFR sprinklers are installed should be capable of withstanding an upward load of 150 N/m^2 , whereas for suspended ceilings an upward load value of 50 N/m^2 [3] is required. Prior to the use of a certain type of ESFR sprinklers, one needs to make sure that they have been satisfactorily selected in terms of the threat category pertaining to the protected area. In accordance with the VdS CEA 4001 Guidelines [3], ESFR sprinklers are not suitable, *inter alia*, for:

- places where flammable materials with a special burning process are stored, e.g. rolls of tissue paper,
- open tanks with flammable substances,
- warehouses for which it is not possible to anticipate the type of materials stored and the storage method
- materials classified into special-risk categories, such as aerosols, alcoholic beverages and plastics.

In accordance with the U.S. NFPA 13 Standard [4], ESFR sprinkler systems can only be water-based systems. The combination of ESFR sprinkler systems with systems for smoke and heat removal should not be allowed under any circumstances. However, if the assembly of smoke-removal systems is necessary for legal reasons, their manual activation should only be permitted. All roof openings must close automatically prior to the ESFR system's activation, and at any rate within 30 seconds after the opening of the first sprinkler. Any other openings, e.g., roof lights, should form a uniform plane with the roof surface, or an additional enclosed surface should be designed within the roof plane. The material used to manufacture roof lights must withstand a temperature of 300°C for at least 5 minutes [4].

While performing calculations for hydraulic ESFR sprinkler systems, in accordance with the VdS CEA 4001 Guidelines [3], the area of application must correspond to the area

na płaszczyźnie dachu powinna zostać zaprojektowana dodatkowa zamknięta powierzchnia. Materiał, z którego wykonane są świetliki dachowe, muszą wytrzymać działanie temperatury 300°C w ciągu co najmniej 5 minut [4].

Przy obliczeniach hydraulicznych instalacji tryskaczowej ESFR, zgodnie z wytycznymi VdS CEA 4001 [3], przyjęta powierzchnia działania musi odpowiadać powierzchni chronionej przez 12 tryskaczy podstropowych i nie może być mniejsza niż 90 m². Maksymalna powierzchnia chroniona przez tryskacz ESFR powinna wynosić nie więcej niż 9 m² (nie może być mniejsza niż 7,5 m²). Dopuszczalne odległości pomiędzy tryskaczami są zależne od wysokości pomieszczenia. Element wyzwalający tryskacza powinien być umieszczony pod stropem lub dachem w odległości od 0,1 do 0,33 m (tryskacze K = 200) lub od 0,1 do 0,45 m (K = 360). Pomiędzy obszarami chronionymi przez tryskacze ESFR a obszarem z tryskaczami klasycznymi powinny być zainstalowane pionowe osłony. Dotyczy to zarówno stropów o takiej samej, jak i różnej wysokości. Osłony takie powinny sięgać 1,2 m pionowo w dół od stropu, szczelnie do niego przylegać oraz być niepalne. Ponadto przy zastosowaniu w budynkach magazynowych tryskaczy ESFR na pierwszy rzut oka zaburzona zostaje elastyczność w sposobach składowania materiałów. Przy zastosowaniu tego typu tryskaczy nie trzeba jednak wykonywać prac dopasowujących do instalacji tryskaczowej na przykład w przypadku, kiedy muszą być zmienione poziomy składowania w systemach regałowych spowodowane rozmiarem materiału.

Biorąc pod uwagę różnorodność rozwiązań konstrukcyjnych budynków, bardzo istotna jest wiedza nie tylko na temat podstawowych parametrów urządzeń wodnych, ale również na temat rozdziału wody bezpośrednio w dół w celu ochrony przestrzeni pod tryskaczem, a także w górę w celu ochrony przestrzeni stropowych lub ich chłodzenia [2].

Tryskacze ESFR instaluje się głównie w halach magazynowych, pod stropem, gdzie z technicznych powodów nie jest możliwe stosowanie tryskaczy wewnątrz regałów. Nadają się one do gaszenia określonych grup pożarów. Ponadto mogą być stosowane tylko w systemach, gdzie rurociągi instalacji tryskaczowej są stale nawodnione.

protected by 12 ceiling sprinklers and may not be smaller than 90 m². The maximum protection area per ESFR sprinkler should not be greater than 9 m² (or smaller than 7.5 m²). The permissible distance between sprinklers depends on the room height. The sprinkler-release element should be located under the ceiling or roof, at a distance of 0.1 to 0.33 m (sprinklers, K = 200) or 0.1 to 0.45 m (K = 360). Emergency shutdowns should be installed between the ESFR sprinkler protection areas and the areas protected by classic sprinklers. This concerns ceilings of both the same and different heights. The shutdowns should reach 1.2 m down the ceiling and should tightly stick to it. It must also be inflammable. Furthermore, when using ESFR sprinklers in warehouse buildings, the flexibility of material storing may seem distorted at first glance. Nonetheless, no adjustments to the ESFR sprinkler system are necessary, for instance, in the case of changes to the storage levels of the in-rack systems being required due to material sizes.

Taking into account the diversity of the structural solutions employed in buildings, it is of utmost importance to be familiar not only with the basic parameters of the water-based devices but also with the direct distribution of water, both downwards – to ensure the adequate protection under the sprinkler, and upwards – to protect or cool the floor areas [2].

ESFR sprinklers are most frequently installed in warehouse facilities, under the upper floor slab, where the use of in-rack sprinklers proves impossible for technical reasons. They can be used to extinguish certain types of fire. In addition, their application is possible only where sprinkler system pipes are continuously irrigated.

Tabela 1. Wyłączenia z ochrony tryskaczami ESFR [3-4]

VdS – CEA 4001	NFPA 13
<ul style="list-style-type: none"> składowanie materiałów o specjalnym przebiegu pożaru np. rolki papieru higienicznego zbiorniki palne, otwarte u góry nietypowe sposoby składowania lub materiały, dla których nie udowodniono przydatności ochrony tryskaczami ESFR w testach pożarowych lub na podstawie analiz magazyny, dla których nie można przewidzieć rodzaju składowanego materiału i sposobu składowania specjalne zagrożenia (aerozole, ciecze palne, napoje alkoholowe, tworzywa sztuczne PP, PE, PS) 	<ul style="list-style-type: none"> magazynowanie na regałach z półkami litymi magazynowanie na regałach w pojemnikach otwartych u góry

Table 1. Exclusions from ESFR sprinkler protection [3-4]

VdS – CEA 4001	NFPA 13
<ul style="list-style-type: none"> The storage of materials with a special burning process, e.g. a roll of tissue paper Tanks with flammable substances, open at the top Unusual storage methods or materials for which there is no proven usefulness identified during ESFR sprinkler protection investigations, in fire test conditions or based on analyses Warehouses for which it is not possible to anticipate the type of material stored and the storage method Special risks associated with aerosols, flammable liquids, alcoholic beverages, plastics PP, PE, PS) 	<ul style="list-style-type: none"> Storage on racks with solid wood shelving Storage on racks, in containers open at the top

2. Opis stanowiska badawczego

Stanowisko badawcze do badania rozdziału wody składa się z następujących elementów (ryc. 1.):

- komory badawczej o wymiarach 140 x 60 x 70 cm,
- zbiornika pośredniego o pojemności 5 m³,
- pompy CRE 16-60,
- przepływomierza z przetwornikiem sygnału $Q_{\max} = 500$ l/min, przy maksymalnym ciśnieniu 10 bar,
- ciśnieniomierza do 10 bar,
- układu sterowania.

3. Metodyka przeprowadzonych badań

Badanie polega na zmierzeniu ilości wody, która gromadzi się w odpowiedniej części komory badawczej (jedna część komory zbiera wodę poniżej rozpryskiwacza, druga powyżej) przy przepływie do 100 l/min. Czas otwarcia zaworu doprowadzającego wodę przy ustalonym przepływie wynosi 60 sekund. Przy pomocy sondy do pomiaru poziomu cieczy mierzono wysokość słupa wody w obu komorach stanowiska badawczego. Następnie obliczono procentowy wypływ wody powyżej i poniżej rozpryskiwacza. Dla każdego tryskacza pomiar wykonano czterokrotnie w celu uśrednienia wyniku pomiarowego [1].

4. Wyniki przeprowadzonych pomiarów

W trakcie badań dokonano pomiaru rozdziału wody dla określonych typów tryskaczy. Uzyskane wyniki badań zostały przedstawione poniżej.

4.1. Tryskacz wiszący ESFR ASCOA model: K-1

Tryskacz typu ESFR to automatyczny tryskacz z ampułką o nominalnym współczynniku $K = 14$ U.S. (SI 202). Jest to tryskacz, który eliminuje potrzebę instalowania tryskaczy pomiędzy regałami do ochrony składowanych towarów. Wykorzystując tryskacze ESFR K-1, można uzyskać wyższe prędkości przepływu przy znacznie niższych wartościach ciśnienia, co sprawia, że użycie tych tryskaczy staje się bardzo korzystne w określonych przypadkach zastosowań, takich jak wysokie składowanie materiałów w stosach.

2. Experimental stand description

An experimental stand for water distribution testing comprises the following elements (Fig. 1.)

- a test chamber sized 140 x 60 x 70 cm,
- an intermediate container with a capacity of 5 m³,
- a CRE 16-60 pump,
- a flow rate meter with a transducer $Q_{\max} = 500$ l/min, with a maximum pressure of 10 bar,
- a pressure gauge of up to 10 bar,
- a steering system.

3. Test methodology

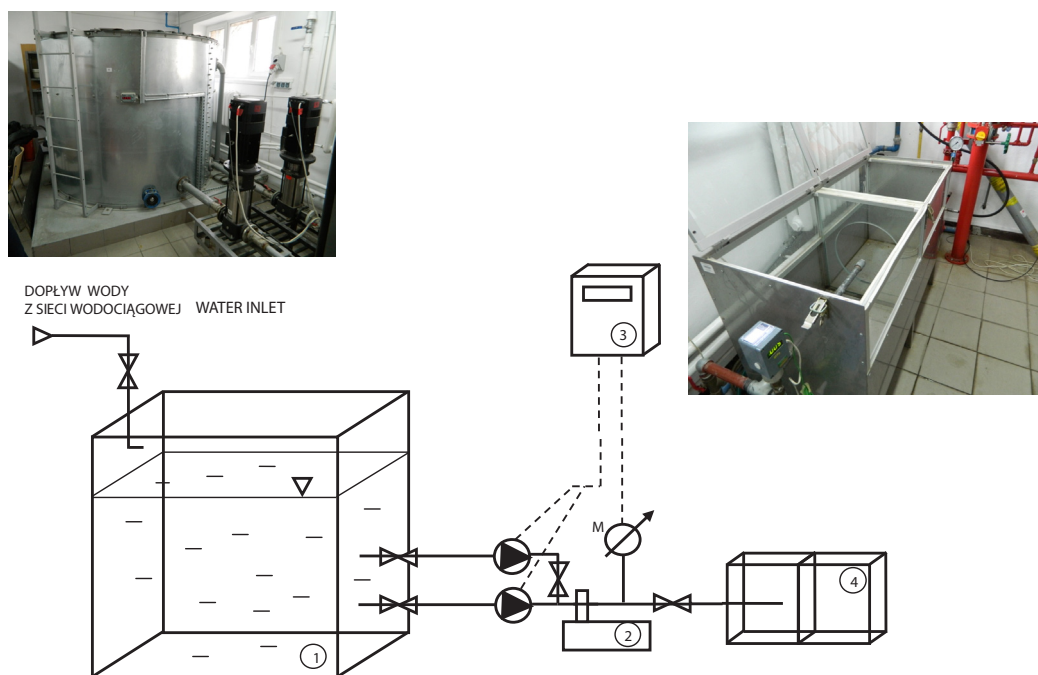
The test involved measuring the amount of water accumulating in the relevant section of the test chamber (with one section gathering water below, and the other one above, the deflector) with a flow of up to 100 l/min. The opening time of the water valve at the pre-defined flow value was 60 seconds. Using a liquid level sensor, the height of the water column was determined in both chambers of the experimental stand. Then, the percentage outflow of water above and below the deflector was measured. For each deflector, the measurement was performed four times to obtain an average measurement result [1].

4. Measurement results

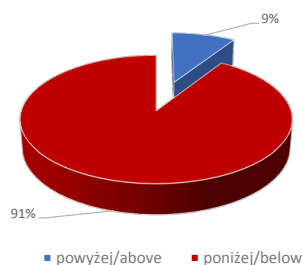
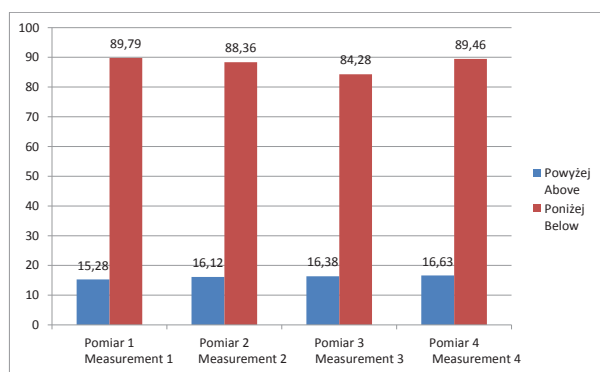
The test aimed to determine the distribution of water for various types of sprinklers. The results are presented below.

4.1. The hanging ESFR ASCOA sprinkler, type K-1

The ESFR sprinkler is an automatic sprinkler containing an ampoule, with the nominal K factor = 14 U.S. (SI 202). It eliminates the need to install sprinklers between the racks to protect stored goods. Using ESFR K-1 sprinklers, higher flow speeds can be achieved with much lower pressure, which makes the use of these devices very favourable in certain types of application, such as high storage of materials in piles.



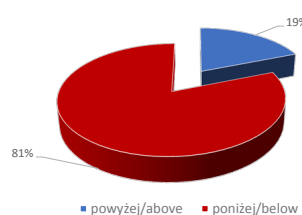
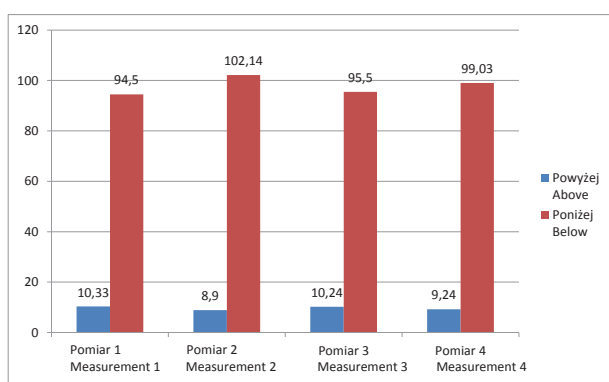
Ryc. 1. Schemat blokowy stanowiska badawczego z dwiema pompami
 1 – zbiornik pośredni, 2 – przepływomierz, 3 – miernik ciśnienia, 4 – układ sterowania, 5 – komora badawcza [1]
 Fig. 1. A block diagram of an experimental stand with two pumps
 1 – intermediate container, 2 – flow rate meter, 3 – pressure gauge, 4 – control system, 5 – test chamber [1]



Ryc. 2. Ilość rozpraszanej wody i uśredniona procentowa ilość dla tryskacza wiszącego ESFR ASCOA model K-1
Fig. 2. The amount of dispersed water and the average percent volume attributed to a hanging ESFR ASCOA sprinkler, type K-1

Źródło: Opracowanie własne.

Soruce: Own elaboration.



Ryc. 3. Ilość rozpraszanej wody i uśredniona procentowa ilość dla tryskacza wiszącego Viking model VK510
Fig. 3. The amount of dispersed water and the average percent volume attributed to a hanging Viking sprinkler, type VK 510

Źródło: Opracowanie własne.

Soruce: Own elaboration.

4.2. Tryskacz wiszący wczesnego tłumienia Viking model: VK510

Tryskacz Viking, model VK510 jest to tryskacz o większym współczynniku wypływu, który działa z niższymi ciśnieniami końcowymi – inaczej niż tryskacze ESFR K14. Tryskacze VK510 są przewidziane przede wszystkim do ochrony przestrzeni magazynowych, które zwykle odpowiadają wyższemu wymaganiu na wypadek wystąpienia zagrożenia pożarowego, związanego ze składowaniem materiałów na paletach, w stosach, regałach jednorzędowych, dwurzędowych i wielorzędowych oraz w przenośnych otwartych paletach regałowych (nie dopuszczalne są kontenery bez pokrywy oraz półki pełne).

4.3. Tryskacz wiszący ESFR VK 500

W przypadku tryskacza wiszącego ESFR VK 500 stała K o wartości 14.0 (SI 202) pozwala na wypływ dużej ilości wody z kroplami o dużym momencie pędu, a specjalny deflektor wymusza hemisferyczny rozdział wody. Pozwala to na przenikanie wody do strefy spalania i bezpośrednie zraszanie palącej się powierzchni przy jednoczesnym chłodzeniu otoczenia. Tryskacz VK500 może być stosowany do ochrony przestrzeni magazynowych o składowaniu stawiającym wyższe wymagania w przypadku wystąpienia zagrożenia pożarowego (składowanie na paletach, w stosach, regałach jednorzędowych, dwurzędowych i wielorzędowych oraz w przenośnych otwartych paletach regałowych), w których niedopuszczalne są kontenery bez pokrywy oraz pełne półki. Można dodatko-

4.2. The early-suppression hanging Viking sprinkler, type VK510

The Viking sprinkler, type VK510, is a device with a higher outflow coefficient, which operates at lower end pressure, unlike ESFR K14 sprinklers. VK510 sprinklers are mainly intended for protecting warehousing areas which usually meet higher requirements in the event of a fire threat, resulting from the storage of materials on pallets, in piles, and on single-, double- and multiple-row racks, as well as on movable open-rack pallets (containers open at the top and solid shelves are not permitted).

4.3. The hanging ESFR VK 500 sprinkler

As regards hanging ESFR VK 500 sprinklers, the K factor of 14.0 (SI 202) facilitates the outflow of a large amount of water with drops displaying high angular momentum, and a specially designed deflector forces hemispheric water distribution. This allows water penetration into the combustion zone, ensuring direct the spraying of the burning surface and the cooling of the surrounding area. VK500 sprinklers can be used for protecting warehousing areas which must meet more stringent requirements in the event of threat (the storage of materials on pallets, in piles, and on single-, double- and multiple-row racks, as well as on movable open rack pallets), where containers open at the top and solid-wood shelves are not permitted. They can also be used for protecting such materials as paper reels, aerosols and tyres in certain storage arrangements.

wo chronić materiały typu papier w belach, aerozole i opony w niektórych aranżacjach składowania.

4.4. Tryskacz wiszący RASCO model H 2008

Tryskacz RASCO model H 2008 został zaprojektowany w celu dostarczania dużej ilości wody do środowiska pożarowego. Współczynnik wypływu K o wartości 16.8 (SI 242) pozwala na wypływ dużej ilości wody z kroplami o dużym momencie pędu, a specjalny deflektor i rama dostarczają szeroki i bardzo symetryczny, półkulisty rozkład wody zdolny powstrzymać ogień między tryskaczami w wysokim składowaniu materiałów palnych w magazynach i halach produkcyjnych.

4.5. Tryskacz stojący ESFR VK520

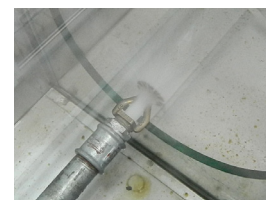
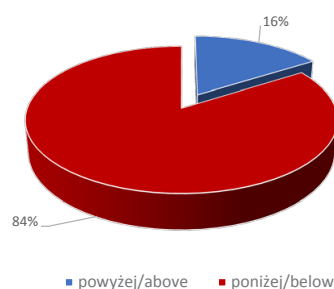
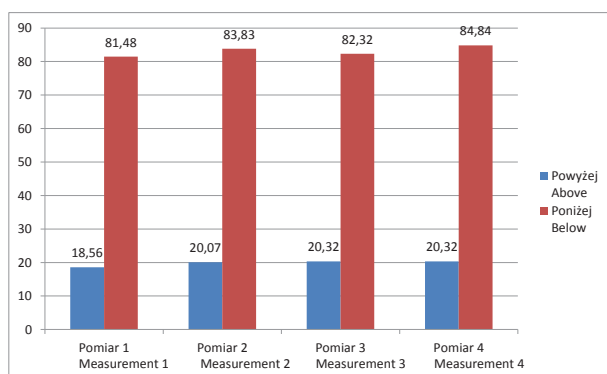
Dzięki współczynnikowi wypływu $K=202$ oraz specjalnemu deflektorowi, tryskacz stojący ESFR VK520 tworzy duże krople o dużej mocy przebicia, które poniżej deflektora przybierają kształt półkulisty. Taka forma gaszenia umożliwia skuteczne przenikanie wody gaśniczej do źródła pożaru oraz gaszenie powierzchni palnych cieczy przy równoczesnym chłodzeniu powietrza w bezpośrednim otoczeniu pożaru. Tryskacze te mogą chronić przestrzenie magazynowe, jednak najbardziej przydatne są do ochrony materiałów łatwopalnych i podatnych na rozległe pożary, takich jak: materiały składowane na paletach lub regałach (z wyłączeniem kontenerów otwartych od góry oraz regałów zamkniętych).

4.4. The hanging RASCO sprinkler, type H 2008

RASCO sprinklers, model type H 2008, were designed with the aim of supplying water in large quantities to the fire area. The K outflow coefficient of 16.8 (SI 242) allows the outflow of a large amount of water with drops, whereas a specially designed deflector and a bar ensure a wide and very symmetrical, hemispherical water distribution which can deal with the fire between sprinklers in the event of the high storage of flammable materials in warehouses and production halls.

4.5. The standing ESFR VK520 sprinkler

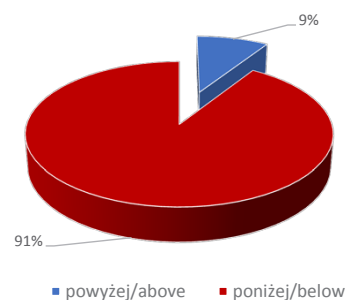
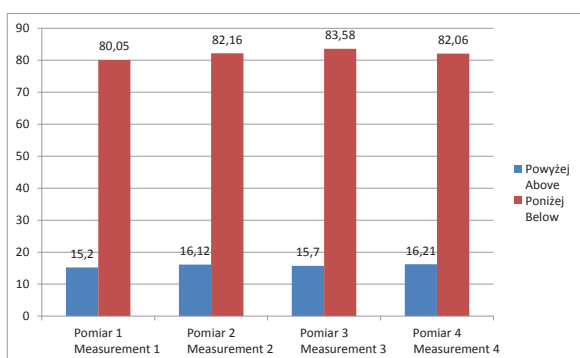
Owing to the outflow coefficient $K=202$ and a specially designed deflector, the standing ESFR VK520 sprinkler produces large drops with high penetration capacity, which take a hemispherical shape below the deflector. Such a fire suppression form enables an efficient water penetration to the fire source, and the extinguishing of flammable liquid surfaces can proceed along with air cooling in the direct vicinity of the fire. Although these sprinklers are suitable for warehousing areas, they can best serve the purpose of protecting flammable materials, susceptible to extensive fires, such as materials stored on pallets or racks (excluding containers with open tops and closed racks).



Ryc. 4. Ilość rozpraszanej wody i uśredniona procentowa ilość dla tryskacza wiszącego ESFR VK500
Fig. 4. The amount of dispersed water and the average percent volume attributed to a hanging ESFR sprinkler, type VK 500

Źródło: Opracowanie własne.

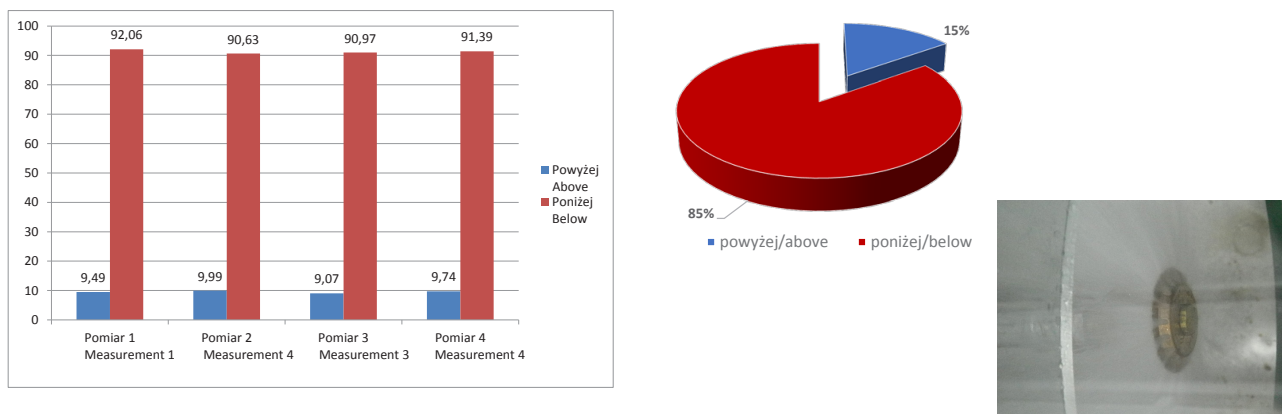
Soruce: Own elaboration.



Ryc. 5. Ilość rozpraszanej wody i uśredniona procentowa ilość dla tryskacza wiszącego RASCO model H 2008
Fig. 5. The amount of dispersed water and the average percent volume attributed to a hanging RASCO sprinkler, type H 2008

Źródło: Opracowanie własne.

Soruce: Own elaboration.



Ryc. 6. Ilość rozpraszanej wody i uśredniona procentowa ilość dla tryskacza stojącego VK520
 Fig. 6. Amount of dispersed water and average percent volume attributed to a standing VK520 sprinkler

Źródło: Opracowanie własne.

Soruce: Own elaboration.

4.6. Porównanie wyników pomiarów

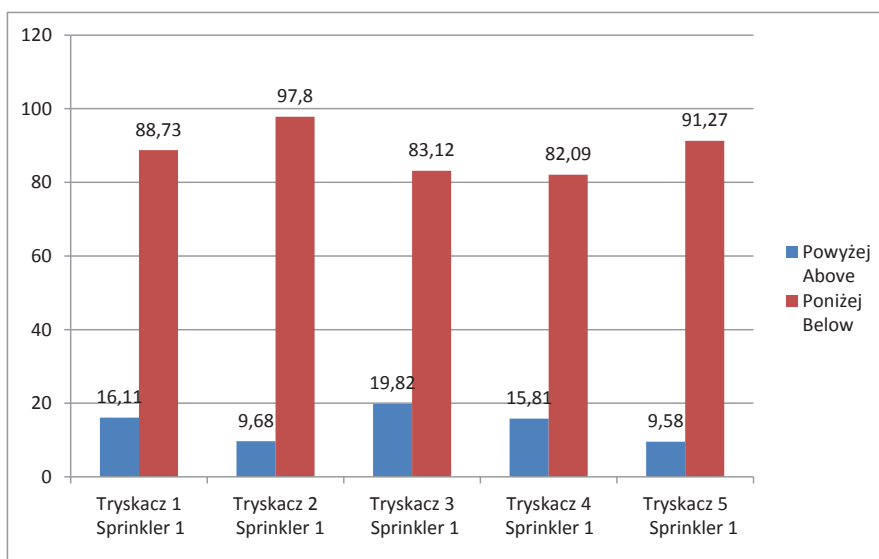
Tabela 2. Średni rozkład wody poniżej i powyżej deflektora

Table 2. Average distribution below and above the deflector

Tryskacze / Sprinklers	Średnica nominalna otworu / Nominal diameter of opening [mm]	Średnia ilość wody powyżej deflektora / Average amount of water above [dm³]	Średnia ilość wody poniżej deflektora / Average amount of water below [dm³]	Łączna ilość wody / Total amount of water [dm³]
Tryskacz 1 / Sprinkler 1	20	16,10	88,73	104,83
Tryskacz 2 / Sprinkler 2	20	9,68	97,80	107,48
Tryskacz 3 / Sprinkler 3	20	19,82	83,12	102,94
Tryskacz 4 / Sprinkler 4	20	15,81	82,10	97,90
Tryskacz 5 / Sprinkler 5	20	9,58	91,27	100,84

Źródło: Opracowanie własne.

Soruce: Own elaboration.

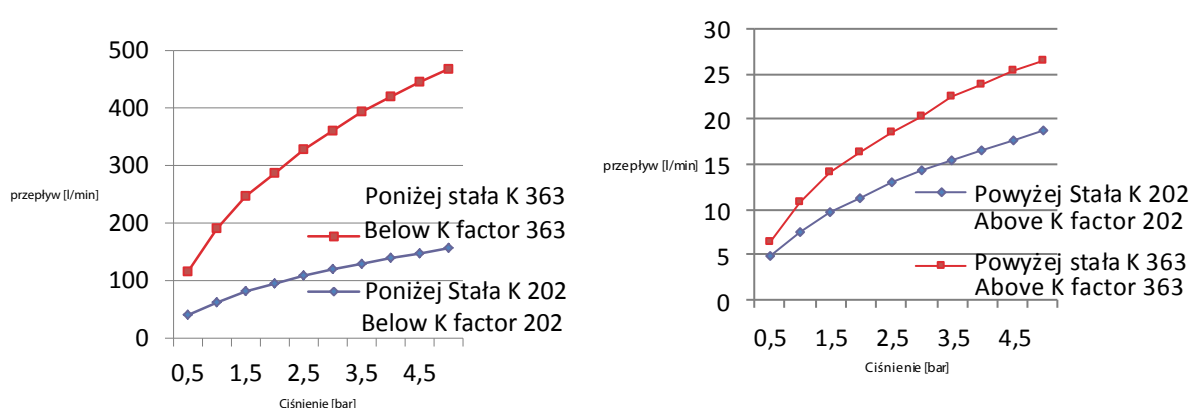


Ryc. 7. Porównanie badanych tryskaczy pod względem rozdziału wody (tryskacz 1: ASCOA, tryskacz 2: VK 510, tryskacz 3: VK 500, tryskacz 4: RASCO H 2008, tryskacz 5: VK 520)

Fig. 7. A comparison of tested sprinklers in respect of water distribution (Sprinkler 1: ASCOA, sprinkler 2: VK 510, sprinkler 3: VK 500, sprinkler 4: RASCO H 2008, sprinkler 5: VK 520)

Źródło: Opracowanie własne.

Soruce: Own elaboration.



Ryc. 8. Średnia ilość rozpraszanej wody poniżej i powyżej deflektora dla tryskaczy o $K = 202$ i $K = 363$
 Fig. 8. The average amount of dispersed water above and below the deflector for sprinklers $K = 202$ and $K = 363$

Źródło: Opracowanie własne.

Soruce: Own elaboration.

Porównanie wyników badań tryskaczy ESFR wykazało, że największą ilość wody poniżej deflektora rozpraszają tryskacz 2 – tryskacz wiszący wczesnego tłumienia Viking model: VK510 o średnicy nominalnej otworu równej DN 20 mm i współczynnika $K = 363$. Natomiast najmniejszą wartością ilości rozpraszanej wody poniżej deflektora charakteryzuje się tryskacz wiszący RASCO model H 2008 o średnicy nominalnej otworu równej DN 20 mm i współczynnika $K = 242$. Udział rozproszonej wody poniżej rozpryskiwacza, zgodnie z normą PN-EN 12259-1, przedstawiono w tabeli 3.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że spośród wszystkich badanych tryskaczy tryskacz wiszący Viking model: VK510 wykazał największy udział rozproszonej wody poniżej deflektora (91%). Tryskacz ten posiada również największy współczynnik $K = 363$. Natomiast najniższy udział rozproszonej wody poniżej deflektora został zarejestrowany podczas badań tryskacza wiszącego ESFR VK500. Wyniósł 80,75%. Tryskacz posiada współczynnik K równy 202. Średni wypływ wody w dół poniżej deflektora dla badanych tryskaczy ESFR wynosi od 85 do 100%, co może je definiować jako tryskacze rozpylające o płaskim strumieniu rozpraszanej wody zgodnie z tabelą 3.

Następnie sprawdzono, jak wygląda rozdział ilościowy wody dla tych tryskaczy w zależności od wartości współczynnika przelotowości K .

Zgodnie z wynikami przedstawionymi na ryc. 8 na powierzchnię zraszana pod tryskaczem kierowane jest od ponad 100 do 460 litrów na minutę przy wartości współczynnika K równej 363 lub od prawie 50 do 150 litrów na minutę przy współczynnika $K = 202$. Ilość wody kierowanej na sufit wynosi od 5 do 25 litrów na minutę.

Tabela 3. Wypływ wody w dół poniżej rozpryskiwacza
 Table 3. Outflow of water below the deflector

Typ tryskacza / Type of sprinkler	Udział rozproszonej wody poniżej rozpryskiwacza / Proportion of distributed of water below the deflector
Tryskacze klasyczne / Classic sprinklers	40% do/to 60%
Tryskacze rozpylające / Spray sprinklers	80% do/to 100%
Tryskacze rozpylające o płaskim strumieniu rozpraszanej wody / Sprinklers with a flat stream of water	85% do/to 100%

Źródło: Opracowanie własne na podstawie normy PN-EN 12259-1.

Soruce: Own elaboration according to PN-EN 12259-1.

4.6. Comparison of measurement results

By comparing the test results for ESFR sprinklers, it was shown that the largest amount of water below the deflector was distributed by sprinkler 2, i.e. the hanging early-suppression Viking sprinkler, type VK510, with the nominal opening diameter of DN = 20 mm and K-factor = 363. In contrast, the smallest amount of water distributed below the deflector was recorded for the hanging RASCO sprinkler, type H 2008, with the nominal opening diameter DN = 20 mm and the K-factor = 242. The shares of water distributed below the deflector, in compliance with the PN-EN 12259-1 standard, are shown in Table 3.

Based on the tests carried out, it can be concluded that from among all the sprinklers under consideration the hanging Viking sprinkler type VK510, is characterised by the highest share of water dispersed below the deflector (91%). This sprinkler also displays the highest value of the K-factor = 363. On the other hand, the lowest share of water distributed below the deflector was recorded for the hanging ESFR VK500 sprinkler, amounting to 80.75%. The K-factor for this sprinkler is 202. The average outflow of water below the deflector for the ESFR sprinklers under consideration ranges from 85 to 100%, as a result of which these devices can be defined, in line with Table 3, as sprinklers with a flat stream of water.

Then, the quantity distribution of water for the sprinklers in question, depending on the K-factor values, was determined.

In accordance with the results presented in Fig. 8, over 100 to 460 litres of water per minute are directed towards the sprayed area below the sprinkler, with the K-factor = 363, or from nearly 50 to 150 litres per minute, with the K-factor = 202. The amount of water directed to the ceiling ranges from 5 to 25 litres per minute.

5. Podsumowanie

Tryskacz ESFR to element liniowy, który posiada określoną charakterystykę rozdziału wody. Jego działanie skoncentrowane jest na maksymalnym wykorzystaniu wody do gaszenia znajdującej się pod nim powierzchni z dużą intensywnością zraszania, o określonej energii strumienia. Z przeprowadzonych pomiarów wynika, że:

- tryskacze ESFR zraszają powierzchnię z dużą intensywnością zależną od ciśnienia, sięgającą dla badanych elementów powyżej 460 l/min,
- duże intensywności zraszania implikują szczególne wymagania co do rozmieszczania i doboru rodzaju instalacji tryskaczowej,
- na rozdział rozpraszanej wody poniżej, jak i powyżej deflektora wpływa współczynnik przelotowości K badanych tryskaczy,
- przy wzroście współczynnika K wzrasta rozdział wody, co powoduje zmianę w postaci wzrostu ilości wody poniżej deflektora dla badanego tryskacza wiszącego,
- przy wzroście współczynnika K w funkcji ciśnienia osiągnięte są większe zmiany wydajności wodnej tryskaczy poniżej, jak i powyżej deflektora.

Literatura / Literature

[1] Domżał A., *Badanie rozdziału wody w funkcji natężenia przepływu przez elementy wylotowe wodnych urządzeń gaśniczych*, Praca badawcza własna BW/E-422/8/2005.

5. Summary

ESFR sprinklers are linear elements displaying certain characteristics of water distribution. The sprinkler action is focused on the maximum use of water for extinguishing fire in the area below it, by employing high sprinkling intensity and a given stream power. Experimental results indicate that

- ESFR sprinklers spray the area with considerable pressure-dependent intensity, which for the elements tested is higher than 460 l/min,
- a high spraying intensity is likely to mean different requirements for the location and application of sprinkler systems,
- water distribution above and below the deflector is influenced by the K-factor of the tested sprinklers,
- increasing the K-factor intensifies the distribution of water, which in turn increases the amount of water below the deflector of the hanging sprinkler being tested,
- by increasing the K-factor as a function of pressure, greater changes are achieved in the water output of sprinklers, both above and below the deflector.

[2] Wnęk W., Kubica P., Basiak M., *Standardy projektowania urządzeń tryskaczowych – porównanie głównych parametrów*, BiTP Vol. 27 Issue 3, 2012, pp. 83-97.

[3] VdS CEA 4001:2014 Richtlinien für Sprinkleranlagen. Planung und Einbau.

[4] NFPA 13 Installation of Sprinkler Systems, Edition 2016.

Artykuł został przetłumaczony ze środków MNiSW w ramach zadania:

Stworzenie anglojęzycznych wersji oryginalnych artykułów naukowych wydawanych w kwartalniku „BiTP. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza” – 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.



Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego

* * *

mł. bryg mgr inż. Agata Domżał – pracownik Szkoły Głównej Służby Pożarniczej na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego. Obecnie na stanowisku wykładowcy w Zakładzie Technicznych Systemów Zabezpieczeń.

Agata Domżał, M.Sc. Eng. – staff member of the Faculty of Fire Safety Engineering at the Main School of Fire Service; currently a lecturer at the Institute of Technical Security Systems.

st. bryg. dr inż. Waldemar Wnęk – absolwent Politechniki Warszawskiej i Szkoły Głównej Służby Pożarniczej Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego. Obecnie na stanowisku Kierownika Katedry Bezpieczeństwa Budowli i Rozpoznawania Zagrożeń.
Waldemar Wnęk, Ph.D. – a Graduate from the Warsaw University of Technology, and from the Faculty of Fire Safety Engineering at the Main School of Fire Service; currently Head of the Building Safety and Threat Identification Department.

mgr inż. Mateusz Prokop – absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego.
Mateusz Prokop, M.Sc. Eng. – a Graduate from the Faculty of Fire Safety Engineering at the Main School of Fire Service.