

Monografie CNBOP-PIB 2012

ISBN 978-83-61520-33-7



Wybrane aspekty stosowania w obiektach budowlanych urzędzeń gaśniczych na mgłę wodną

*Jacek Roguski
Paweł Zbrożek
Dariusz Czerwienko*

Wybrane aspekty stosowania w obiektach budowlanych urządzeń gaśniczych na mgłę wodną

Teoretyczne podstawy rozpylania cieczy, pomiary struktury mgły, działanie mgły w środowisku pożaru oraz kryteria doboru urządzeń gaśniczych na mgłę wodną, zastosowanie urządzeń gaśniczych mgłowych ze szczególnym uwzględnieniem obiektów zabytkowych

dr inż. Jacek Roguski

mł. bryg. mgr inż. Paweł Zbrożek

bryg. mgr inż. Dariusz Czerwienko



CENTRUM NAUKOWO-BADAWCZE OCHRONY PRZECIWPÓŻAROWEJ

im. Józefa Tuliszkowskiego

PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Józefów 2012 r.

Recenzenci: dr inż. Adam Majka
dr inż. Stefan Wilczkowski

Przygotowanie do wydania: Maria Kędzierska
Maciej Rudnik

ISBN 978-83-61520-33-7

© Copyright by Wydawnictwo Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpożarowej
im. Józefa Tuliszkowskiego Państwowy Instytut Badawczy

Wydawca:

Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej
im. Józefa Tuliszkowskiego
Państwowy Instytut Badawczy
05-420 Józefów k/Otwocka,
ul. Nadwiślańska 213
www.cnbop.pl

Projekt okładki:

Barbara Dominowska

Skład, wydruk i oprawa:

Barbara Dominowska

Beata Lenarczyk

Poligrafia CNBOP-PIB Józefów

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP	5
2. CEL I ZAKRES PRACY	11
3. TEORETYCZNE PODSTAWY ROZPYLANIA CIECZY	12
3.1. Właściwości i parametry cieczy mające wpływ na proces rozpylania	12
3.2. Rozpylanie cieczy	15
3.3. Balistyka kropeł	18
3.4. Parametry rozpylonej cieczy	20
3.4.1. Makrostruktura	20
3.4.2. Mikrostruktura	26
3.4.2.1. Widmo rozpylenia – rozkłady średnic kropeł i średnice pozycyjne	26
3.4.2.2. Średnice średnie	30
3.4.2.3. Wskaźniki rozpylenia cieczy	32
3.4.2.4. Definicja „mgły wodnej” przyjęta w ochronie przeciwpożarowej	37
3.4.2.5. Metody pomiarowe mikrostruktury rozpylonych cieczy	39
4. FENOMEN GAŚNICZY MGŁY WODNEJ - MECHANIZMY GAŚNICZE I OPTYMALIZACJA ZASTOSOWANIA	42
4.1. Zachowanie się mgły wodnej w środowisku pożaru	42
4.2. Mechanizmy gaśnicze występujące przy gaszeniu mgłą wodną – aspekty praktyczne	48
4.3. Optymalizacja widma rozpylenia mgły wodnej z uwagi na cele gaśnicze: tłumienie pożarów i chłodzenie	52
4.4. Optymalne widmo rozpylenia mgły wodnej	57
5. ZASTOSOWANIE, OGRANICZENIA I ZALETY MGŁY WODNEJ DO CELÓW GAŚNICZYCH	59
5.1. Zalety urządzeń gaśniczych na mgłę wodną	61
6. METODY WYTWARZANIA MGŁY WODNEJ DO CELÓW GAŚNICZYCH	63
6.1. Podstawowe cechy rozpylacza z uwagi na zastosowanie w stałych urządzeniach gaśniczych	63
6.1.1. Natężenie przepływu oraz współczynnik przepływu	63
6.1.2. Zakres ciśnień roboczych i ciśnienie nominalne	64
6.1.3. Charakterystyka termiczna	65
6.1.4. Maksymalna przestrzeń zabezpieczana przez pojedynczy rozpylacz mgłowy, odległości między rozpylaczami i wysokość instalowania	69

6.2. Metody rozpylania cieczy	72
6.3. Kryteria stawiane metodzie rozpylania wykorzystywanej do celów gaśniczych	79
6.4. Metody wytwarzania mgły wodnej do celów gaśniczych ze szczególnym uwzględnieniem stałych urządzeniach gaśniczych.....	81
7. KRYTERIA WYBORU URZĄDZENIA GAŚNICZEGO NA MGŁĘ WODNĄ	89
8. PREZENTACJA WYBRANYCH SYSTEMÓW GAŚNICZYCH WYKORZYSTUJĄCYCH MGŁĘ WODNĄ	91
8.1. CNBOP –PIB prezentacja Gaśnicy Automatycznej Mgłowej (GAM)[33]	91
8.2. SupoCerber Sp. z o o. – prezentacja „hydrantu mgłowego”.....	96
8.3. SupoCerber Sp. z o o. – prezentacja mgłowego agregatu gaśniczego.....	98
8.4. SupoCerber Sp. z o o. – prezentacja instalacji gaśniczej na mgłę wodną FOG.....	99
8.5. Zabezpieczenia Przeciwpożarowe „Fire Stop” Sp. z o.o – prezentacja systemu mgły wodnej firmy Aquasys.....	99
8.6. KZWM Ogniochron SA – prezentacja gaśnicy mgłowej	101
8.7. INSTAC Sp. z o.o. - prezentacja SUG typu HI-FOG [®] DAU firmy Marioff.....	102
8.8. INSTAC Sp. z o.o. - prezentacja SUG typu HI-FOG [®] GPU firmy Marioff.....	103
8.9. INSTAC Sp. z o.o. - prezentacja SUG typu HI-FOG [®] MAU firmy Marioff.	104
8.10. INSTAC Sp. z o.o. - prezentacja SUG typu HI-FOG [®] SPU firmy Marioff	105
8.11. Telesto Sp. z o.o. – prezentacja gaśnicy oraz agregatu mgłowego	107
8.12. Telesto Sp. z o.o. – urządzenia gaśniczego wodno-mgłowego spełniające funkcję hydrantu wewnętrznego	108
9. WNIOSKI.....	111
10. LITERATURA.....	112

1. WSTĘP

Niniejsza praca stanowi wprowadzenie do problematyki projektowania, instalowania i eksploatacji SUG na mgłę wodną. Właściwym źródłem szczegółowych wytycznych w zakresie projektowania, instalowania i eksploatacji SUG na mgłę wodną są odpowiednie normy projektowe. Należy w tym miejscu wymienić normę amerykańską National Fire Protection Association – NFPA 750 Standard on Water Mist Fire Protection Systems; 2010 Edition. oraz przygotowane przez Europejski Komitet Normalizacyjny - Specyfikacje Techniczne tj.: *CEN/TS 14972:2008 Fixed Firefighting systems - Watermist system – Design and installations.*

Informacje zawarte w opracowaniu są kierowane m.in. do przyszłych projektantów SUG mgłowych, funkcjonariuszy pionu kontrolno-rozpoznawczego PSP i wszystkich zainteresowanych technologią gaśniczą wykorzystującą do gaszenia mgłę wodną.

Zgromadzony materiał zawiera wiedzę, jaką powinien dysponować kandydat na projektanta stałych urządzeń gaśniczych mgłowych. Opracowanie nie zawiera szczegółowych wytycznych w zakresie projektowania SUG na mgłę wodną gdyż te wyznacza się w procesie dopuszczeń dokładnie wyspecyfikowanego systemu gaśniczego na podstawie odpowiednich testów pożarowych symulujących określoną aplikację. Projektowanie powinno być prowadzone w oparciu o wybraną, aktualną normę projektową i odnosić się ściśle do określonego, przebadanego urządzenia gaśniczego mgłowego.

Technologia mgły wodnej jest jedną z najintensywniej rozwijających się technologii gaśniczych. Jej potencjalne możliwości są bardzo szerokie, wymaga jednak złożonego aparatu obliczeniowego i wysokiej jakości sprzętu. W praktyce złożoność aparatu obliczeniowego uwzględniającego mnogość aspektów wpływających na skuteczność gaśniczą upraszcza się do określonych warunków brzegowych, w których urządzenie gaśnicze wykazuje odpowiednią skuteczność gaszenia i niezawodność działania. Skuteczność gaszenia a przede wszystkim niezawodność działania jest pochodną jakości podzespołów, z których budowane są urządzenia gaśnicze.

Przy obecnym poziomie techniki technologia mgły wodnej znalazła wiele optymalnych dla niej zastosowań. W niedalekiej perspektywie przy coraz szybszym postępie technicznym, przy konieczności większej dbałości o środowisko naturalne oraz większej

dbałości o bezpieczeństwo, technologia ta będzie wypierała inne technologie: na pianę, chlorowcopochodne węglowodorów (syntetyczne gazy gaśnicze - zamienniki halonów), częściowo zapewne też na proszki gaśnicze, dwutlenek węgla i klasyczne urządzenia wodne. Przy czym technologia mgły wodnej dotyczy nie tylko stałych urządzeń gaśniczych mgłowych ale szeregu innych urządzeń gaśniczych stacjonarnych i mobilnych i ich podzespołów takich jak: gaśnice przenośne i przewoźne (agregaty gaśnicze), hydranty mgłowe¹, prądownice i działka mgłowe.

Gaszenie za pomocą mgły wodnej jest technologią rozwijającą się znacznie bardziej intensywnie niż inne klasyczne technologie gaśnicze – czy to z wykorzystaniem gazów, piany czy wody. Co roku na rynku krajowym obserwuje się wprowadzanie szeregu nowych urządzeń gaśniczych mgłowych z czego znaczna część to urządzenia o dużym poziomie innowacyjności. Wiele z tych urządzeń jest urządzeniami opracowanymi i wyprodukowanymi w Polsce.

Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej - PIB prowadzi intensywne prace zmierzające do spopularyzowania i wdrożenia technologii mgły wodnej do stosowania w coraz szerszym zakresie, zarówno w przemyśle jak i w obiektach użyteczności publicznej prowadząc szereg prac własnych jak również na zlecenie podmiotów zewnętrznych.

Specyfika gaszenia za pomocą mgły wodnej z wykorzystaniem stałych urządzeń gaśniczych mgłowych

Stale urządzenia gaśnicze na mgłę wodną (SUG mgłowe) łączą szereg zalet stałych urządzeń gaśniczych wodnych (SUG wodne) i stałych urządzeń gazowych (SUG gazowe). Zalety wynikają ze stosowania dość „plastycznego” środka gaśniczego, jakim są rozpylone strumienie wodne – zależnie od technologii wytworzenia mogą mieć różne właściwości.

Gaszenie mgłą wodną może być – podobnie jak gaszenie SUG wodnymi – skuteczne do gaszenia pożarów ciał stałych (grupa A²). Gaszenie mgłą wodną może być również być skuteczne – podobnie jak gaszenie SUG gazowymi – do gaszenia pożarów cieczy (grupa B) gazów (grupa C) i tłuszczów spożywczych (grupa F³), jak również urządzeń pod napięciem. Oczywiście skuteczne gaszenie pożarów danej grupy określonym rodzajem mgły wodnej nie oznacza, że zastosowanie jej do gaszenia pożarów innej grupy będzie również skuteczne. Dla przykładu, może okazać się, że parametry mgły wodnej uzyskiwane z danego urządzenia

¹ Urządzenia gaśnicze mgłowe spełniające funkcję hydrantu wewnętrznego

² PN-EN2:1998 Podział pożarów

³ PN-EN2:1998/A1:2006 Podział pożarów

gaśniczego mgłowego umożliwią skuteczne gaszenie pożarów grupy A natomiast nie będą odpowiednie do gaszenia pożarów grupy B. Do optymalnego gaszenia obu rodzajów grup pożarów – A i B – wymagane są odmienne parametry mgły wodnej.

Różne parametry fizyczne strumieni mgły wodnej i samej mgły są wymagane do różnych zastosowań a niewłaściwy ich dobór może przynieść efekt odwrotny od oczekiwanego np. zintensyfikować pożar, zwiększyć zagrożenie, utrudnić ewakuację. Mają tu istotne znaczenie warunki środowiskowe:

- ilość i rodzaj materiału palnego oraz jego właściwości,
- warunki wentylacji,
- geometria i rozmiary pomieszczenia.

Mają znaczenie również, a właściwie znaczenie wiodące, czynniki i parametry samego SUG mgłowego, czyli:

- wybór metody gaszenia,
- typ urządzenia gaśniczego,
- parametry mgły wodnej otrzymanej z wybranego SUG mgłowego.

Do określonego scenariusza przewidywanego pożaru należy dobrać odpowiednie SUG mgłowe o dość ściśle określonych parametrach wytwarzanej mgły wodnej. Dochodzimy tu do pewnej specyficznej wady tych urządzeń, jeśli chodzi o zastosowanie w zabezpieczeniach przeciwpożarowych obiektów. Mianowicie wyspecyfikowane urządzenie, wytwarzające rozpylony strumień wodny o określonych parametrach powinno być stosowane tylko do jednoznacznie określonego obszaru zastosowań, w którym urządzenie to zostało przebadane z wynikiem pozytywnym. Przy czym obszar zastosowań jest rozumiany dość wąsko i charakteryzowany jest pod względem szeregu parametrów - materiałowych, wentylacyjnych, geometrycznych, środowiskowych w tym temperaturowych itd. Wymaganie powyższe uzasadnione jest tym, że rozdrobnione strumienie wodne mają szereg indywidualnych cech zależnych od urządzenia je wytwarzającego i niezwykle trudnym do powtórzenia w przy zastosowaniu urządzenia gaśniczego mgłowego innego typu. Oczywiście dane urządzenie gaśnicze mgłowe może być przebadane z wynikiem pozytywnym w kilku różnych aplikacjach czy nawet obszarach zastosowań i wówczas urządzenie takie można z powodzeniem stosować w kilku aplikacjach.

Do określonego obszaru zastosowań należy wybrać urządzenia wytwarzające mgłę wodną o dość ściśle określonych cechach. Do tych cech należą między innymi: intensywność wypływu (l/min), szybkość wypływu (m/s), kąt rozpylania, zasięg strumienia (m), widmo

rozpylenia ($n=f(d)$), jednorodność zraszania, intensywność zraszania (mm/min), powierzchnia zraszania (m^2), przewodność elektryczna. Wartości powyższych cech precyzyjnie determinuje technologia wytwarzania mgły wodnej.

Wspomniana specyficzna złożoność jest wadą, która uwidacznia się przy projektowaniu tych urządzeń do ochrony konkretnych obiektów. Na obecnym poziomie wiedzy wpływ wartości tych cech na skuteczność gaśniczą jest określana głównie na drodze empirycznej, a tworzone modele matematyczne do celów indywidualnego zastosowania, są ciągle jeszcze stosunkowo dalekie od ich fizycznych odpowiedników. Przełamanie tej bariery zamieniłoby tą specyficzną wadę na bardzo znaczącą zaletę, gdyż można byłoby wykorzystywać trudną do sparametryzowania różnorodność w sposób bezpośredni – analogicznie jak to ma miejsce np. w przypadku urządzeń gaśniczych tryskaczowych.

Obecnie SUG mgłowe certyfikuje się na świecie (dopuszcza do stosowania w ochronie przeciwpożarowej) głównie jako tzw. systemy inżynieryjne wstępnie zaprojektowane (pre-engineered systems) tzn. takie, w których wstępnie określono przedziały lub wartości graniczne wielkości roboczych (rozstaw, położenie i liczba dysz, ciśnienia mediów na dyszach, geometrię i wymiary przewodów itd.). Zastosowania takiego systemu są szczegółowo specyfikowane zarówno, co do typu jak rodzaju i wielkości urządzenia, przez specjalistyczne laboratorium badawcze w oparciu o wiele rodzajów testów, z których kluczowe znaczenie mają testy pożarowe wykonane w skali naturalnej. Testy pożarowe, czyli badania skuteczności gaśniczej są badaniami funkcjonalnymi całego systemu gaśniczego. Badaniu poddaje się również poszczególne elementy i podzespoły urządzenia gaśniczego – szczególnie wnikliwie bada się elementy o znaczeniu krytycznym dla działania urządzenia, np. dysze rozpylające, zawory butlowe, pompy itp. Są to zwykle badania odporności na oddziaływanie niekorzystnych warunków środowiskowych: korozja, starzenie, udary itd.

Przebadane w laboratorium badawczym i certyfikowane SUG mgłowe po zainstalowaniu na obiekcie wraz z systemem detekcji i sterowania należy przekazać do eksploatacji przeprowadzając wcześniej próby odbiorowe. Głównym celem prób odbiorowych oprócz potwierdzenia sprawności urządzenia i spełnienia wymagań formalnych jest weryfikacja wartości projektowych z rzeczywistymi. Dla przykładu badaniem takim może być zmierzenie intensywności zraszania w najbardziej niekorzystnym obszarze przy uwzględnieniu wielu zmiennych warunków, (np. wentylacji, geometrii pomieszczenia, minimalnego ciśnienia na dyszy) i porównać z minimalną wartością projektową intensywności zraszania. Niestety, koszt podejścia „projektowania poprzez testowanie”

szczególnie, jeśli w zakres testów wchodzi testy pożarowe wstrzymuje rozwój urządzeń gaśniczych na mgłę wodną. Dodatkowym czynnikiem hamującym rozwój urządzeń gaśniczych na mgłę wodną jest konieczność przeprowadzania zwykle znacznie bardziej złożonych prób odbiorowych niż ma to miejsce w przypadku klasycznych urządzeń gazowych lub tryskaczowych. Korzystnie jest stosować SUG mgłowe do obiektów powtarzalnych – wyniki badań z jednego obiektu mają wówczas zastosowanie do innych identycznych obiektów, a próby odbiorowe w pełnym spektrum wystarczy przeprowadzić na jednym urządzeniu a na pozostałych ograniczyć się można tylko do sprawdzenia sprawności zainstalowanych tam urządzeń gaśniczych.

Znacznie wygodniej dla projektanta urządzenia mgłowego byłoby bazowanie tylko na wiedzy inżynierskiej dotyczącej wpływu ilościowych czynników decydujących o efektywności gaszenia pożaru, tak jak to ma miejsce np. w urządzeniach tryskaczowych. W przypadku projektowania urządzeń tryskaczowych kluczowe znaczenie ma intensywność zraszania [$l/min/m^2$] i przyjęta powierzchnia działania [m^2] uznana za skuteczną i wystarczającą do ugaszenia pożaru w określonej grupie obiektów. W przypadku projektowania urządzeń gaśniczych na mgłę wodną intensywność zraszania jest istotnym, ale w wielu przypadkach nie najważniejszym czynnikiem wpływającym na skuteczne gaszenie pożaru – dla przykładu: w przypadku mgły wodnej o wysokiej dyspersji cecha ta nie jest możliwa do wyznaczenia w sposób doświadczalny. Więcej na temat czynników wpływających na skuteczne gaszenie pożarów mgłą wodną jest opisane w rozdziale 4. *Fenomen gaśniczy mgła wodna – mechanizmy gaśnicze i optymalizacja zastosowania*. Wpływ ilościowy różnych czynników na skuteczność gaszenia mgłą wodną jest bardzo złożony i trudny do oszacowania w stopniu umożliwiającym zaprojektowanie i wykonanie skutecznego gaszącego urządzenia mgłowego. Współczesne narzędzia obliczeniowe umożliwiają w sposób coraz bardziej zbliżony do warunków rzeczywistych modelowanie oddziaływania mgły wodnej na środowisko pożaru ze sprzężeniem zwrotnym - gdyż nie tylko mgła oddziałuje na pożar ale również środowisko pożaru oddziałuje i to dość mocno na zachowanie się mgły wodnej. Przykładem programu komputerowego umożliwiającego modelowanie środowiska pożarowego i coraz precyzyjniej określanie i wyznaczanie zjawisk pożarowych może być ewoluujący od kilkunastu lat bezpłatny program **Fire Dynamics Simulator (FDS)** z National Institute of Standards and Technology⁴. FDS dzięki temu, że został rozszerzony o moduł

⁴ dostępny na stronie <http://www.nist.gov>

gaszenia pożaru mgłą wodną umożliwia szacowanie skuteczności gaszenia, w tym czasu gaszenia i skutków pożaru. Wykorzystanie tego programu umożliwia zmniejszenie liczby rzeczywistych testów pożarowych w skali naturalnej, jednak nie może jeszcze ich zastąpić. Wyniki obliczeń symulacji rozwoju pożaru oraz symulacji jego gaszenia umożliwiają oszacowanie warunków brzegowych działania urządzenia gaśniczego mgłowego w danej aplikacji, co jest dość pomocne przy wybraniu właściwych parametrów do testów pożarowych w skali naturalnej. Być może w niedalekiej przyszłości programy obliczeniowe umożliwią przeprowadzanie testów pożarowych w przestrzeni wirtualnej z dokładnością dostatecznie wiernie odzwierciedlającą testy rzeczywiste. Aktualnie jednak właściwa weryfikacja skuteczności gaśniczej urządzeń gaśniczych na mgłę wodną może być przeprowadzona tylko podczas rzeczywistych testów pożarowych w skali naturalnej.

Mimo wspomnianych ograniczeń w obszarze projektowania SUG mgłowych i konieczności „dopasowywania” do określonej aplikacji funkcjonuje już na świecie wiele przebadanych i sprawdzonych systemów gaśniczych mgłowych mających zastosowanie w wielu różnych aplikacjach i obszarach. Lista aplikacji jak również typów, rodzajów i sposobów działania urządzeń gaśniczych mgłowych jest coraz szersza.

Zastosowanie

Stałe Urządzenia Gaśnicze mgłowe są stosowane nie tyle stricte do ugaszenia pożaru, ale głównie w celach ograniczania skutków pożaru, a w szczególności: zapobieżenia rozgorzeniu, kontrolowaniu pożaru, chłodzeniu obiektu (np. przeszkleń) lub chłodzenia elementów konstrukcji, oddzielaniu przestrzeni (np. kurtyny wodne oddzielające przestrzeń sceny od widowni w teatrach) oraz w celu oczyszczenia z dymu atmosfery popożarowej w pomieszczeniach komputerowych i przestrzeniach podpodłogowych pomieszczeń o wysokiej czystości, chłodzenia elementów instalacji technologicznych (np. zbiorników z niebezpieczną zawartością) itp. W niewielu projektach celem działania SUG mgłowego jest całkowite ugaszenie pożaru w sposób automatyczny – zwykle zakładanym celem gaśniczym jest stłumienie pożaru i utrzymanie go pod kontrolą w jak najmniejszym rozmiarze przez założony czas przewidziany na dotarcie do gaszonego obiektu przeszkolonego personelu zdolnego zlikwidować pozostały jeszcze pożar. Warto w tym miejscu wspomnieć, że celem działania urządzeń tryskaczowych również bardzo rzadko bywa całkowite ugaszenie pożaru w sposób automatyczny – zwykle, podobnie jak w przypadku SUG mgłowych, ich celem jest stłumienie pożaru i utrzymanie go pod kontrolą w jak najmniejszym rozmiarze przez założony projektem czas.

Kluczowym kryterium wyboru zabezpieczenia przeciwpożarowego jest rachunek ekonomiczny. W przypadku zabezpieczania małych kubatur SUG mgłowe, szczególnie pracujące w zakresie niskich ciśnień (do 12 bar), stają się już coraz bardziej konkurencyjne w stosunku do innych urządzeń gaśniczych – w szczególności klasycznych urządzeń tryskaczowych w stosunku, do których urządzenia mgłowe są najmocniejszą alternatywą.

Fenomen gaszenia za pomocą mgły wodnej

Stałe Urządzenia Gaśnicze mgłowe są specyficznymi urządzeniami charakteryzującymi się wieloma cechami, jakie posiadają SUG gazowe oraz SUG wodne - tak w obrębie konstrukcji jak i zastosowania. Mimo istniejących bardzo różnych rozwiązań konstrukcyjnych i technologii działań SUG mgłowych ich wspólnym zadaniem jest wytworzenie mgły wodnej o określonych parametrach i, na ogół, dostarczenie jej do ogniska pożaru. Generowaniu mgły wodnej (silnie rozproszonych strumieni wodnych), jej transporcie oraz procesowi gaszenia za jej pomocą towarzyszy wiele wzajemnie na siebie wpływających zjawisk fizycznych. Zaznajomienie się z nimi, przynajmniej na ogólnym poziomie, jest niezbędne do zrozumienia technologii działania SUG mgłowych, co z kolei umożliwia stosowanie właściwych kryteriów oceny i doboru przy wyborze rodzaju zabezpieczenia przeciwpożarowego.

2. CEL I ZAKRES PRACY

Podstawowym celem było zebranie i usystematyzowanie informacji dotyczących :

- metod wytwarzania mgły wodnej do celów gaśniczych,
- podstaw teoretycznych rozpylania mgły wodnej,
- wybranych aspektów doboru i projektowania stałych urządzeń gaśniczych mgłowych,
- przeglądu wybranych urządzeń gaśniczych mgłowych z polskiego rynku.

W zakresie stosowania mgły wodnej do celów gaśniczych, najwięcej miejsca poświęcono jej wykorzystaniu w stałych urządzeniach gaśniczych, czyli do stosowania w obiektach budowlanych. Urządzenia gaśnicze mgłowe do innych celów omówiono ogólnie.

W opracowaniu przywiązano dość istotną wagę do ekonomii stosowania urządzeń gaśniczych zwracając dużo uwagi na urządzenia ekonomiczne tzn. urządzenia o jak najprostszej konstrukcji, wymagające stosunkowo niskich ciśnień wody, pracujące bez konieczności stosowania dodatkowych mediów.

Zgromadzony materiał może być bardzo pomocna dla osób zajmujących się projektowaniem urządzeń gaśniczych na mgłę wodną w zakresie zrozumienia pryncypiów

technologii mgły wodnej. Pomocna może być również konserwatorom urządzeń gaśniczych na mgłę wodną w usystematyzowaniu wiedzy w tym zakresie.

3. TEORETYCZNE PODSTAWY ROZPYLANIA CIECZY

W ochronie przeciwpożarowej najczęściej rozpylaną cieczą jest woda. Dlatego przypomnienie cech cieczy, a szczególnie właściwości wody, będzie bardzo pomocne w przedstawieniu podstaw rozpylania cieczy. Z kolei zrozumienie podstawowych praw rządzących rozpylaniem cieczy jest niezbędne do przedstawienia metod wytwarzania silnie rozpylonych strumieni wodnych i dalej, wykorzystania ich do celów gaśniczych. Teoretyczne podstawy rozpylania cieczy opracowano z wykorzystaniem głównie publikacji [15] Orzechowski Z., Prywer J., *Rozpylanie cieczy*, II wydanie, WNT Warszawa 1991.

3.1. Właściwości i parametry cieczy mające wpływ na proces rozpylania

Gęstość cieczy ρ jest to stosunek masy m (kg) do objętości V (m³) w określonej temperaturze i ciśnieniu:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

W przypadku wody w temperaturze 4 °C i pod ciśnieniem 101 325 Pa gęstość ta wynosi 999,97 kg/m³. [17].

Lepkość jest to zdolność płynu do przenoszenia naprężeń stycznych przy wzajemnym poruszaniu się warstw płynu. W ujęciu matematycznym jest to współczynnik proporcjonalności we wzorze Newtona na naprężenia styczne τ występujące w przepływającym płynie:

$$\tau = -\mu \frac{dv}{dn} \quad (2)$$

stąd współczynnik lepkości:

$$\mu = -\tau \frac{dv}{dn} \quad (3)$$

gdzie: μ – lepkości dynamiczna (Pa·s) lub (kg/m·s)

$$\frac{dv}{dn} - \text{gradient prędkości } dv \text{ na kierunku } dn$$

Lepkość cieczy w odniesieniu do cieczy jednorodnych, do których możemy zaliczyć wodę, zależy:

- od właściwości płynu w zakresie przepływów laminarnych (przepływy wolne),
- od ruchu cieczy w zakresie przepływów turbulentnych (przepływy szybkie).

Lepkość dynamiczna czystej wody w temperaturze 20 °C w zakresie przepływów laminarnych wynosi 1004×10^{-6} Pa·s. [17]

Stosowane jest również pojęcie lepkości kinematycznej ν (m²/s)

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (4)$$

Napięcie powierzchniowe σ (J/m²) na granicy fazy ciekłej i gazowej wynosi:

$$\sigma = \frac{dE_A}{dA} \quad (5)$$

gdzie: dE_A – energia powierzchniowa, czyli energia w (J) zużyta na zwiększenie powierzchni cieczy o wartość dA .

Napięcie powierzchniowe czystej wody w powietrzu w temperaturze 20 °C wynosi $72,58 \times 10^{-3}$ N/m.[17]

Temperatura wody jest istotnym parametrem wody wpływającym na rozpylanie. Wraz z jej wzrostem zmniejsza się napięcie powierzchniowe wody, co przyczynia się do lepszego rozdrobnienia.

Temperatura powietrza, w którym następuje rozpylenie nie ma istotnego wpływu na stopień rozpylenia wody. Wynika to z dwóch faktów:

- temperatura wody stosowanej do rozpylania w urządzeniach gaśniczych zwykle nie odbiega znacznie od temperatury otaczającego środowiska,
- duże ciepło właściwe wody objawiające się dużą bezwładnością cieplną powoduje że strumień wody po opuszczeniu rozpylacza a przed osiągnięciem właściwego rozpylenia w niewielkim stopniu przejmuje temperaturę z otaczającego powietrza.

Wpływ temperatury powietrza na stopień rozpylenia strumienia wodnego nie jest istotny, natomiast wpływ na potencjał gaśniczy jest dość istotny. Po właściwym rozpyleniu następuje dalsza interakcja tego strumienia rozpylonych już kropli z powietrzem i następuje wyrównywanie temperatur. Jeśli temperatura powietrza jest wysoka to następuje szybsze parowanie rozpylonych kropeł wody co z kolei powoduje efektywniejsze wypieranie tlenu z powietrza i tym samym potencjał gaśniczy strumienia mgłowego jest wyższy.

Ciśnienie wody i powietrza w którym następuje rozpylanie nie ma zauważalnego wpływu na stopień rozpylenia w zakresach ciśnień atmosferycznych tj. od ok. 950 hPa do ok. 1050 hPa. Wartość ciśnienia wody nie przekłada się bezpośrednio na stopień rozpylenia. Decydujący

wpływ na stopień rozpylenia ma natomiast prędkość, z jaką wydostaje się z rozpylacza strumień wody – im większa prędkość tym stopień rozpylenia jest większy. A czynnikiem nadającym prędkość jest wystąpienie odpowiedniej różnicy ciśnień – im większa różnica ciśnień tym większą prędkość strumienia może spowodować. Na stopień rozpylenia wpływa zasadniczo energia mechaniczna – w pożarnictwie jest to zwykle energia kinetyczna strumienia – a tą uzyskuje się na odpowiednio ukształtowanym rozpylaczu wykorzystując do jej uzyskania wytworzeniem różnicy ciśnień.

Dodatki do wody używa się stosunkowo rzadko i tylko w uzasadnionych przypadkach. Najczęściej są to środki powierzchniowo czynne zmniejszające napięcie powierzchniowe wody. Poza tym mogą być zastosowane substancje obniżające temperaturę zamarzania – np. glikol etylenowy i heksylenowy, mocznik oraz sole, które jednocześnie poprawiają skuteczność gaśniczą - chlorki (NaCl , CaCl_2 , MgCl_2) i sole węglanowe (Na_2CO_3 , K_2CO_3)

Wpływ określonych właściwości cieczy na jej podatność na rozpylenie (uzyskiwane wielkości kropli) - ogólne zależności:

- ciecze o większych gęstościach tworzą mniejsze krople, [15]
- ciecze o większej lepkości tworzą większe krople, [16]
- ciecze o większym napięciu powierzchniowym tworzą większe krople, [15]

Wpływ gęstości cieczy na stopień rozpylenia nie jest jednoznaczny przy małych różnicach wartości jak to ma miejsce w odniesieniu do wody i roztworów wodnych stosowanych w urządzeniach gaśniczych. Dopiero zastosowanie cieczy o wyraźnie różniących się gęstościach uwidacznia tę zależność. Dlatego w zastosowaniach gaśniczych wpływ ten można pominąć bez narażania się na popełnienie zauważalnego błędu.

Zależność mówiąca, że ciecze o większej lepkości tworzą większe krople również nie jest zależnością, którą można szeroko wykorzystywać w odniesieniu do wody i roztworów wodnych stosowanych w urządzeniach gaśniczych.

Dodanie do wody odpowiednich modyfikatorów powodujących zmniejszenie napięcia powierzchniowego zwiększa stopień rozdrobnienia strumienia wodnego. Podniesienie temperatury wody powoduje również zmniejszenie napięcia powierzchniowego i zmniejszenie lepkości, co sprzyja jej podatności na rozpylenie na mniejsze krople. Klasycznym przypadkiem wykorzystania wysokiej temperatury do wspomaganie rozpylenia cieczy jest rozpylenie cieczy przegrzanej. Sposób ten, ze względu na bezpieczeństwo, nie jest polecany w zabezpieczeniach przeciwpożarowych. Nie mniej w niektórych aplikacjach w przemyśle może być ekonomicznym i szybkim sposobem gaszenia pożarów.

3.2. Rozpylanie cieczy

Rozpylanie cieczy jest to rozpad cieczy na krople w wyniku dostarczania w odpowiedni sposób energii mechanicznej. Urządzenie służące do rozpylania cieczy nazywamy w ogólnym zastosowaniu **rozpylaczem**. Spotykana jest również nazwa *atomizer*. Odpowiednio zbudowana dysza (w znaczeniu: końcówka przewodu hydraulicznego służąca do formowania strumienia cieczy) może pełnić funkcję rozpylacza i bywa nazywana *dyszą rozpylającą*.

W ochronie przeciwpożarowej rozpylacze stosuje się głównie do rozpylania wody. W zależności od przeznaczenia rozpylacze te noszą różne nazwy. Są to przede wszystkim:

- *prądownice* – w odniesieniu do rozpylaczy wodnych obsługiwanych ręcznie a służących podawaniu rozpylonych i zwartych strumieni wodnych np. z hydrantu, z linii gaśniczej.
- *tryskacze i zraszacze* – w odniesieniu do rozpylaczy wodnych w stałych urządzeniach gaśniczych tryskaczowych i zraszaczowych.
- *kurtyny wodne* – do wytwarzania zasłon wodnych mających na celu zmniejszenie siły promieniowania cieplnego pożaru lub wychwycenia szkodliwych substancji z powietrza.
- *dysze mgłowe* – dysze umożliwiające rozpylenie wody do wysokiego stopnia rozpylenia.
- *głowice mgłowe* – zespół kilku (kilkunastu) dysz służący do rozpylania wody do wysokiego stopnia rozpylenia; głowice mgłowe są bardziej wydajne od dysz mgłowych z uwagi na ilość rozpylanej wody.

Formy rozpadu strumienia cieczy (mechanizmy rozpylania cieczy)

Mechanizm rozpylania cieczy należy rozpatrzeć na trzech następujących formach strumieni cieczy:

- strug cieczy,
- błon cieczy,
- kropli rozpadających się wtórnie na mniejsze krople.

Charakter rozpadu **strugi cieczy** zależy od prędkości wypływu strugi z dyszy (ryc. 1). [15]

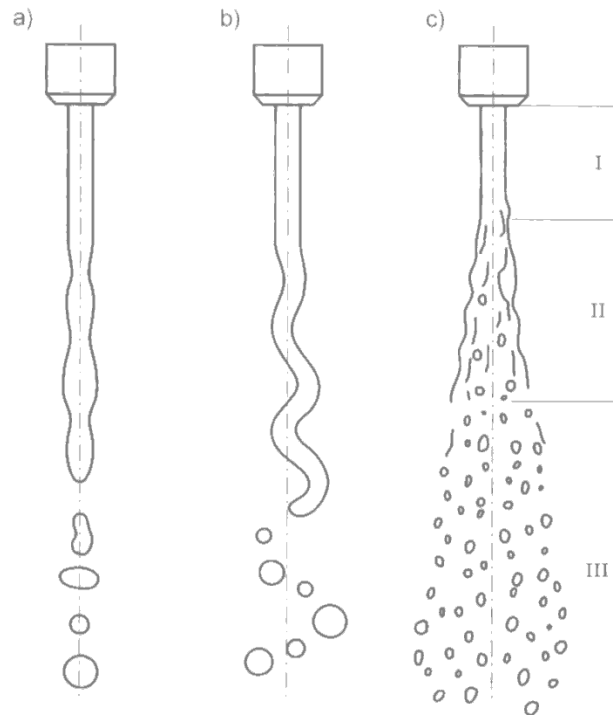
Z analizy rysunku przedstawiającego rozpad strugi cieczy spowodowanej turbulencją wynika, że rozpylanie nie następuje od razu, wobec czego można wyodrębnić trzy strefy:

I – strefa strugi ciągłej,

II - strefa rozpadu (obecność strugi zwartej i kropel)

III – strefa kropeł.

Długości poszczególnych stref zależą od przede wszystkim od prędkości strugi, geometrii otworu wylotowego i fizycznych właściwości cieczy i otoczenia. [16]



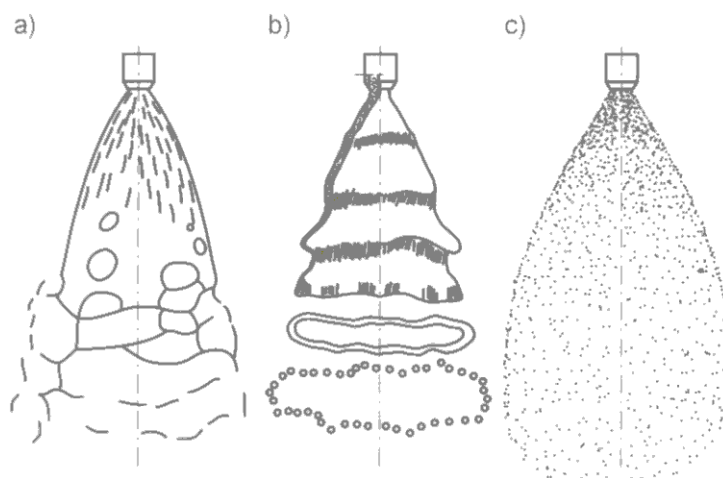
Ryc.1. Rozpad cylindrycznej strugi cieczy powodowanej [16]:

a) zakłóceniami symetrycznymi, b) zakłóceniami asymetrycznymi, c) turbulencją (właściwe rozpylanie).

Najogólniej ujmując, rozróżnia się trzy charakterystyczne formy rozpadu, które zachodzą w zależności od dominującego czynnika dyspergującego: zakłóceń symetrycznych, asymetrycznych lub powodowanych turbulencją. Te formy rozpadu dotyczą odpowiednio prędkości przepływu rzędu 1 m/s, 10 m/s i powyżej kilkudziesięciu m/s, więc odpowiednio wzrastającego udziału sił aerodynamicznych.

Przebieg rozpadu **blony cieczy**, tak jak przebieg rozpadu strugi, zależy głównie od prędkości wypływu cieczy z rozpylacza. Zjawiskiem wspólnym dla każdego z tych przebiegów jest utrata stateczności strug, bowiem błona rozpada się na strugi, a następnie na

krople. Można wyodrębnić trzy charakterystyczne przebiegi rozpadu błon w zależności od prędkości wypływu cieczy z rozpylacza wirowego (ryc. 2).



Ryc.2. Powstawanie kropli w rozpylaczu wirowym[15]

a) rozpad błony wskutek perforacji, b) rozpad błony wskutek zjawisk falowych, c) rozpylanie cieczy (właściwe)

Przy prędkości do kilku metrów na sekundę (ryc. 2a) błona zmniejsza swoją grubość od kierunku wypływu i w określonym momencie zaczyna pękać tworząc otwory – perforacje. Przy większych prędkościach wypływu ujawniają się coraz wyraźniej zjawiska falowe powodując charakterystyczny rozpad błony (ryc. 2b). Przy dalszym wzroście prędkości wypływu (powyżej kilkudziesięciu m/s) maleje długość fal, a rośnie ich amplituda powodując tym samym właściwe rozpylanie (ryc. 2c).[15]

Wtórny rozpad kropli następuje wskutek działania siły aerodynamicznej, czyli wtedy, gdy krople dostają się do obszaru, w którym panuje zwiększone ciśnienie dynamiczne gazu ($\rho_g w^2/2$). Ciśnienie dynamiczne rośnie wraz ze wzrostem gęstości gazu (ρ_g), a precyzyjniej ze wzrostem względnej prędkości (w) między gazem a kroplą. Wskutek opływu kropli przez gaz tworzy się na jej powierzchni rozkład ciśnień, który prowadzi do deformacji kropli. W przypadku cieczy o małej lepkości, jedyną siłą przeciwdziałającą deformacji kropli jest siła napięcia powierzchniowego.

Jak wcześniej wspomniano, na krople działają dwie główne siły, tj. siła aerodynamiczna i siła napięcia powierzchniowego. Gdy pierwsza z tych sił jest większą od drugiej, wówczas kropla deformuje się i rozpada. Warunek równowagi sił jest następujący:

$$c_x \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{\rho_g w^2}{2} = \pi D \sigma \quad (6)$$

stąd otrzymuje się:

$$We_{kr} = \frac{\rho_g w^2 D}{\sigma} = \frac{8}{c_x} \quad (7)$$

gdzie: c_x – współczynnik oporu kropli, We_{kr} – krytyczna liczba Webera, w – prędkość kropli względem gazu, σ – napięcie powierzchniowe, D – średnica kropli, ρ_g – gęstości gazu.

Z poprzedniego równania można obliczyć krytyczną średnicę kropli, czyli maksymalną średnicę kropli $D = D_{max}$, która może istnieć w tych warunkach, gdyż wszystkie krople większe od (D_{max}) powinny ulec rozpadowi

$$D_{max} = \frac{\sigma We_{kr}}{\rho_g w^2} \quad (8)$$

Rozpad wtórny kropli zachodzi wtedy, gdy $We \geq We_{kr}$. Im większa jest liczba (We), tym wymiary kropli w wyniku rozpadu wtórnego są mniejsze.[15] Zależność (8) uwypukla zależność wielkości kropli o prędkości - zależność ta jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu prędkości.

Można również wprowadzić pojęcie minimalnej średnicy kropli (D_{min}), która nie zmienia się wskutek rozpadu nawet w najbardziej szybkim przepływie gazu. Dzieje się tak, ponieważ krople o średnicach $D < D_{min}$ są łatwo unoszone przez gaz, co wyklucza możliwość ich rozpadu. Oczywiście w danym widmie rozpylenia mogą znajdować się krople o średnicach mniejszych od (D_{min}), bowiem takie krople mogą powstać w normalnym procesie rozpylania. [15]

3.3. Balistyka kropel

Zagadnienie balistyki kropli jest bardzo złożone i nastęrcza pewne trudności przy próbach precyzyjnego ujęcia zarówno od strony analitycznej jak i eksperymentalnej. Wynika to z następujących powodów:

- ruch kropli odbywa się często w polu działania różnych i zmiennych sił,
- ruch pojedynczej kropli i ruch strugi kropli podlegają odmiennym prawom,
- struga kropli zawiera krople o różnych średnicach, wskutek czego ich ruch przebiega inaczej niż ruch kropli o średniej średnicy (wszelkie obliczenia wykonuje się dla kropli o średniej średnicy),
- krople ulegają deformacjom i następuje zmiana ich wymiarów (rozpad wtórny, parowanie) podczas ruchu, co jest szczególnie zauważalne powyżej pewnej odległości od rozpylacza (0,5 ÷ 1 m),

- na powierzchni kropli mogą się osadzać cząstki stałe, powodując zmianę ich masy. [15]

Analizując balistykę kropli należy rozpatrzyć dwa podstawowe ujęcia problemu:

- ruch pojedynczych kropli,
- ruch strugi kropli.

Rozpatrując ruch i zasięg pojedynczej kropli należy wziąć pod uwagę energię kinetyczną kropli, jej właściwości aerodynamiczne oraz wzajemne prędkości kropli i gazu. Przy małych średnicach kropli większej wagi nabierają procesy dyfuzji. Najprostszym przypadkiem ruchu strugi kropli to opadanie strugi kropli w dużym obszarze nieruchomego gazu. Opadanie takie może przebiegać według dwóch granicznych mechanizmów. Realizacja jednego lub drugiego mechanizmu zależy przede wszystkim od koncentracji, średnicy i prędkości kropli oraz od gęstości cieczy i gazu. Mechanizmy te mają następujący charakter:

- Mechanizm porywania. Jeżeli pomiędzy kroplami istnieje duże wzajemne oddziaływanie aerodynamiczne, wówczas krople porywają gaz, który wypełnia przestrzeń między kroplami . [15]
- Mechanizm segregacji polega na miejscowych koncentracjach określonych frakcji kropli. W strudze kropli znajdują się krople o różnych średnicach, które są w polu oddziaływań różnych sił. Różnorodność ta powoduje, że krople o różnych średnicach podlegają odpowiednio oddziaływaniom sił o różnych wartościach – poruszają się w różny sposób oraz mają niejednorodny rozkład objętościowy w strudze np. krople w strumieniu z rozpylacza wirowego rozkładają się w ten sposób, że w osi rozpylacza jest przewaga drobnych kropli a na obwodzie strumienia przewaga grubych kropli.

Powyżej opisana złożoność warunków narzuca konieczność stosowania daleko posuniętych uproszczeń w obliczeniach, co z kolei powoduje, że wyniki obliczeń, obarczone są na tyle dużymi błędami, iż czasem tracą wymaganą użyteczność praktyczną. Stąd też w inżynierskich zastosowaniach obliczenia dotyczące balistyki kropli zwykle są weryfikowane eksperymentalnie.

3.4. Parametry rozpylonej cieczy

Kluczowe znaczenie przy rozpatrywaniu parametrów rozpylonej cieczy ma rozpylacz – jego konstrukcja, sposób rozpylania, wymiary. Nie mniejsze znaczenie mają warunki rozpylania (temperatura, ciśnienie) i parametry fizyczne rozpylanej cieczy, wpływ dodatków modyfikujących do cieczy. Niniejszy rozdział koncentruje się na parametrach rozpylonej cieczy pomijając technologię rozpylania.

Termin mgła wodna oznacza intuicyjnie bardzo drobno rozpyloną wodę tak, aby pozostała zawieszona w powietrzu przez pewien okres czasu. Termin ten odzwierciedla jedną z cech jakościowych strumienia rozpylonej wody (mgły wodnej), tj. rozmiary kropli są małe w porównaniu do kropli deszczu lub kropli w strumieniu wody wyrzuconej z tryskaczy. Rozmiary kropli nie są jedyną, ważną, z uwagi na zastosowanie, cechą strugi rozpylonej cieczy. W zależności od przewidywanego celu stosowania – gaszenie, chłodzenie, oczyszczenie powietrza czy zapobieganie rozgorzeniu – rozpylony strumień powinien się wyróżniać szeregiem cech, optymalnych dla danego zastosowania, np. :jakością rozpylenia, równomiernością rozpylenia, pędem strumienia, udziałem w strumieniu dużych kropli, itp.

Chcąc sklasyfikować parametry rozpylonej cieczy należy opisać ją na dwóch poziomach – w skali makro, rozpatrując makrostrukturę rozpylonej cieczy i w skali mikro, rozpatrując jej mikrostrukturę.

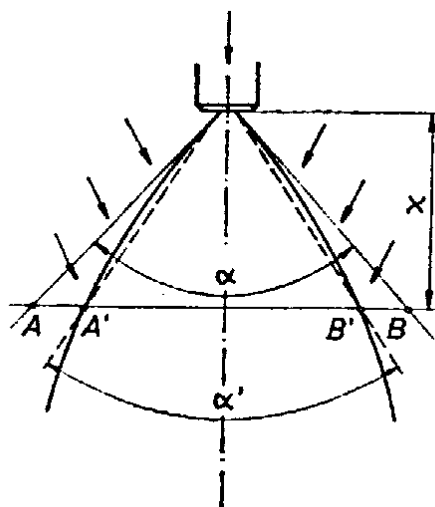
3.4.1. Makrostruktura

Makrostrukturę strumienia mgły wodnej można ogólnie opisać powierzchniami izometrycznymi gęstości masowej. Powierzchnie izometryczne gęstości masowej są to powierzchnie o tej samej gęstości masowej, podobnie jak izobary w meteorologii to powierzchnie w atmosferze o tym samym ciśnieniu. W zależności od metodyki pomiaru i uzyskanych kształtów powierzchni izometrycznych, gęstości masowej możemy mówić o:

- kącie rozpylenia,
- zasięgu strumienia,
- rozkładzie intensywności zraszania.

Kąt rozpylenia α jest to kąt wierzchołkowy rozpylonego strumienia. Na ryc. 3 widać, że strumień zwęża się wraz ze wzrostem odległości x od dyszy. Zwężenie strumienia wynika głównie z działania otaczającego gazu, który zostaje wprawiony w ruch przez zasysające działanie strumienia. Istotne znaczenie ma również siła ciężkości. Kąt α może być, zatem jednoznacznie określony, tylko w mocno rozrzedzonym gazie w warunkach nieważkości.

Czasem definiuje się kąt rozpylenia za pomocą kąta α' , który można mierzyć w normalnych warunkach. Pomiar taki ma sens wtedy, gdy dla danej odległości x jest znana współzależność odcinków AB i AB' , czyli współzależność kątów α i α' . [15]



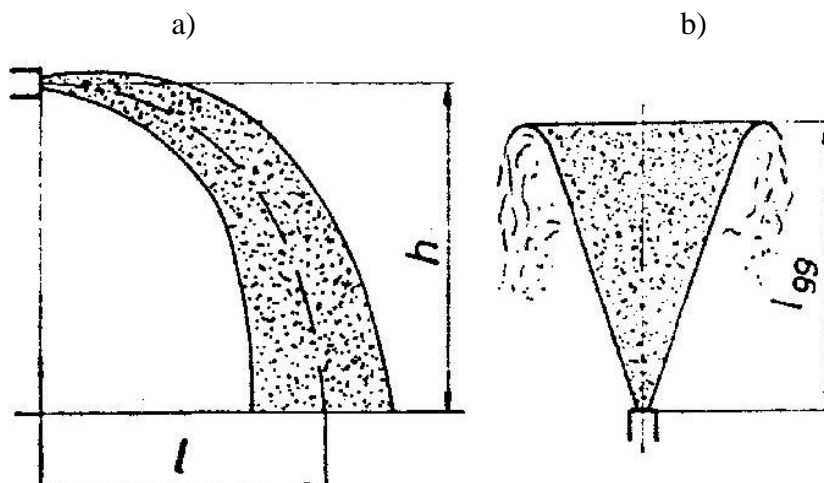
Ryc.3. Zwężenie strugi kropli w nieruchomym otoczeniu

Do celów praktycznych wykorzystywany jest głównie kąt α' , gdyż zależy nam na znajomości obszaru zraszania, jaki można uzyskać z danego rodzaju dyszy. Z kolei znajomość obszaru zraszania jest konieczna do obliczenia liczby i rozmieszczenia dysz urządzenia gaśniczego tak, aby pokryć całą powierzchnię chronioną. Kąt rozpylenia α' jest również istotny w przypadku uwzględniania fizycznych przeszkód stojących na drodze rozpylanych kropli. Znajomość kąta α' pozwala na usytuowanie dysz umożliwiające ominięcie przeszkód.

Z kątem α' związany jest napór, jaki wywiera rozpylany strumień na określoną jednostkową powierzchnię oraz zasięg strumienia. Im większy kąt α' przy danej wydajności przepływu, ciśnieniu i odległości od rozpylacza tym mniejszy napór na określoną jednostkową powierzchnię, na którą pada strumień. Wzrastający kąt α' powoduje zmniejszanie naporu i zasięgu strumienia.

Zasięg strumienia L jest to długość strumienia w kierunku osiowym. Zasięg L zwykle mierzy się dwoma sposobami:

- przy poziomym rzucie strumienia (ryc. 4a), L_h jest funkcją wysokości h ,
- przy pionowym rzucie strumienia (ryc. 4b), przyjmuje się że zasięg strumienia L_{99} jest to wysokość, na którą uniesie się nie mniej niż 99% masy cieczy. [15]



Ryc.4. Zasięg strugi kropli[15]

a) przy poziomym rzucie strumienia

b) przy pionowym rzucie strumienia

Zasięg L zależy od prędkości wypływającej cieczy, jej masy i widma rozpylenia – im większa prędkość i większa masa, a w strumieniu jest znaczący udział kropli o dużych średnicach, tym zasięg L jest większy. Parametr ten w sposób bardzo istotny wpływa na skuteczność gaśniczą. Iloczyn masy i prędkości strumienia tworzy **pęd strumienia**. Zwykle większy zasięg rozpylonego strumienia zapewnia lepszą skuteczność gaśniczą na skutek większej intensywności chłodzenia. W pewnych okolicznościach większy pęd strumienia może powodować efekt przeciwny - większy pęd strumienia powoduje intensywniejszą wentylację ogniska pożaru i tym samym intensyfikację procesu spalania.

Na podstawie wyników pomiarów widma rozpylenia przedstawiających rozkład ilościowy cieczy⁵ w strudze kropli można obliczyć **intensywności zraszania** dla danego punktu pomiarowego. Dysponując informacją o liczbie kropli z każdego przedziału pomiarowego, jaka osiadła na określonej powierzchni wyznaczonej przez sondę pomiarową można obliczyć masę wody, jaka została wykroplona na tej powierzchni. Przy odniesieniu do jednostki czasu, można wyliczyć szacunkową wartość intensywności zraszania.

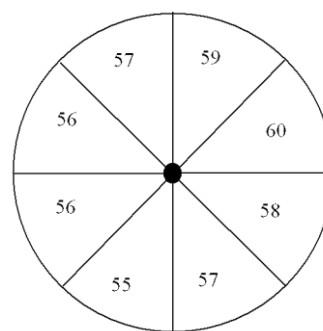
Wysokie dokładności pomiarów intensywności zraszania są możliwe do osiągnięcia przy bezpośrednich pomiarach ilości wody wykroplonej w poszczególnych punktach w odniesieniu

⁵ Wyjaśnienie w rozdziale Mikrostruktura.

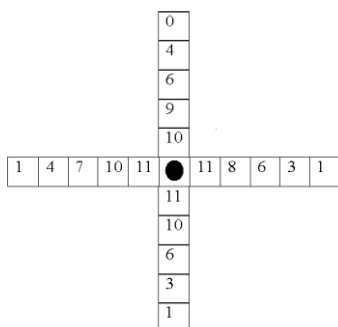
do jednostki czasu. Przykładowe sposoby pomiarów intensywności zraszania umożliwiające osiągnięcie dużej dokładności pomiarów ilustrują rysunki 5, 6, 7 i 8. Numery w komórkach symbolizują przykładowe wysokości słupów wody (mm) w naczyniach pomiarowych po określonym czasie działania dyszy. Dysza umiejscowiona jest centralnie na określonej wysokości h (m) nad zestawem naczyń pomiarowych i jest symbolizowana czarnym kółkiem na rysunku.

0	0	0	1	3	1	3	0	0	0
0	2	3	7	7	6	6	4	5	0
1	6	12	12	11	9	11	9	4	0
3	6	13	10	11	10	9	11	8	2
5	8	10	10	12	12	10	9	7	4
4	8	10	11	12	11	11	10	8	5
2	7	10	9	9	10	10	11	5	3
1	5	11	9	8	9	11	12	4	1
0	2	3	7	7	5	7	4	3	0
0	0	2	3	2	1	3	2	0	0

Ryc.6. Schemat stanowiska do pomiarów pełnego rozkładu intensywności zraszania



Ryc.5. Schemat stanowiska do pomiarów obwodowego rozkładu intensywności zraszania



Ryc.7. Schemat stanowiska do pomiarów promieniowego rozkładu intensywności zraszania

Utworzony wykres na podstawie otrzymanych wyników pomiarów z pełnego rozkładu intensywności zraszania będzie wykresem trójwymiarowym. Chcąc przedstawić rozkład intensywności zraszania na płaszczyźnie należy się posłużyć liniami izometrycznymi objętości wody – powstaną one przez połączenie liniami komórek o tych samych wartościach. Linie izometryczne objętości wody są obrazem przecięcia powierzchni izometrycznych gęstości masowej płaszczyzną pomiarową.

Dysza rozpylająca powinna charakteryzować się określoną, symetryczną, równomiernością rozpylenia. Ryc. 7 przedstawia pomiar promieniowego rozkładu

intensywności zraszania, natomiast ryc. 6 przedstawia pomiar obwodowego rozkładu intensywności zraszania. Promieniowy rozkład intensywności zraszania służy do oceny równomierności strugi kropli wzdłuż promienia, natomiast obwodowy rozkład intensywności zraszania służy do oceny symetrii strugi kropli względem jej osi.

Intensywność zraszania dysz przeznaczonych do stałych urządzeń gaśniczych mgłowych powinna być mierzona jednocześnie na kilku dyszach, - do badań przyjmuje się na czterech sąsiednich dyszach-, jak to przedstawiono na ryc. 8. Uzasadnione jest to tym, że dysze w tych urządzeniach pracują w zespołach: albo pracują w sekcjach (urządzenia zraszaczowe) albo zakłada się, że nastąpi otwarcie kilku sąsiednich dysz (urządzenia tryskaczowe). Bardzo rzadko zakłada się, że dysze działają pojedynczo. W obszarach granicznych strumienie z kilku sąsiednich dysz oddziałują nawzajem na siebie tworząc nieco inny rozkład intensywności zraszania niż w przypadku strumienia z tych dysz rozpatrywanych jako nałożenie strumieni zarejestrowanych w indywidualnej pracy. Uzasadnione to jest ruchami powietrza powodowanymi przez strumień mgły wodnej – nieco inaczej te ruchy będą się przedstawiały wówczas, gdy dysza działa indywidualnie a inaczej, gdy sąsiednie dysze będą również generowały ruchy powietrza. W osi strumienia różnice w intensywności zraszania są zwykle pomijalne natomiast na obrzeżach obszaru działania wpływ jest dość znaczący. Toteż istnieje potrzeba sprawdzenia intensywności zraszania dysz pracujących w zespołach w szczególności w obszarach granicznych.

Duże różnice w wartościach intensywności zraszania pomiędzy poszczególnymi komórkami są bardzo niekorzystne – świadczy to o nieprecyzyjnym wykonaniu dyszy. Poza można się spodziewać różnic w wartościach intensywności zraszania uzyskiwanych ze strumieni drobnokroplistych i grubokroplistych na korzyść tych pierwszych. Strumienie drobnokropliste zwykle charakteryzują się większą „penetrowalnością” przestrzeni, dłuższym czasem „zawieszenia w powietrzu” a są to cechy sprzyjające przestrzennemu wyrównaniu wartości intensywności zraszania. Cechę tą określaną jako *nierównomierność rozkładu intensywności zraszania* można mierzyć i porównywać jej wartość z innymi dyszami.

9	8	7	8	8	7	9	9	8	8
8	8	8	9	8	8	7	9	8	8
9	8	7	7	7	7	8	9	9	8
7	8	7	7	6	7	7	9	8	9
9	8	7	6	5	6	6	7	8	9
8	9	8	7	5	5	6	7	9	8
9	8	9	7	6	7	7	8	9	8
9	8	9	8	7	8	9	8	9	8
9	8	8	9	8	8	8	8	9	9
9	8	7	9	9	9	8	8	8	8

Ryc.8. Schemat stanowiska do pomiarów rozkładu intensywności zraszania dysz pracujących w zespole

Nierównomierność rozkładu intensywności zraszania I można określić liczbowo na podstawie równania:

$$I = \frac{q_{\max} - q_{\min}}{q_{sr}} 100\% \quad (9)$$

gdzie: q_{\max} , q_{\min} , q_{sr} – odpowiednio maksymalna, minimalna i średnia intensywność zraszania.

[15]

Parametr I , ustalony na podstawie pomiarów pełnego rozkładu intensywności zraszania dyszy lub zespołu dysz, będzie bardziej wiarygodny niż ustalony na podstawie pomiarów promieniowego lub obwodowego rozkładu intensywności zraszania, przy zastosowaniu komórek tej samej wielkości. Niewątpliwie ten pierwszy jest dużo bardziej pracochłonny. Należy zwrócić jeszcze uwagę na to, aby zgodnie z regułami statystyki, do pomiarów użyć stosunkowo dużej liczby komórek pomiarowych – adekwatnie do pola pokrycia przypisanego danej dyszy.

Wyżej opisane sposoby mierzenia *intensywności zraszania* (wyrażanej w przyroście słupa wody w czasie [mm/min]) są właściwe w przypadku pomiarów mgły wodnej o niskim stopniu rozpylenia oraz „zwykłych” strumieni rozpylonych - np. z tryskaczy. W przypadku mgły wodnej o wysokim stopniu rozpylenia kwalifikowanej do klasy 1⁶ (mgły wodnej określanej żargonowo jako „sucha” tj o średnicy kropeł do $D_{V0,9} < 20 \mu\text{m}$ lub „nieosiadająca” tj o średnicy kropeł $D_{V0,9} < 200 \mu\text{m}$) pomiar intensywności zraszania nie jest praktycznie możliwy. Wyobrażeniem problemu może być próba pomiaru intensywności zraszania, jaka powodowałaby znana wszystkim mgła atmosferyczna. Ekwiwalentem intensywności zraszania

⁶ Szerzej w rozdziale pt. Definicja „mgły wodnej” przyjęta w ochronie przeciwpożarowej

w takim przypadku może być gęstość strumienia C (koncentracja) wyrażona w $[l/m^3]$, a jej wartość może być oszacowana na podstawie znajomości intensywności przepływu na każdej z głowic mgłowych. Jednym ze sposobów pomiaru gęstości mgły wodnej zawieszanej w powietrzu może być pomiar ekstynkcji, czyli wyznaczenie gęstości optycznej ośrodka (tu mgły wodnej zawieszanej w powietrzu) na podstawie osłabienia promieniowania – nie jest to jednak pomiar, który nie nastroczałby trudności w interpretacją wyników z uwagi na dość szeroki zakres średnic kropli (od kilku mikronów do około 1000 mikronów) i w związku z tym różną przenikalność światła zdeterminowaną przez długość fali i wielkość średnic.

3.4.2. Mikrostruktura

3.4.2.1. Widmo rozpylenia – rozkłady średnic kropli i średnice pozycyjne

Krople w rozpylonym strumieniu wody stanowią typowy układ niejednorodny (polidispersyjny), który charakteryzuje się dużym rozrzutem średnic kropli. Jeszcze większy rozrzut występuje w przypadku powierzchni i mas kropli. Na przykład strumień kropli o średnicy od $10\ \mu\text{m}$ do $200\ \mu\text{m}$ ma rozrzut średnic 1:20 a rozrzut mas do potęgi trzeciej, czyli 1:8000. Układ polidispersyjny, jakim jest rozpylony strumień wody, można przedstawić graficznie w postaci krzywej rozkładu ilościowego (udziałów ilościowych) kropli. Chcąc wiernie opisać mikrostrukturę rozpylanej cieczy należy policzyć całkowitą ilość kropli w badanej, reprezentatywnej próbce, jednocześnie mierząc średnice liczonych kropli. Następnie całkowity zakres mierzonych średnic należy podzielić na kilkanaście lub kilkadziesiąt przedziałów wielkości średnic, w zależności od wymaganej dokładności i metody pomiaru. Dla przykładu: zmierzylismy, że największe wytwarzane krople będą miały średnice $D_{\text{max}} = 400\ \mu\text{m}$, a najmniejsze, które jeszcze nas interesują będą miały średnice $20\ \mu\text{m}$ – na tej podstawie tworzymy zakres od $20\ \mu\text{m}$ do $400\ \mu\text{m}$, który następnie dzielimy np. na 19 równych przedziałów, każdy o szerokości $20\ \mu\text{m}$. Liczba kropli (n) zakwalifikowanych do określonego przedziału (i) o szerokości (ΔD) odniesiona do całkowitej liczby kropli (N) przedstawia udział ilościowy (liczbowy) $\Delta \bar{n}$ kropli w danym przedziale i .

$$\Delta \bar{n}_i = \frac{\Delta n_i}{N} \quad (10)$$

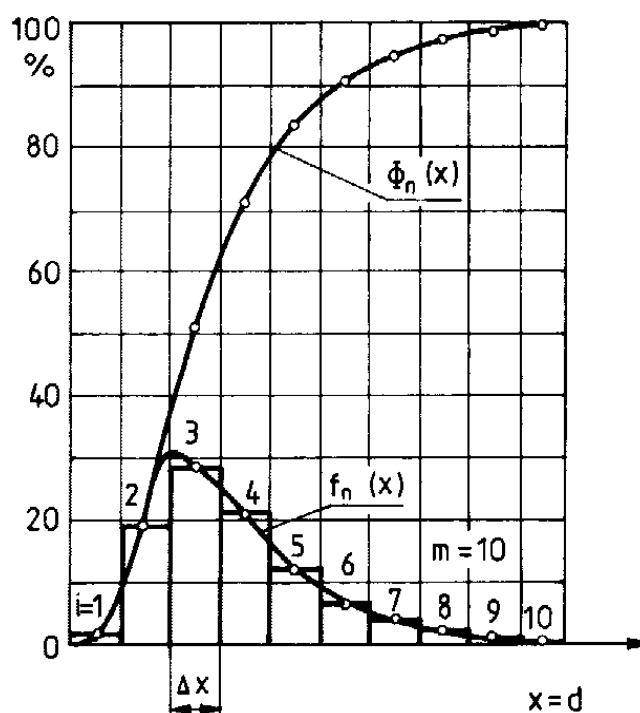
Na tej podstawie, czyli przyjętej ilości przedziałów (tu przedziałów wielkości kropli) oraz udziałów ilościowych⁷ w poszczególnych przedziałach tworzymy histogram. Histogram jest opisany funkcją rozkładu ilościowego kropli według następującego wzoru:

$$f_n(D) = \frac{\Delta \bar{n}_i}{\Delta D_i} \quad (11)$$

Postępujemy ciągle zgodnie z zasadami matematyki i stosujemy terminologię statystyczną. Przyjmując średnice kropli (D) jako zmienną losową (x) tj. zmienną ciągłą, przy szerokościach przedziałów (Δx_i) dążących do wartości 0 mamy:

$$f_n(x) = \lim_{\Delta x_i \rightarrow 0} \frac{\Delta \bar{n}_i}{\Delta x_i} = \frac{d \bar{n}}{dx} \quad (12)$$

Funkcja $f(x)$ opisuje rozkład gęstości prawdopodobieństwa zmiennej losowej (x), jej wykres przedstawia krzywą **rozkładu ilościowego kropli (cząstek)**. Powstaje ona przez wygładzenie krzywej schodkowej przedstawiającej procentowe udziały ilościowe cząstek w każdym z przedziałów, przy czym średnica (x) jest zmienną ciągłą. Jak widać na ryc. 9, rozkład $f(x)$ nie jest rozkładem normalnym (rozkładem Gaussa).



⁷ Analiza ilościowa może tu dotyczyć oprócz liczby kropeł również ich objętości (alternatywnie masy) powierzchni oraz długości średnic kropli.

Ryc.9. Krzywe $f_n(D)=f_n(x)$ i $\Phi_n(D)=\Phi_n(x)$ udziału ilościowego cząstek [15]

Funkcja $f(x)$ jest pochodną dystrybuanty $\Phi(x)$ zmiennej losowej (x), zaś dystrybuanta $\Phi(x)$ jest funkcją **sumarycznego udziału (rozkładu) ilościowego kropli**.

$$\Phi_n(x) = \sum_{l=1}^{i=m} \Delta n_l \quad (13)$$

lub

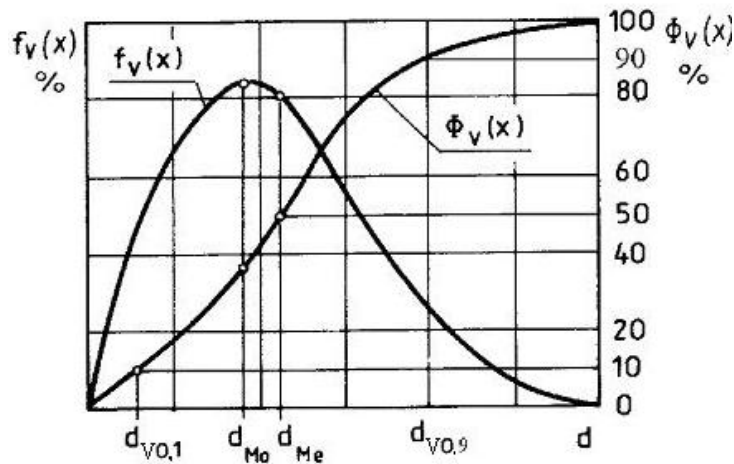
$$\Phi_n(x) = \int_0^x f_n(x) dx \quad (14)$$

Dystrybuanta jako krzywa niemalejąca określa procentowy udział liczby cząstek o średnicach mniejszych od (x) jaki jest w całkowitej liczbie cząstek. [15]

Wszystko, co powiedziano na temat rozkładu ilości cząstek $f_n(x)$ i $\Phi_n(x)$, dotyczy również rozkładu średnic cząstek $f_D(x)$ i $\Phi_D(x)$, powierzchni $f_A(x)$ i $\Phi_A(x)$ oraz objętości (masy) $f_V(x)$ i $\Phi_V(x)$ – są to wartości ilościowe powiązane ze sobą.

Na wykresach rozkładu objętości $f_V(x)$ i $\Phi_V(x)$ – przedstawionych na ryc. 10 - pokazano dwie charakterystyczne średnice. Jedną z nich jest średnica modalna zwana dominantą (D_{mod}), odpowiadająca maksimum krzywej $f_V(x)$ lub punktowi przegięcia krzywej $\Phi_V(x)$. Drugą jest średnica medialna ($D_{V0,5}$), która dzieli powierzchnię pod krzywą $f_V(x)$ lub objętość (masę) kropli na dwie połowy, co odpowiada wartości $\Phi_V(x) = 50\%$. [15]

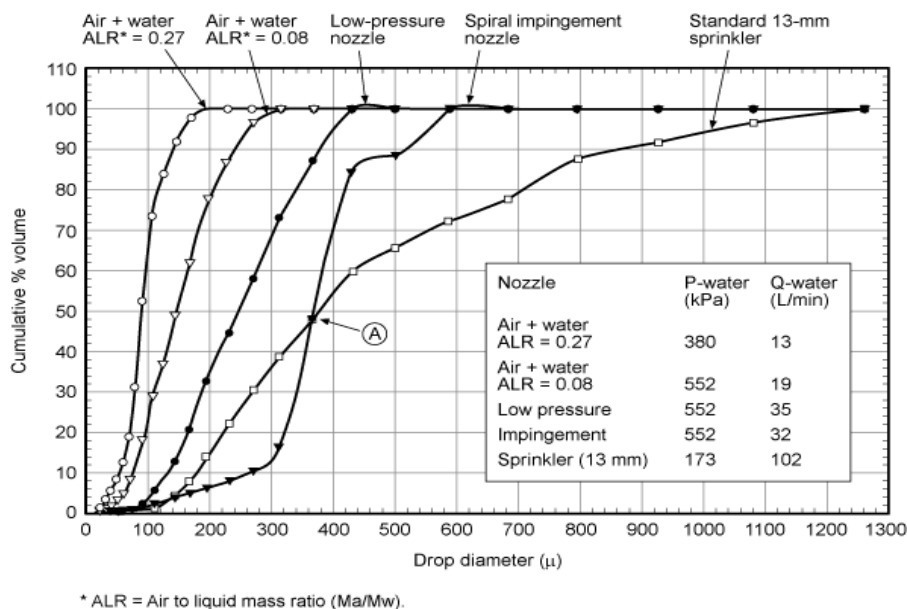
W literaturze, szczególnie anglojęzycznej, średnicę medialną oznacza się często VMD⁸.



Ryc.10. Średnice charakterystyczne na krzywych rozkładu objętościowego

⁸ Skrót z jęz. angielskiego od Volume Median Diametr.

Można również znaleźć taką średnicę kropli, która będzie dzieliła objętość (masę) kropli według innych proporcji np. na wykresie $\Phi_V(x) = 10\%$, co znaczy, że objętość (masa) kropli, których średnice są mniejsze od znalezionej ($D_{V0,1}$) jest równa 10% całkowitej objętości mierzonych kropli. W identyczny sposób znajdujemy średnicę ($D_{V0,9}$). Wyżej opisane średnice $D_{V0,1}$, $D_{V0,5}$, $D_{V0,9}$ są wykorzystywane jako średnice pozycyjne. Dzięki tym trzem punktom możemy dość precyzyjnie określić położenie krzywej $f_V(x)$ i $\Phi_V(x)$, a co za tym idzie opisywane za ich pomocą widmo rozpylenia. Wykorzystując kilka średnic pozycyjnych danego wykresu widma możemy dość obiektywnie porównywać między sobą widma rozpylenia uzyskiwane w różnych warunkach (np. inne dysze, położenie, ciśnienie itp.). Porównania między sobą tylko jednej średnicy (np D_{mod} , $D_{V0,5}$ czy średnicy średniej) jest użyteczne przy ogólnych opisach, natomiast przy szczegółowych opisach może być to niewystarczające i powodować znaczące błędy.



Ryc.11. Porównanie krzywych rozkładu objętościowego kropli w odniesieniu do dysz mgłowych różnego rodzaju [34]

Jak jest to widoczne w punkcie A na rysunku 11 dwa strumienie rozpylonej cieczy o tym samym $D_{V0,5}$ (VMD) mogą mieć wyraźnie różne widma rozpylenia. Ważna jest informacja, że w strumieniu rozpylonej cieczy znajdują się krople o większych średnicach. Dzięki tej informacji można zapobiec np. rozbryzgiwaniu się cieczy palnych na skutek przedarcia się dużych kropli do powierzchni paliwa [5]. Wiarygodną informację na ten temat daje znajomość opisanych średnic pozycyjnych. W szczególnych przypadkach możemy określić

średnicę (D_{\max}) to znaczy, zmierzyć i podać, jakie maksymalnej wielkości krople znajdują się w rozpylonym strumieniu.

Krzywe eksperymentalne $f(x)$ i $\Phi(x)$ mogą być opisane różnymi równaniami, które mają lepsze lub gorsze własności aproksymujące. Do najbardziej znanych należy równanie Rosina-Rammlera:

$$\Phi_V(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{D}{X}\right)^\delta\right] \quad (15)$$

gdzie:

D – średnica cząstki,

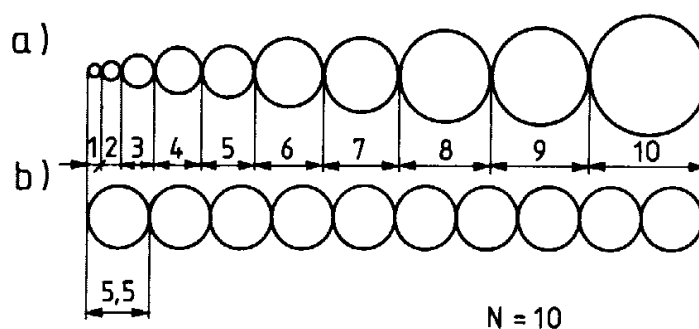
δ – parametr rozkładu (jednorodności rozdrobnienia),

X – parametr rozmiaru średnic kropli.

Parametry równania δ i X wyznacza się graficznie na podstawie szeregu próbek. Równanie to określa, jaki jest udział objętościowy (masowy) cząstek o średnicach mniejszych od D . [17]

3.4.2.2. Średnice średnie

Wobec faktu zróżnicowania rozmiarów cząstek zachodzi konieczność charakteryzowania pobranej próbki kropli za pomocą średnich średnic. **Średnia średnica** jest to wielkość umowna, która charakteryzuje zbiór jednakowych cząstek w zastępstwie rzeczywistej populacji cząstek. Średnia średnica w zależności od sposobu jej obliczania - określa każdorazowo taką własność zbioru, jak liczba, średnica, powierzchnia oraz objętość cząstek, lecz nie daje pełnej informacji o samej populacji cząstek.



Ryc.12. Zbiory cząstek: a) zbiór wielofrakcyjny, b) zbiór zastępczy pod względem ilości i średnicy cząstek

Na ryc. 12a pokazano zbiór dziesięciu ($N = 10$) cząstek kulistych o średnicach od 1 do 10 jednostek umownych. Zbiór ten na ryc. 12b zastąpiono zbiorem również dziesięciu cząstek o średniej średnicy arytmetycznej (D_{10}) 5,5 tych samych cząstek; oba zbiory mają tę samą

długość. Gdyby natomiast stworzyć zbiór zastępczy o tej samej liczbie cząstek i o tej samej sumarycznej powierzchni (D_{20}), to cząstki zastępcze miałyby średnicę 6,21 jednostek. Analogicznie można stworzyć zbiór zastępczy o tej samej liczbie cząstek i o tej samej sumarycznej objętości (D_{30}) lub zbiór zastępczy o tej samej sumarycznej powierzchni i tej samej sumarycznej objętości (D_{32}).

Tabela 1

.Wybrane średnie średnice kropli (cząstek) [15][17]

Średnia średnica	Oznaczenie*	Wzór	Zastosowanie
Arytmetyczna (długość/liczba)	D_{10}	$\frac{\sum \Delta n D}{\sum \Delta n}$	porównanie układów dyspersyjnych
Objętościowa (objętość/liczba)	D_{30}	$\sqrt[3]{\frac{\sum \Delta n d^3}{\sum \Delta n}}$	kontrola objętości, zjawiska objętościowe
Sautera (objętość/powierzchnia)	D_{32}	$\frac{\sum \Delta n D^3}{\sum \Delta n D^2}$	zasięg kropli, wymiana masy, wymiana ciepła

*Indeksy przy oznaczeniu średnicy oznaczają, przestrzenie, po jakich dokonywano uśrednienia np. średnia średnica d_{10} oznacza, że skojarzono wymiar liniowy średnicy (1) z wartością niemianowaną (0), jaką jest liczba kropli.

Zastosowanie średnicy Sautera

Średnica objętościowo powierzchniowa D_{32} (średnica Sautera) jest to średnica jednorodnego zbioru zastępczego o tej samej sumarycznej objętości i tej samej sumarycznej powierzchni wszystkich kropli, co w zbiorze rzeczywistym. Średnica Sautera jest stosowana najczęściej, gdy chcemy opisać procesy zachodzące w środowisku pożaru takie jak: zasięg kropli, wymianę ciepła i masy. Parametry te uzależnione są od średnicy Sautera w następujących formułach empirycznych:

Zasięg kropli zależy od stosunku sił bezwładności i sił oporu aerodynamicznego według zależności:[15]

$$D_{32} \sim \frac{\sum \rho_1 \frac{\pi D^3}{6} a \Delta n}{\sum c_x \frac{\pi D^2}{4} \frac{\rho_2 v^2}{2} \Delta n} \quad (16)$$

gdzie: ρ_1 , ρ_2 - gęstości cieczy i otaczającego ośrodka gazowego, a - przyspieszenie kropli.

Wymiana ciepła między kroplami i otoczeniem zależy od stosunku ilości ciepła potrzebnego do ogrzania kropli o ΔT do ilości ciepła przejmowanego przez krople z otoczenia przy różnicy temperatur ΔT według zależności:[15]

$$D_{32} \sim \frac{\sum c_1 \rho_1 \frac{\pi D^3}{6} \Delta T \Delta n}{\sum \alpha \pi D^3 \Delta T \Delta n} \quad (17)$$

gdzie: c_1 - ciepło właściwe cieczy, α - współczynnik przejmowania ciepła.

Wymiana masy między kroplami i otoczeniem zależy od stosunku masy kropli do masy odparowanej cieczy w jednostce czasu według zależności:[15]

$$D_{32} \sim \frac{\sum \rho_1 \frac{\pi D^3}{6} \Delta n}{\sum \pi D^2 \beta (C_o - C) \Delta n} \quad (18)$$

gdzie: β - współczynnik wymiany masy, C , C_o - koncentracja cieczy w otaczającym ośrodku gazowym z dala od powierzchni i przy powierzchni kropli.

3.4.2.3. Wskaźniki rozpylenia cieczy

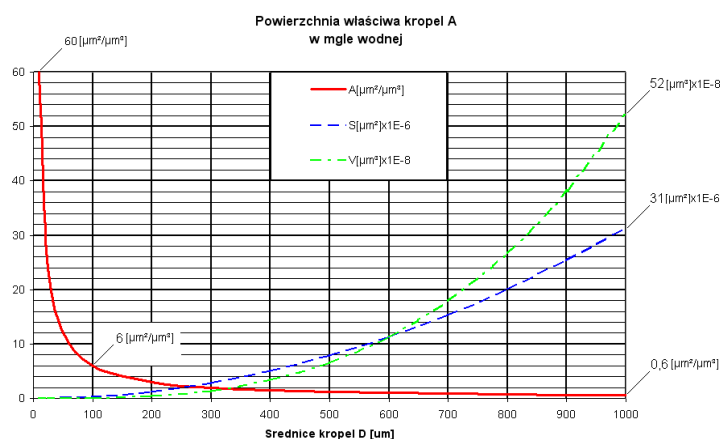
Mikrostruktura rozpylonej cieczy może być opisana szeregiem wskaźników, tzw. wskaźników rozpylenia cieczy. W zależności od zastosowania mgły wodnej różne wskaźniki rozpylenia będą istotne i będą brane pod uwagę. Wskaźniki rozpylenia cieczy są to wskaźniki opisujące mikrostrukturę rozpylonej cieczy, czyli innymi słowy, są to parametry opisujące stan strumienia na poziomie mikro: średnie średnice kropli, pozycyjne średnice kropli, powierzchnie właściwe kropli, jakość rozpylenia. Porównując wskaźniki rozpylenia cieczy między sobą można, przy wykorzystaniu od jednej do kilku liczb charakteryzujących te wskaźniki, wybrać najbardziej pożądane do danej aplikacji rozpylenie.

Powierzchnia właściwa kropli A_D jest to powierzchnia przypadająca na jednostkę objętości (rzadziej masy) rozpylonej cieczy. Znajomość tej powierzchni jest istotna przy opisie procesów zachodzących na powierzchni kropli – np. adsorpcji (czyli wychwytywania) cząsteczek szkodliwych gazów lub cząstek ciał stałych (np. dymu). Powierzchnię właściwą A_D można obliczyć ze znajomości widma rozpylenia, lecz jest to czynność zbyt uciążliwa, dlatego korzysta się z pojęcia średnicy Sautera. Średnica D_{32} jest określona dla takiego zbioru kropli, który ma taki sam stosunek objętości i powierzchni wszystkich kropli, jak i jednej kropli o średnicy D_{32} . Należy, zatem zapisać:

$$A_D = \frac{A_1}{V_1} = \frac{\pi D_{32}^2}{\frac{\pi D_{32}^3}{6}} = \frac{6}{D_{32}} \quad (19)$$

gdzie: A_1 i V_1 – powierzchnia i objętość jednej kropli. Podstawiając D_{32} w centymetrach uzyskuje się A_D w cm^2/cm^3 .

Na ryc. 13 przedstawiono przebieg powierzchni właściwej kropli w zależności od wielkości średnic. Dodatkowo przedstawiono przebieg powierzchni i objętości kropli w zależności od wielkości średnic.



Ryc. 13 Zależność powierzchni właściwej A_D kropli od ich średnic D

Z ryc. 13 wynika, że:

- dla średnicy kropli $D=1000\mu\text{m}$ (1 mm) objętość kropli jest równa $52 \mu\text{m}^3 \times 1\text{E}+8$ ($0,52 \text{ mm}^3$) a powierzchnia właściwa wynosi $0,6 \mu\text{m}^2/\mu\text{m}^3$
- dla średnicy kropli $D=100 \mu\text{m}$ (0,1 mm) objętość kropli jest równa $52 \mu\text{m}^3 \times 1\text{E}+5$ ($52 \text{ mm}^3 \times 1\text{E}-5$), a powierzchnia właściwa wynosi $6 \mu\text{m}^2/\mu\text{m}^3$
- dla średnicy kropli $D=10 \mu\text{m}$ (0,01 mm) objętość kropli jest równa $52 \mu\text{m}^3 \times 1\text{E}+2$ ($52 \text{ mm}^3 \times 1\text{E}-8$), a powierzchnia właściwa wynosi $60 \mu\text{m}^2/\mu\text{m}^3$.

Uogólniając zależności możemy wysnuć następujące wnioski:

- zmniejszenie średnicy kropli o jeden rząd powoduje zmniejszenie objętości tej kropli o trzy rzędy,
- zmniejszenie średnicy kropli o jeden rząd powoduje zwiększenie powierzchni właściwej o jeden rząd.

Pojedyncza kropla o kształcie sferycznym o objętości $V=0,52 \text{ mm}^3$ ($D=1000 \mu\text{m}$) ma powierzchnię $0,6 \text{ mm}^2$. Jeśli kroplę tą rozbijemy na 1000 równych kropli – oczywiście też sferycznych - to każda z nich będzie miała średnicę $0,1 \text{ mm}$ ($100 \mu\text{m}$) i łączną powierzchnię 6 mm^2 . Jeśli kroplę o średnicy $0,1 \text{ mm}$ ($100 \mu\text{m}$) chcielibyśmy znowu rozbić na 1000

równych kropli to każda z nich będzie miała średnicę 0,01 mm (10 μm) i łączną powierzchnię 60 mm^2 – itd.

Stosunki te niezależnie od zastosowanych jednostek pomiaru przestrzeni pozostają niezmiennie. Dlatego, dla uzmysłowienia sobie skali wartości, zależności te możemy prześledzić wstawiając dm (dm^2 i dm^3) w miejsce mm (mm^2 i mm^3). Widzimy wówczas, że z kuli wodnej o średnicy $D = 1$ dm która ma powierzchnię 0,6 dm^2 (i pojemność $V = 0,52$ dm^3) po podzieleniu jej na krople o średnicy dwa rzędy mniejsze (tj. $D = 0,01$ dm) otrzymamy powierzchnię 60 dm^2 . A dzieląc średnicę znowu o kolejne dwa rzędy tj. do wartości $D = 0,0001$ dm ($D = 10$ μm) powiększamy sumaryczną powierzchnię tych wszystkich kropli do wartości 6000 dm^2 (60 m^2).

Zwykle średnie⁹ średnice kropli w strumieniu mgłowym mieszczą się w zakresie 50-300¹⁰ μm . Warto zauważyć, że kropla o średnicy $D = 0,0001$ dm (10 μm) to kropla mgły wodnej o bardzo pożądanym rozmiarze z uwagi na właściwości gaśnicze i mobilność w przestrzeni gaszenia. Rozpylając 0,5 litra wody (tj. ilość mieszcząca się w czaszy kuli o średnicy $D = 1$ dm) do kropli o wielkości średnicy $D = 10$ μm otrzymujemy łączną powierzchnię wszystkich rozpylonych kropli 60 m^2 !!! Tak duża powierzchnia ze stosunkowo niewielkiej objętości wody daje ogromny potencjał absorpcji gazowych produktów spalania, absorpcji ciepła i blokowania promieniowania, o czym szerzej w rozdziale pt. „FENOMEN GAŚNICZY MGŁY WODNEJ – MECHANIZMY GAŚNICZE I OPTIMALIZACJA ZASTOSOWANIA”.

Posuwając się dalej w teoretycznych rozważaniach na drodze rozpylania mgły wodnej do coraz mniejszych kropli, tj. rozpylenie w dalszych rzędach – np. podział kropli do średnicy $D = 1$ μm spowodowałby, że z objętości wody 0,5 l uzyskalibyśmy łączną powierzchnię 600 m^2 . Jednakże krople tej wielkości przestają mieć praktyczne znaczenie gdyż w okolicach tej wartości kończą się techniczne możliwości rozpylaczy. W praktyce, niewiele urządzeń gaśniczych mgłowych jest w stanie wytworzyć widmo rozpylenia w którym krople o średnicy poniżej $D = 10$ μm miałyby udział na tyle znaczący że wpływałyby istotnie na skuteczność gaszenia. Dlatego do celów praktyki pożarnej przedmiotem analiz są zwykle krople o wielkości nie mniejszej niż 10 μm - istnienie mniejszych kropli można zwykle zaniedbać co nie spowoduje znaczącego zniekształcenia wyników efektywności gaszenia.

⁹ Średnie średnice kropli rozumiane jako dowolne miary tendencji centralnych w widmie rozpylenia

¹⁰ Na podstawie badań własnych autora

Jakość rozpylenia Q_R jest opisywana dwoma parametrami: stopniem rozpylenia i jednorodnością rozpylenia. Każdy z tych dwóch parametrów będzie charakteryzowany przez określone liczby.[15]

Składowe jakości rozpylenia Q_R :

- **Jednorodność rozpylenia J** określa rozrzut średnic kropli, przy czym większa jednorodność rozpylenia oznacza mniejszy rozrzut średnic kropli.

W literaturze anglojęzycznej spotyka się odwrotność tej wartości określanej jako *Relative Span Factor* (RSF), który oblicza się według wzoru:

$$RSF = 1/J = \frac{D_{V0,9} - D_{V0,1}}{D_{V0,5}} \quad [15][24] \quad (20)$$

- **Stopień rozpylenia D_{xy}** informuje o średniej średnicy kropli, przy czym większy stopień rozpylenia oznacza mniejszą średnią średnicę kropli [15]. W zależności od zastosowania podaje się odpowiednio określoną średnią średnicę kropli – np. D_{32} , D_{10} .

Wskaźniki uzupełniające parametry rozpylonego strumienia D_{max} , v_n , C

Cennym uzupełnieniem określenia jakości rozpylenia jest podanie, oprócz jednorodności rozpylenia J (lub współczynnika RSF) oraz stopnia rozpylenia (czyli średniej średnicy D_{XY}), również średnicy D_{max} – średnicy największych kropli występujących w strumieniu. Zależy to od przewidywanego zastosowania mgły wodnej. Dla przykładu: w strumieniu gaśniczym mgły wodnej stosowanej do gaszenia pożarów klasy F (tłuszcze spożywcze) obecność kropli o średnicy większej niż D_{kryt} (określanej jako średnica krytyczna) spowoduje, że krople tej wielkości i większe nie zdążą odparować przed osiągnięciem powierzchni gaszonego tłuszczu. Kontakt kropli wody z gorącym tłuszczem wywoła bardzo gwałtowne, prawie eksplozyjne jej wrzenie powodując rozrzut tłuszczu i w konsekwencji doprowadzi do zintensyfikowania spalania – efektu odwrotnego od zamierzonego. W tym przypadku znajomość średnicy D_{max} kropli obecnych w strumieniu jest koniecznie potrzebna do weryfikacji czy nie przekracza ona wartości średnicy krytycznej D_{kryt} kropli uznanych za niepożądane.

Rozkład ilościowy kropli, czyli widmo rozpylenia jest podstawowym parametrem opisującym mikrostrukturę rozpylonej cieczy. W oparciu o ten pierwotny parametr możliwe są do wyliczenia inne rozkłady (długości średnic powierzchni, objętości) i liczby charakteryzujące te rozkłady (średnice pozycyjne, średnice średnie, współczynnik J (lub RSF)). Widmo rozpylenia opisane dowolnym rozkładem nie jest jedynym parametrem opisującym mikrostrukturę rozpylonej cieczy. W wielu zastosowaniach strumieni

rozpylonych w ochronie p.poż. (głównie jednak do gaszenia i chłodzenia) istotnymi parametrami z uwagi na cel działania są prędkości kropli v_n [m/s] w tym prędkości chwilowych oraz ich przestrzenne C [l/m³] lub czasowo-przestrzenne koncentracje. Prędkości kropli są rozpatrywane jako parametr opisu mikrostruktury strumienia mgły wodnej gdyż dotyczą pojedynczych kropli. Dalej, na podstawie prędkości pojedynczych kropli możemy oszacować średnią prędkość przemieszczania się strumienia w określonym punkcie czy też chmury mgły wodnej – wówczas opis ten dotyczący całego strumienia lub jego fragmentu może być traktowany jako parametr szeroko rozumianej makrostruktury (w tym przypadku jej dynamiki).

Koncentracje przestrzenne kropeł w tym koncentracje chwilowe mogą stanowić (w zależności od aplikacji) cenne uzupełnienie opisu mikrostruktury, należy jednak rozpatrywać je jako parametry opisu makrostruktury gdyż nie cechą tą nie można scharakteryzować pojedynczej kropli tylko fragment strumienia lub przestrzeni, w której strumień się rozwija. Koncentracje przestrzenne stanowią dla mgły wodnej o wysokim stopniu rozpylenia ekwiwalent intensywności zraszania wyznaczanej typowo dla mgły „grubej”.

Powiązanie parametrów mikrostruktury z parametrami makrostruktury

Dostatecznie opisany strumień mgły wodnej do celów przeciwpożarowych powinien być sparametryzowany na obydwu poziomach: makro i mikro. Oczywiście, zasadność wyznaczania i podawania wartości określonych parametrów tak mikro jak i makro jest uzależnione od przewidywanej aplikacji. Część parametrów określanych jako podstawowe powinny być ze względów praktycznych wymaniane przy każdej charakterystyce – dla przykładu dla makrostruktury powinien to być kąt strumienia, intensywność zraszania, (minimalna lub średnia) i zasięg strumienia; natomiast dla mikrostruktury powinien to być parametr reprezentujący widmo rozpylenia czyli jedna z charakterystycznych średnic kropeł z obszaru miar tendencji centralnych (zwykle jest to średnica $D_{V0,5}$) uzupełniona średnicami pozycyjnymi z miar brzegowych (zwykle są to średnice $D_{V0,1}$ i $D_{V0,9}$). Dla wybranej aplikacji wskazane lub konieczne może być wyznaczenie i podanie dodatkowych parametrów – np. do gaszenia pożarów grupy F (tłuszcze spożywcze) konieczne jest podanie średnicy kropeł maksymalnych D_{max} (z uwagi na niebezpieczeństwo dotarcia tych kropeł do powierzchni gorącego tłuszczu) oraz bardzo wskazane prędkości strumienia mgły w określonej odległości od rozpylacza (z uwagi na niebezpieczeństwo wydmuchania cieczy z odkrytego pojemnika).

Z przeprowadzonych rozważań w niniejszym rozdziale wynika, że znając wartości punktowe mikrostruktury rozpylonego strumienia możliwe jest obliczenie i określenie parametrów makrostruktury. Ilustrację tego twierdzenia przedstawiono na dwóch przykładach:

1) znając kierunki i prędkości pojedynczych kropli (z poziomu mikro) jesteśmy w stanie oszacować prędkość i kierunek przemieszczania się całego strumienia (na poziomie makro);

2) znając widmo rozpylenia w poszczególnych punktach przestrzeni (z poziomu mikro) jesteśmy w stanie obliczyć gęstości strumienia w tych punktach, ewentualnie punktowe intensywności zraszania oraz kształt i zasięg strumienia.

Podsumowując można stwierdzić, że parametry makrostruktury są uogólnieniem i uśrednieniem parametrów mikrostruktury. W celu szybkiego i w miarę ustandaryzowanego i obiektywnego scharakteryzowania rozpylonych strumieni wodnych umożliwiających porównywanie ich między sobą należy posługiwać się łącznie parametrami makrostruktury z uśrednionymi parametrami mikrostruktury. Parametry te w zależności od aplikacji mogą być uzupełnione szczególnymi parametrami istotnymi dla danej aplikacji.

3.4.2.4. Definicja „mgły wodnej” przyjęta w ochronie przeciwpożarowej

Mgła wodna do celów przeciwpożarowych jest definiowana z uwagi na swoją mikrostrukturę i warunki wytwarzania. Definicje według *NFPA 750* i *CEN/TS 14972* są znaczeniowo bardzo podobne:

Definicja mgły wodnej wg NFPA 750:2010:

Mgła wodna - Spray wodny, dla którego $Dv_{0,99}$ na objętościowym sumarycznym rozkładzie kropli wody jest mniejsza niż 1000 mikronów (1 mm) przy minimalnym zaprojektowanym ciśnieniu roboczym na dyszy mgłowej [6, 23].

Definicja mgły wodnej wg CEN/TS 14972:2008:

Mgła wodna - Spray wodny, dla którego $Dv_{0,90}$ mierzona w płaszczyźnie 1 m od głowicy przy minimalnym ciśnieniu roboczym wynosi mniej niż 1 mm [22].

Z przytoczonych definicji mgły wodnej wynika, że zdefiniowanie mgły zależy od przyjętej konwencji – według NFPA jak również CEN możemy nazywać mgłą wodną rozpylony strumień o wielkości kropli nawet do 1 000 μm , podczas gdy intuicyjnie rozumiana mgła – np. mgła atmosferyczna charakteryzuje się kroplami o średnicach o rząd wielkości mniejszymi. Mgła atmosferyczna jeśli zawiera „duże” krople tj. powyżej ok.100 μm przekształca się w mżawkę a ta jest już określana jako opad atmosferyczny.

Mgła wodna stosowana w ochronie przeciwpożarowej z uwagi na mikrostrukturę definiowana jest we wszystkich standardach [6,22,23] w oparciu o tylko jeden jej parametr – kwantyl określonego rzędu na rozkładzie objętościowym (por. str. 30) $f_v(x)$ lub $\Phi_v(x)$. Co jest znamienne, nie jest to kwantyl rzędu 0,5 określający średnicę medialną ($D_{v0,5}$), ale jest to kwantyl rzędu 0,9 ($D_{v0,9}$) [22] lub rzędu 0,99 ($D_{v0,99}$) [6,23]. Przy określaniu stopnia rozpylenia mgły wodnej i porównywaniu między sobą stopni rozpylenia posługujemy się zwykle intuicyjnie miarami tendencji centralnych - czyli albo będą to średnie średnice D_{xy} obliczone po wybranych przestrzeniach XY (patrz tabela 1), albo będą to centralne średnice pozycyjne (patrz ryc. 10) – średnica modalna D_{mod} (najczęściej występująca w rozkładzie) lub średnica medialną $D_{v0,5}$ (środkowa, dzieląca rozkład na dwie połowy). Drugim znamionym detalem definiującym mgłę wodną jest fakt wykorzystania rozkładu objętościowego $f_v(x)$ i $\Phi_v(x)$, mając do dyspozycji inne rozkłady – np. bardziej intuicyjny i łatwiejszy w percepcji rozkład ilościowy. Cechy te, choć odbierane jako „mało-intuicyjne”, są w pełni uzasadnione do dość uniwersalnego zdefiniowania mgły wodnej do celów gaśniczych.

Wymaganie minimalnego ciśnienia roboczego podyktowane jest koniecznością określenia najbardziej niekorzystnych warunków z uwagi na rozpylanie. Wymagana w *CEN/TS 14972:2008* [3] odległość od sondy pomiarowej wynosząca 1 m jest dosyć dyskusyjną wartością z uwagi na techniczne możliwości pomiarowe skoncentrowanej strugi mgłowej jaka często występuje jeszcze w tej odległości od rozpylacza, dlatego warunek ten w definicji podanej NFPA 750 [6] jest pominięty. Zbyt mocno skoncentrowana struga kropeł – a tak bywa w odniesieniu do wielu rozpylaczy mgłowych których widmo rozpylenia jest mierzone w odległości 1 m – powoduje że układy zliczające krople nie są w stanie nadażyć ze zliczaniem gdyż układy te posiadają ograniczenia w zakresie szybkości zliczania. W efekcie, czego część kropeł nie jest zliczona. Nie mniej, aby widma rozpylenia były ze sobą porównywalne powinny być wyznaczone w tych samych warunkach, w tym również w tej samej odległości od dyszy rozpylającej. Często zalecaną odległością płaszczyzny sondy od rozpylacza jest przewidywana średnia odległość (lub zakres tych odległości jako minimum i maksimum) między rozpylaczem i powierzchnią chronioną. Zalecenie to wydaje się być technicznie zasadne.

Klasyfikacja mgły wodnej

Norma NFPA 750 Edycja z roku 1996 [5,13] wprowadziła bardzo praktyczny podział mgły wodnej na trzy klasy z uwagi na wielkość kropeł, a dokładniej kwantyl rzędu 0,9 na rozkładzie objętościowym.

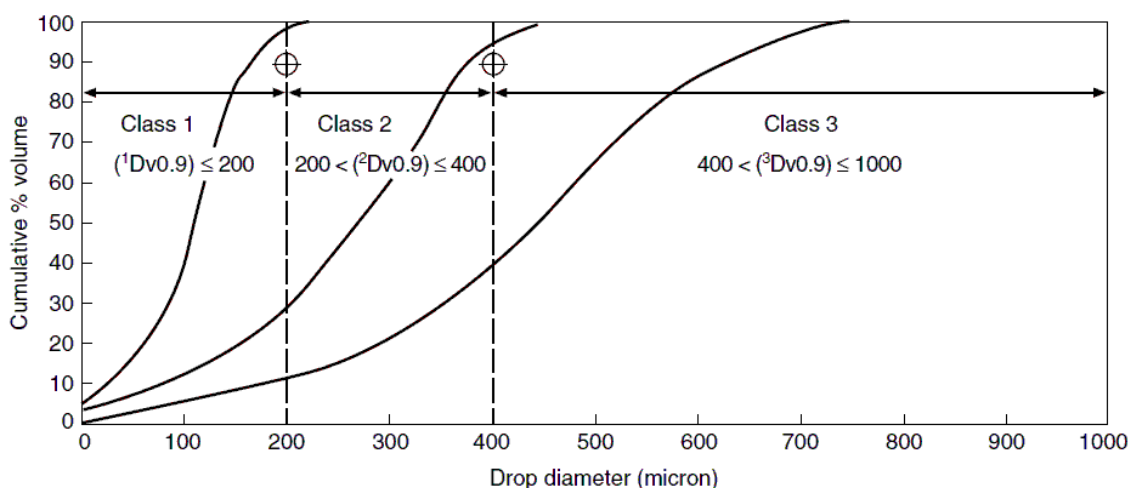
Podział ten opisany jest w [5] Fire Protection Handbook Twentieth Edition FIGURE 16.8.9 Classification of drop size distributions—Classes 1, 2, and 3. Klasyfikacja ta jest następująca:

Klasa 1 mgły wodnej to $(D_{v0.9}) < 200$ mikrometra.

Klasa 2 mgły wodnej to $200 < (D_{v0.9}) < 400$ mikrometra.

Klasa 3 mgły wodnej to $400 < (D_{v0.9}) < 1000$ mikrometra.

Podział ten z ilustracją graficzną przedstawiono poniżej.



Ryc.14 Klasyfikacja mgły wodnej z uwagi na wielkość kropeł[5]

Mimo że klasyfikacja ta już nie jest podawana w aktualnych wydaniach NFPA 750 to podział ten utrwał się i funkcjonuje do tej pory w żargonie branżowym. Powodem wycofania z NFPA 750 tej klasyfikacji było niewłaściwe wykorzystanie marketingowe tego podziału – zdarzało się że sugerowano w materiałach reklamowych firm zajmujących się obrotem urządzeniami gaśniczymi mgłowymi że klasa 1 mgły wodnej jest najlepszą klasą mgły wodnej co, sugerowano, jest równoznaczne z najwyższą jakością. Skuteczną reakcją przeciwdziałania procederowi wprowadzania w błąd odbiorców takich reklam było wycofanie się z tego podziału w kolejnej edycji normy NFPA 750.

3.4.2.5. Metody pomiarowe mikrostruktury rozpylonych cieczy

Metody pomiarowe mikrostruktury rozpylonych cieczy w sposób ogólny można podzielić na metody kontaktowe i bezkontaktowe. *Metody kontaktowe* pomiaru średnic wymagają bezpośredniego, mechanicznego kontaktu układu pomiarowego z kroplami podczas trwania pomiarów. *Metody bezkontaktowe* to metody wykorzystujące fotografię (mikrofotografie, holografie) i optykę (odbicie, rozpraszanie, interferencję, dyfrakcję, absorpcję światła).[15]

Jedną z metod za pomocą, której można mierzyć mikrostrukturę rozpylonej cieczy jest *metoda zmiany amplitudy Dopplera*. Wykorzystuje ona zjawisko interferencji (nakładania się) fal świetlnych. Metodą tą można uzyskać wyniki z szerokiego przedziału średnic kropli (od 1 μm do 1 000 μm) przy jednoczesnym pomiarze prędkości mierzonych kropli. [24] Jest to jednak metoda dość pracochłonna.

Szybką i dość dokładną metodą pomiaru średnicy kropli a przy tym niewymagającą dużego nakładu pracy jest metoda optyczna. Metoda ta umożliwia pomiar średnic kropeł w bardzo szerokim zakresie od dziesiątych części mikrometra do kilku tysięcy mikrometrów. Przy czym metoda ta umożliwia również pomiar kształtów - ma to istotne znaczenie w przypadku cząstek stałych. [11]

Próbkowanie jest istotnym elementem wpływającym na wynik pomiarów. Najważniejszymi elementami próbkowania wpływające w sposób istotny na otrzymane wyniki pomiarów są: liczba zmierzonych kropli, miejsce próbkowania względem dyszy rozpylającej i przestrzeń pomiarowa – zdeterminowana przez metodę pomiaru.

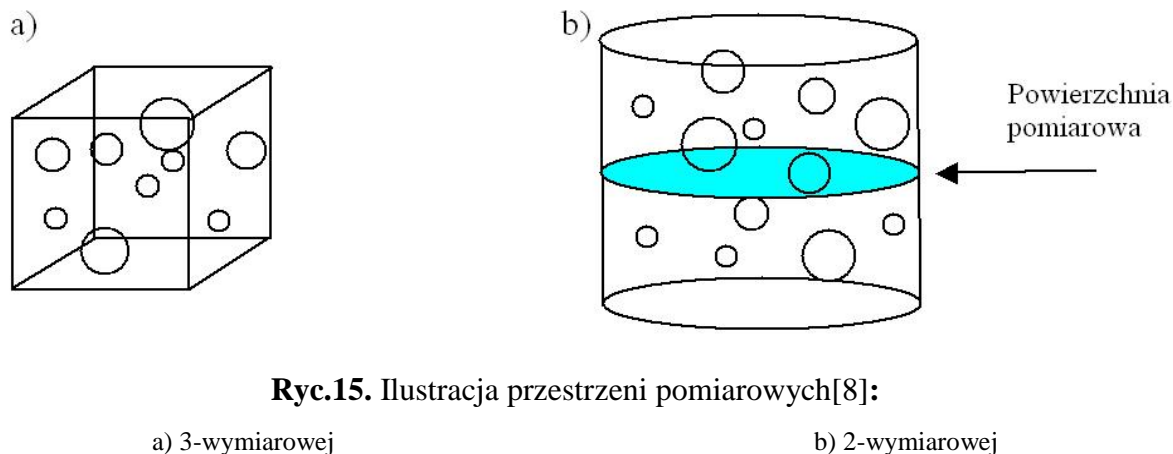
Zgodnie z zasadami statystyki, im większą liczbę kropli zmierzemy tym mniejszy jest błąd określenia wymiarów kropli, czyli rzeczywistego widma rozpylenia strumienia. W obszarze pewności 95% dokładność określenia średnicy D_{32} wynika z tabeli 2. [15].

Tabela 2

Dokładność określenia średnicy Sautera D_{32} w zależności od liczebności zbioru kropli [15]

Liczba kropli	Dokładność	Liczba kropli	Dokładność
500	$\pm 17\%$	5500	$\pm 5\%$
1400	$\pm 10\%$	35000	$\pm 2\%$

Informacja o *przestrzeni próbkowania* (2-wymiarowej czy 3-wymiarowej) jest istotna do prawidłowego wykorzystania otrzymanych wyników pomiarów. Metoda fotoelektryczna jest techniką pomiaru, w której próbkowana jest określona przestrzeń 2-wymiarowa (płaszczyzna). Pomiar w tym przypadku odbywa się w przeciągu określonego czasu. Technika pomiarów, w której próbkowana jest określona przestrzeń 3-wymiarowa jest np. holografia, szybka fotografia. Pomiar wówczas odbywa się w nie w czasookresie, ale w punkcie czasowym w określonej przestrzeni.



Ryc.15. Ilustracja przestrzeni pomiarowych[8]:

W odniesieniu do tego samego rozpylonego strumienia wodnego wyniki pomiarów w zależności od przyjętej przestrzeni pomiarowej będą różniły się między sobą – średnie średnice kropli będą mniejsze w nieruchomym obłoku mgły wodnej w przypadku przestrzeni 2-wymiarowych w porównaniu do przypadku pomiarów w przestrzeni 3 wymiarowej. Wynika to z tego, że w nieruchomym obłoku mgły wodnej krople mniejsze poruszają się ruchem chaotycznym szybciej niż krople większe i dlatego częściej przecinają płaszczyznę pomiarową niż krople większe, a w związku z tym czujniki pomiarowe rejestrują ich pozornie większy udział. Jeśli wszystkie krople w strumieniu poruszałyby się w tym samym kierunku z identyczną prędkością to wówczas wyniki pomiarów metodami wykorzystującymi przestrzeń 2-wymiarową i 3-wymiarową byłyby teoretycznie identyczne.[24].

4. FENOMEN GAŚNICZY MGŁY WODNEJ - MECHANIZMY GAŚNICZE I OPTYMALIZACJA ZASTOSOWANIA

Pisząc o metodach wytwarzania mgły wodnej do celów gaśniczych koniecznym wydaje się wyjaśnienie mechanizmów gaśniczych mgły wodnej oraz jej oddziaływanie ze środowiskiem pożarowym. Należy podkreślić, że chodzi o wzajemnie sprzężone oddziaływanie ze środowiskiem pożarowym tj. oddziaływanie mgły na środowisko pożaru i pożaru na zachowanie się i działanie mgły wodnej. Istotnym jest również przedstawienie obecnych i potencjalnych zastosowań tych urządzeń w ochronie przeciwpożarowej a głównie w zabezpieczeniach przeciwpożarowych.

Stałe urządzenia gaśnicze (SUG) mgłowe są specyficznymi urządzeniami charakteryzującymi się wieloma cechami, jakie posiadają SUG gazowe oraz SUG wodne – tak w obrębie konstrukcji jak i zastosowania. Mimo istniejących bardzo różnych rozwiązań konstrukcyjnych i technologii działań SUG mgłowych ich wspólnym zadaniem jest wytworzenie mgły wodnej o określonych parametrach i, na ogół, dostarczenie jej do ogniska pożaru. Generowaniu mgły wodnej (silnie rozproszonych strumieni wodnych), jej transporcie oraz procesowi gaszenia za jej pomocą towarzyszy wiele wzajemnie na siebie wpływających zjawisk fizycznych. Ogólne zaznajomienie się z nimi jest niezbędne do zrozumienia technologii działania SUG mgłowych, co z kolei umożliwia stosowanie właściwych kryteriów oceny i doboru przy wyborze rodzaju mgły wodnej, jaka dla danej aplikacji byłaby najbardziej odpowiednia.

4.1. Zachowanie się mgły wodnej w środowisku pożaru

W rozdziale 3 wyjaśniono jak bardzo dynamicznym układem jest aerozol wodny generowany z dysz, którego parametry zmieniają się w czasie i przestrzeni. Niewątpliwie pożar jest również układem dynamicznym, chociaż zupełnie innego rodzaju. Wzajemna interakcja tych jakże dynamicznych układów jest niezwykle złożona. Budowane modele matematyczne tych układów, w dużej liczbie szczególnych zastosowań są niewystarczające - są daleko od ich fizycznych odpowiedników. Modele ogólne, które mogą tylko przybliżyć przypadki szczególne pozwalają zrozumieć zjawiska i procesy zachodzące w tych układach. W obliczu wysokich wymagań, jakie podyktowane są bezpieczeństwem, modele te w ich szczególnych warunkach oraz ich wzajemne interakcje weryfikowane są doświadczalnie. W niniejszym rozdziale przedstawiono ogólny opis wzajemnych interakcji dwóch układów - pożaru i mgły wodnej na tle szeroko rozumianego bezpieczeństwa, czyli ochrony ludzi i mienia.

Streszczoną ilustracją wzajemnego oddziaływania pożaru i mgły wodnej na tle bezpieczeństwa pożarowego osób i mienia stanowi ryc. 17. Na rysunku tym zilustrowano jak mgła wodna poprzez łańcuch zależności przyczynia się do minimalizacji zniszczeń pożarowych i do poprawy warunków ewakuacji.

Mgłę wodną celów przeciwpożarowych określono jako rozpylony strumień wodny, której średnice kropel w 90% lub 99% całkowitej jej masy (w zależności od przyjętej konwencji) są mniejsze od 0,1 cm. Woda – główny „składnik” mgły wodnej, dzięki swoim właściwościom jest bardzo dobrym środkiem gaśniczym – charakteryzuje się wysoką wartością ciepła właściwego ($4,18\text{kJ}\times\text{kg}^{-1}\times\text{K}^{-1}$) i ciepła parowania ($2240\text{kJ}\times\text{kg}^{-1}$), przy przemianie fazowej ciecz-para zwiększa objętość 1620-krotnie [3]. W porównaniu z właściwościami innych mediów gaśniczych woda jest zdecydowanie najlepsza. Dlaczego więc nie jest w praktyce tak skuteczna? Otóż, dlatego, że zdecydowana większość wody wypływa bez spełnienia swojego zadania gaśniczego. Przyjmuje się, że w przypadku tryskaczy szacunkowo tylko 1% - 5% całkowitej ilości wypływającej z tryskaczy wody bierze bezpośredni udział w gaszeniu pożaru odbierając ciepło głównie na drodze przemiany fazowej. Natomiast pozostała część wody, czyli ponad 95%, wypływa przyczyniając się do wtórnych strat wodnych popożarowych. Rozważając teoretycznie - gdyby cała masa wody ulegała przy gaszeniu przemianie fazowej, to woda mogłaby być skuteczniejsza nawet od halonów – powszechnie uznawanych najskuteczniejszych środków gaśniczych (obecnie wycofanych ze stosowania w cywilnej ochronie przeciwpożarowej). Obecnie stosowane zamienniki halonu to chlorowcopochodne węglowodorów, czyli syntetyczne środki gaśnicze, w których głównym składnikiem jest co najmniej jeden związek organiczny, zawierający co najmniej jeden pierwiastek taki jak: fluor, chlor, brom lub jod [26]. Środki te skutecznie gaszą pożary płomieniowe a ich dominującym mechanizmem gaśniczym jest chłodzenie strefy spalania. Gazy te znajdując się w przestrzeni spalania absorbują ciepło a przy odpowiednim ich stężeniu - właściwym dla danego rodzaju gazu i spalanego materiału – absorpcja tego ciepła jest na tyle efektywna, że temperatura w przestrzeni spalania obniża się poniżej temperatury krytycznej, poniżej której nie wstępuje płomień. Należy uzupełnić, że mechanizmami wspomagającymi gaszenie w przypadku zamienników halonu jest rozcieńczanie tlenu (typowe dla działania gazów obojętnych jak azot i argon) oraz chemiczne przerywanie reakcji spalania poprzez wiązanie wolnych rodników (typowe dla działania halonów) [6]. Nie mniej ich skuteczność gaśnicza w dużej mierze jest zależna od właściwości absorpcyjnych ciepła. Z tego też względu można dokonać porównania właściwości

chłodzących wody z właściwościami chłodzącymi typowych zamienników halonu w kontekście gaszenia pożaru [tabela 3].

Tabela 3.

Działanie mgły wodnej w środowisku pożaru – porównanie skuteczności chłodzenia z zamiennikami halonów [19,20,21,25]

Substancja	Ciepło właściwe cieczy	Ciepło właściwe pary	Ciepło parowania w temp. wrzenia
	$\text{kJ}\times\text{kg}^{-1}\times\text{K}^{-1}$	$\text{kJ}\times\text{kg}^{-1}\times\text{K}^{-1}$	$\text{kJ}\times\text{kg}^{-1}$
Woda	4,18	1,84	2240
HFC 227ea	0,283	0,1932	57,0
HFC 125	1,37	0,809	164,4
FK-5-1-12	1,103	0,891	88,0

Woda charakteryzuje się bardzo wysoką wartością ciepła parowania wynoszącą 2240 $\text{kJ}\times\text{kg}^{-1}$ – dla przykładu 1 kilogram wody odbierze 40 razy więcej ciepła przy odparowaniu niż ta sama masa środka HFC227ea¹¹

Mgła wodna dzięki bardzo dużej powierzchni właściwej kropeł oraz dużym rozproszeniu pozwala podnieść współczynnik wykorzystania wody kilkudziesięciokrotnie. Dąży się zwykle do jak najbardziej równomiernego rozproszenia – im średnice kropeł są mniejsze tym łatwiej tą równomierność osiągnąć. Zgodnie z drzewem ilustrującym działanie mgły wodnej w środowisku pożaru przedstawionym na ryc.17 zmniejszanie średnic kropeł jest tożsame ze zwiększaniem ich powierzchni właściwej -1-.

Duża powierzchnia właściwa kropeł przy odpowiednim zagęszczeniu równomiernie rozproszonej mgły wodnej w powietrzu stanowi istotną barierę promieniowania cieplnego -3-. Małe średnice kropeł sprzyjają równomiernemu rozproszeniu jak również równomiernemu zraszaniu powierzchni w przestrzeni działania dyszy rozpylającej -2-. Ma to szczególne znaczenie w przypadku gaszenia objętościowego, kiedy to mgła wodna dociera do ogniska pożaru nie dzięki pędowi, z jakim jest wyrzucana z dyszy, ale głównie dzięki zawirowaniom powietrza i prądom konwekcyjnym unoszącym drobne cząstki wody oraz procesom dyfuzyjnym dążącym do wyrównania stężeń w całej objętości gaszonego pomieszczenia. Jest rzeczą bardzo interesującą, jaka ilość wody dostanie się w obszary niebędące w bezpośrednim działaniu dysz mgłowych, jak również, jakimi parametrami charakteryzuje

¹¹ HFC227ea to normowa nazwa jednego z najbardziej znanych zamienników halonów występującego zwykle pod handlową nazwą FM-200

się mgłą, która dociera w obszary znajdujące się poza bezpośrednim oddziaływaniem strumienia z dysz. Można tu założyć, że mobilność cząstek w strumieniu wzrasta wraz ze wzrostem rozpylenia.

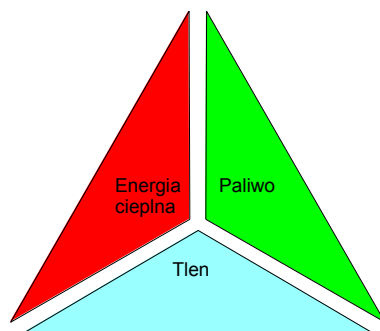
Kontynuując rozważania dotyczące zachowania się mgły wodnej w środowisku pożaru, należy rozważyć przypadek, w którym dysza nakierowana jest na płonący materiał, a strumień kropli ma na tyle duży pęd, żeby krople mogły „przebić się” się przez strefę spalania i dotrzeć do powierzchni spalanego paliwa -4-. Zachodzi wówczas bezpośrednio chłodzenie spalanego paliwa stałego, dzięki czemu gaszenie takie jest bardzo skuteczne przy użyciu niewielkiej ilości wody -9- [5]. Taki sposób gaszenia jest wykorzystywany przy gaszeniu miejscowym.

Duża powierzchnia właściwa kropeł przyczynia się również do lepszej adsorpcji agresywnych gazów i polepszenia wychwytywania cząsteczek dymu -5-, a co za tym idzie zmniejsza się agresywność tworzącego się środowiska pożarowego -20-, co jest szczególnie istotne w przypadku przedmiotów wrażliwych na lotne produkty spalania -24-.

Zmniejszenie skażenia powietrza lotnymi produktami spalania -21- polepsza niewątpliwie warunki ewakuacji -25-. Krople mgły wodnej będąc w okolicach strefy spalania wyparowują pochłaniając ciepło i zużywając je w pierwszym etapie na podniesienie temperatury wody -8-, a następnie jej odparowanie -7- i -9-. Oczywiście, jak już wspomiano, mgła wodna jest tworem bardzo dynamicznym i podział na etapy jest umowny. Chłodzenie strefy spalania i gazów w przestrzeni wokół strefy spalania -8- i -9- powoduje znaczne obniżenie średniej temperatury pożaru, co poprawia warunki ewakuacji -22- i -23-. Możliwość wystąpienia zjawiska pułapki parowej, czyli niebezpieczeństwa, jakie może stworzyć para wodna ewakuującym się osobom w wyniku rozcieńczania tlenu w powietrzu oraz niebezpieczeństwa poparzenia jest bardzo niska. Urządzenia gaśnicze mgłowe poprzez natychmiastowe działanie nie dopuszczają do rozwoju pożaru i wywiązania się odpowiednio wysokiej mocy pożaru, która umożliwiałaby powstanie pułapki parowej. Z takim niebezpieczeństwem spotykają się strażacy przy pożarach rozwiniętych – podanie rozpylonych prądów wodnych w obszar bardzo wysokich temperatur powoduje gwałtowne odparowanie wody i przez to szybki spadek stężenia tlenu niebezpiecznego dla ludzi; dodatkowo gorąca para grozi poparzeniami.

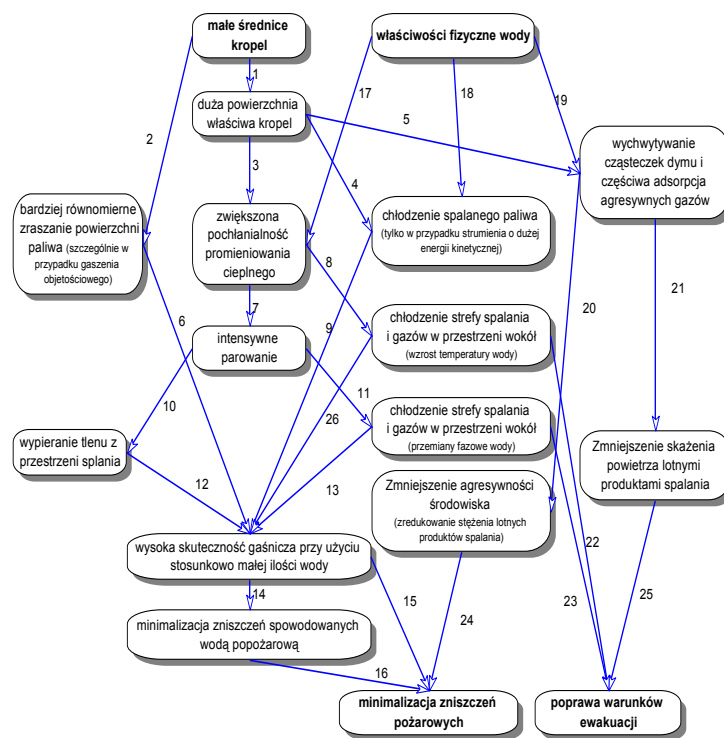
Intensywne parowanie w okolicach strefy spalania powoduje przejmowanie ciepła co jest równoznaczne z chłodzeniem strefy spalania -11- i -8- oraz wypieranie tlenu -10-, a energia

cieplna i tlen to dwa z trzech filarów trójkąta procesu spalania (ryc.16) – klasycznej ilustracji warunków koniecznych do zapoczątkowania procesu spalania.



Ryc. 16 Trójkąt procesu spalania

Wypieranie tlenu w strefie spalania – tj. przestrzeni o stosunkowo wysokiej temperaturze - jest znacznie intensywniejsze niż na pozostałym obszarze w tym w strefie ewakuacji, przez co stanowi mniejsze zagrożenie dla ewakuujących się ludzi. Zachodzi tu, gaszenie na dwóch drogach: jednoczesne obniżenie stężenia tlenu -12- oraz pochłonięcie energii cieplnej -26- i 13-. Dodatkowym efektem chłodniczym może być bezpośrednie chłodzenie spalanego paliwa -9-. Wymienione mechanizmy gaśnicze współdziałają ze sobą w gaszeniu pożaru; w przypadku stosowania mgły wodnej o wysokim stopniu rozpylenia uwidaczniają się efekty synergiczne. Udowodnienie jednak ich synergicznego współdziałania wykracza poza zakres i objętość niniejszego opracowania.



Ryc. 17 Mgła wodna w środowisku pożaru [10]

Dodatkowymi czynnikami wpływającymi na poprawę efektywności gaszenia mgłą wodną może być dostarczanie do środowiska pożaru gazu obojętnego (np. azotu) – często stanowi on gaz roboczy i źródło ciśnienia do wyrzucenia i rozpylenia strumieni mgłowych. Działanie takie powoduje wzmocnienie efektu odbierania tlenu z „trójkąta spalania”.

Innym czynnikiem poprawiającym skuteczność gaśniczą może być rozpuszczenie w rozpylanej wodzie soli metali alkalicznych (np. NaCl zwykłej soli kuchennej) – po odparowaniu kropeł roztworu soli, pozostałe drobiny soli wykazują dalej działanie gaśnicze na płomień, identyczne jak proszki gaśnicze AB i ABC. Rozpylony do mgły wodnej roztwór soli odparowuje szczególnie intensywnie w bezpośrednim oddziaływaniu płomienia i dalej w postaci stałych kryształków soli działa gaśniczo na tenże płomień. Aby wyjaśnić mechanizm gaszenia z wykorzystaniem drobin soli ilustracja „trójkąt spalania”, która była pomocna poprzednio jest niewystarczająca. Należy odwołać się do nieco bardziej złożonego modelu z teorii spalania, mianowicie „czworokąt spalania”, w którym czwartym filarem jest płomień. O ile „trójkąt spalania” dość dobrze obrazuje „składniki” jakie są konieczne do tego aby zapoczątkować spalanie o tyle „czworokąt spalania” dobrze obrazuje „składniki” jakie są konieczne do tego aby spalanie mogło być kontynuowane. Do zrozumienia mechanizmu gaśniczego powodowanego przez drobiny soli należy poznać jak „żyje” płomień oraz sposób, w jaki to „życie” jest zaburzone przez drobiny soli.

Płomień możemy określić jako łańcuchowy, samopodtrzymujący się proces fizykochemiczny przebiegający w określonej przestrzeni (strefie) mieszających się substratów gazowych stanowiący wypadkową wielu setek (przy prostej budowie cząsteczki paliwa) lub tysięcy (przy złożonej cząsteczce paliwie) składowych reakcji. W efekcie wypadkowa reakcji jest procesem egzotermicznym – procesem wytwarzającym energię cieplną i oddawaną do otoczenia przez konwekcja i promieniowanie. Wprowadzenie w strefę samopodtrzymujących się reakcji łańcuchowych, w której to strefie powstają wysoce aktywne rodniki cząsteczek soli powoduje dezaktywację tych rodników – następuje spowolnienie reakcji rodnikowych. Odpowiednio duże zagęszczenie ziaren soli spowoduje na tyle duże spowolnienie, że reakcja rodnikowa zostaje przerwana, co objawia się zniknięciem płomienia.

Wysoka skuteczność gaśnicza przy użyciu stosunkowo małej ilości wody minimalizuje straty pożarowe spowodowane bezpośrednim działaniem ognia i produktów spalania -15- i -24-, a jednocześnie nie powoduje tak wysokich strat wtórnych powodowanych wodą popożarową, jak to ma miejsce w przypadku klasycznych urządzeń tryskaczowych -16-.

Zmniejszenie stężenia tlenu w strefie spalania nie powinno zagrozić ewakuującym się ludziom, ponieważ, jak już wyjaśniono, jest to efekt lokalny. Początkowy etap rozwoju pożaru charakteryzuje się tym, że wydziela się stosunkowo dużo dymu, który stanowi poważne zagrożenie dla ewakuujących się osób w postaci ograniczenia widoczności i występowania szkodliwych produktów spalania. Mgła wodna może przechwycić znaczną część cząstek stałych jak również zaabsorbować część rozpuszczalnych w wodzie gazów zmniejszając przez to agresywność produktów spalania.

Mgła wodna sama w sobie ogranicza widoczność, więc w tym aspekcie ma negatywny wpływ na ewakuację. Z drugiej jednak strony przechwytywanie przez mgłę cząstek stałych ograniczające ich rozprzestrzenianie, absorpcja gazów popożarowych oraz redukcja promieniowania cieplnego wraz z chłodzeniem przestrzeni pożaru i wokół są pozytywnymi wpływami na ewakuację.

Absorpcja szkodliwych gazów pożarowych powoduje, że zanieczyszczone nimi krople mgły wodnej wraz z gazowymi produktami spalania stanowią zagrożenie tak dla ludzi jak i wielu przedmiotów. Dlatego urządzenia gaśnicze mgłowe, których celem jest, prócz gaszenia pożaru, również absorpcja agresywność produktów spalania wyposażone są w instalacje do przechwytywania zanieczyszczonej mgły wodnej.

Właściwie dobrane do swojego celu, zaprojektowane i wykonane SUG mgłowe mogą poprawić warunki ewakuacji poprzez zmniejszenie agresywności środowiska pożaru i obniżenie jego temperatury. W wielu jednak przypadkach aspekt zmniejszania agresywności środowiska pożaru i poprawy widoczności nie jest ujęty w celach działania SUG mgłowego, stąd też wpływ działania takiego urządzenia na ewakuację może nie być w pełni pozytywny.

Inteligentne działanie mgły wodnej we właściwie zaprojektowanym i wykonanym SUG mgłowym polega na tym, że z jednej strony gasi pożar w miejscu jego wystąpienia, obniżając lokalnie stężenie tlenu oraz odbierając energię cieplną, a z drugiej strony poprawia warunki ewakuacji. Jak wcześniej zostało to wyjaśnione efektywność poprawy warunków ewakuacji zależy od przyjętych w tym względzie celów działania SUG mgłowego.

4.2. Mechanizmy gaśnicze występujące przy gaszeniu mgłą wodną – aspekty praktyczne

Zgodnie z opisem przedstawionym w poprzednim rozdziale, przy rozważaniu mechanizmów gaśniczych mgły wodnej należy mieć na względzie warunki otoczenia (np. geometria zabudowy, intensywność wentylacji) oraz gaszony materiał (rodzaj, ilość, rozmieszczenie). W zależności od tego, jakie będą warunki otoczenia oraz jakie materiały będą gaszone, różnie będą się przedstawiły optymalne sposoby gaszenia i powiązane z tymi

sposobami optymalne parametry mgły wodnej. Do szeroko rozumianych warunków otoczenia oraz w zależności od rodzaju chronionego mienia czy też ochrony ludzi należy dobrać optymalne w danym zastosowaniu sposoby gaszenia (np. gaszenie miejscowe lub objętościowe) oraz parametry mgły wodnej (głównie widmo rozpylenia oraz zasięg rzutu). Dobór ten należy prowadzić przy uwzględnieniu mechanizmów gaśniczych mgły wodnej oraz efektywności tych mechanizmów w danej aplikacji. Poniżej przedstawiono przekrój mechanizmów gaśniczych występujących przy gaszeniu mgłą wodną.

a) Chłodzenie strefy spalania i strefy gazów pożarowych – jest to dominujący mechanizm gaśniczy w przypadku gaszenia pożarów grupy B (cieczy) i C (gazów). Waga tego mechanizmu gaśniczego rośnie wraz ze wzrostem stopnia rozpylenia. Przy wysokim stopniu rozpylenia mgły wodnej jest to dominujący mechanizm gaśniczy w odniesieniu do wszystkich grup pożarów, które można gasić mgłą wodną.

b) Chłodzenie spalanego materiału poprzez zraszanie jego powierzchni – jest to dominujący mechanizm gaśniczy w przypadku gaszenia pożarów grupy A (ciał stałych) i ma istotne znaczenie tylko przy działaniu „grubej” mgły. Mgła wodna o niskim stopniu rozpylenia (tzw. gruba) jest w stanie przebić się przez strefę spalania i dotrzeć do powierzchni spalanego materiału powodując jego ochłodzenie. Bezpośredni wpływ tego mechanizmu gaśniczego przy gaszeniu pożarów grupy B jest pomijalnie mały gdyż krople wody, które przebijają się przez strefę spalania docierając do powierzchni cieczy są zwykle pochłaniane przez tą ciecz bez znaczącego wpływu na wzrost efektywności gaszenia.

c) Wypieranie tlenu z powietrza (ze strefy spalania i najbliższego otoczenia) – mgła zmieniając stan fazowy z cieczy w gaz zwiększa swoją objętość ponad 1600 krotnie. Para wodna powstaje najbardziej intensywnie w najbardziej gorących obszarach, czyli w największych ilościach powstaje w strefie spalania i najbliższym otoczeniu strefy spalania. Para wodna w miejscach jej powstania powoduje wypieranie powietrza, a wraz z nim następuje obniżenie stężenia tlenu. Dzięki obniżeniu stężenia tlenu – szczególnie w okolicach strefy spalania zyskujemy spowolnienie reakcji spalania.

Ten mechanizm gaśniczy jest istotny w przypadku gaszenia w pomieszczeniach zamkniętych, natomiast przy bardzo intensywnej wentylacji, jaka zachodzi na otwartej przestrzeni, wpływ efektu wypierania tlenu z powietrza na skuteczność gaśniczą jest nieznaczący. Koniecznym warunkiem wystąpienia tego efektu jest wysoki stopień rozpylenia mgły wodnej, a warunkiem sprzyjającym jest występowanie podwyższenie temperatury w znacznej kubaturze pomieszczenia spowodowanej np. dużym płomieniem. Wysoka temperatura

w znacznej kubaturze gazzonego pomieszczenia powoduje, znacznie szybsze przekształcanie się mgły wodnej w parę wodną a ta będzie utrzymywała się w gazonym pomieszczeniu powodując wypieranie tlenu oraz chłodzenie strefy spalania. W konsekwencji mgła wodna wywrze znaczący efekt gaśniczy.

d) Zmniejszenie ilości energii przekazywanej na drodze promieniowania cieplnego do materiału palnego – tzw. izolowanie promieniowania cieplnego. Bariera, jaka tworzy mgła wodna ogranicza rozkład termiczny materiałów będących w pobliżu strefy spalania. Skuteczność izolowania promieniowania cieplnego jest proporcjonalna do stopnia rozpylenia mgły wodnej. Izolowanie promieniowania cieplnego powoduje że płomień z pożaru oddziałują termicznie na spalany materiał ze znacznie mniejszą intensywnością co skutkuje zmniejszeniem intensywności pirolizy (lub parowania w przypadku palącej się cieczy) co z kolei powoduje ograniczenie rozprzestrzeniania się pożaru.

e) Pęd kropelek mgły wodnej wraz z powietrzem oddziałujący na płomień i powierzchnię spalanego materiału – duża wartość pędu może zdmuchnąć płomień z powierzchni materiału i spowodować jego ugaszenie. Im pęd jest większy, czyli im większa masa strumienia mgły nabiera większej prędkości, tym większa jest skuteczność gaszenia i chłodzenia. Na efektywność gaszenia/chłodzenia strumienia wpływa stopień rozpylenia. W ogólnym przypadku im wyższy stopień rozpylenia tym skuteczność gaszenia i chłodzenia jest wyższa, jednak zbytne rozpylenie spowoduje mniejszy zasięg strumienia a to z kolei może nie mieć pozytywnego wpływu na skuteczność gaśniczą. Mechanizm tu opisany związany z kinetyką strumienia należy zaliczyć do efektów wtórnych gdyż jest specyficznym rodzajem przyspieszonego chłodzenia spowodowanego zintensyfikowanym ruchem medium gaśniczego, którego mechanizm opisano w podpunktach a i b . Jest jednak wymieniany czasem w literaturze jako niezależny mechanizm gaśniczy mgły wodnej.

f) Efekt zjawiska „zamkniętej przestrzeni” (ang. *enclosure effect*). Istotnym czynnikiem wpływającym na skuteczność gaśniczą jest fakt czy gaszenie zachodzi w zamkniętym pomieszczeniu czy na otwartej przestrzeni. Efekt „zamkniętej przestrzeni” polega na ograniczeniu wentylacji i „zatrzymywaniu” ciepła wypromieniowywanego i ciepła oddawanego na drodze konwekcji. „Zatrzymywanie” ciepła powoduje, że mgła wodna ma lepsze warunki do przemiany fazowej w parę wodną (gdyż krople mgły wodnej poddane są działaniu wyższej temperatury), a ograniczona wentylacja powoduje, że wytworzona para wodna w sposób bardziej intensywny rozcieńcza powietrze i w konsekwencji tlen w strefie spalania. Mechanizm ten należy zaliczyć do efektów wtórnych gdyż jest kompilacją

podstawowych mechanizmów gaśniczych opisanych w podpunktach a/b *chłodzenie* i punkcie c *wypieranie tlenu*. Mechanizm ten w literaturze przedmiotu jest czasem wymieniany również jako niezależny mechanizm gaśniczy mgły wodnej.

Wymienione wyżej mechanizmy gaśnicze są na ogół tym skuteczniejsze im użyta do gaszenia mgła wodna charakteryzuje się:

- a) wyższym stopniem rozpylenia (występują mniejsze krople);
- b) większą jednorodność rozpylenia (większość kropli jest o podobnej średnicy);
- c) mniejszą *nierównomiernością rozkładu intensywności zraszania* (strumień pokrywa równomiernie gaszoną powierzchnię).

Osiągnięcie wysokiego *stopnia rozpylenia* przy wykorzystaniu niskich ciśnień (tj. w granicach do 12 bar) stanowi dość wysokie wyzwanie techniczne. W tym celu stosuje się dysze lub zespoły dysz (tzw. głowice mgłowe) o odpowiedniej konstrukcji umożliwiającej uzyskanie wysokiego *stopnia rozpylenia*. Efekt *wysokiego stopnia rozpylenia* wspomagany jest czasem odpowiednimi dodatkami modyfikującymi do wody mającymi na celu obniżenie napięcia powierzchniowego.

Jednorodność rozpylenia nie wpływa na ogół tak znacząco na skuteczność gaśniczą jak *stopień rozpylenia* czy *nierównomierność rozkładu intensywności zraszania*. W kontekście *jednorodności rozpylenia* należy dążyć do takich konstrukcji dysz oraz takich warunków rozpylania, aby nie pojawiały się w widmie rozpylenia krople bardzo duże. Zalecenie to ma to szczególne znaczenie przy gaszeniu cieczy, elektroniki i materiałów wrażliwych na kontakt z wodą oraz wrażliwych na szok termiczny.

W przypadku mgły o niskim *stopniu rozpylenia* *nierównomierność rozkładu intensywności zraszania* jest w znacznym stopniu uzależniona od powierzchni dyszy, na której następuje rozpylanie.

W przypadku mgły o wysokim *stopniu rozpylenia* *nierównomierność rozkładu intensywności zraszania* jest mniej zależna od powierzchni dyszy, na której następuje rozpylanie a bardziej zależna od ruchów powietrza wokół dyszy.

Opisując różne mechanizmy gaśnicze mgły wodnej uzasadnione wydaje się uzasadnione nadmienienie o mechanizmie gaśniczym typowym dla proszków gaśniczych, a który to mechanizm może w pewnym stopniu dotyczyć mgły wodnej wytwarzanej z roztworów soli. W przypadku systemów gaśniczych na mgłę wodną stosowanych do ochrony obiektów nie ogrzewanych należy liczyć się z oddziaływaniem ujemnych temperatur. Jednym ze sposobów obniżenia temperatury krzepnięcia jest rozpuszczenie w wodzie soli

metali alkalicznych. W przypadku zastosowania do wytwarzania mgły wodnej roztworów takich soli zachodzi efekt inhibicji rodnikowej. Drobiny soli powstałe w odparowanych kroplach mgły zatrzymują łańcuchową reakcję rodnikową płomienia - podobnie jak ziarna proszków gaśniczych w przypadku działania na płomień. Efekt ten jest tym bardziej znaczący im większa masa mgły wodnej wytworzonej z roztworu soli ulegnie odparowaniu.

4.3. Optymalizacja widma rozpylenia mgły wodnej z uwagi na cele gaśnicze: tłumienie pożarów i chłodzenie

W zależności od przewidywanego celu stosowania mgły wodnej powinna ona charakteryzować się szeregiem najbardziej korzystnych dla danego zastosowania parametrów. Najbardziej istotnym parametrem z uwagi na tłumienie pożarów i gaszenie jest stopień rozpylenia i związane z nim średnie wartości średnic kropli. Celem działania automatycznego systemu gaśniczego przeznaczonego do zabezpieczania obiektów zagrożonych szybkim rozprzestrzenianiem się pożaru (np. drewnianych obiektów zabytkowych) może być:

- całkowite ugaszenie,
- chłodzenie gorących gazów pożarowych i tłumienie pożaru zmierzające do opóźnienia wystąpienia zjawiska rozgorzenia.

Całkowite ugaszenie może być zagwarantowane jedynie wówczas, gdy na wczesnym etapie rozwoju pożaru zostanie podana mgła wodna o wysokiej gęstości masowej – tak dużej, że wykraplająca się woda zagraża stratami popożarowymi.

Chłodzenie gorących gazów pożarowych i tłumienie pożaru zmierzające do opóźnienia wystąpienia zjawiska rozgorzenia można osiągnąć starając się działać mgłą wodną w dwóch uzupełniających się kierunkach:

1. poprzez chłodzenie gorących gazów w przestrzeni pomieszczenia, a głównie jego górnych warstw,
2. poprzez bezpośrednie działanie gaśnicze zmierzające do tłumienia pożaru.

Ad. 1. W miarę rozwoju pożaru następuje wzrost temperatury gazów pożarowych, które wypełniają pomieszczenie gromadząc się początkowo przede wszystkim w strefie podsufitowej. Gorące gazy działają na materiały, z którymi wchodzi w kontakt powodując ich rozkład termiczny. Gromadzenie się gazowych produktów rozkładu termicznego przy rosnącej temperaturze prowadzi do wystąpienia zjawiska rozgorzenia, czyli gwałtownego zapoczątkowania spalania w całej kubaturze pomieszczenia. Odpowiednie chłodzenie przestrzeni pomieszczenia może spowodować zahamowanie lub spowolnienie procesów

prowadzących do rozgorzenia. Chłodzenie to powinno być realizowane poprzez rozpylanie mgły wodnej w najbardziej gorących, górnych warstwach pomieszczenia.

Ad. 2. Warunkiem koniecznym wystąpienia rozgorzenia jest postępowy przyrost parametrów pożaru – głównie mocy pożaru. Tłumienie pożaru, czyli działania zmierzające do ograniczenia rozwoju pożaru jest działaniem zapobiegającym wystąpieniu rozgorzenia. W sprzyjających okolicznościach tłumienie pożaru może doprowadzić do całkowitego ugaszenia pożaru. Tłumienie zachodzi przy wykorzystaniu mechanizmów gaśniczych omówionych wcześniej a głównie: *chłodzenia* strefy spalania i strefy gazów pożarowych, *wypieranie tlenu* z powietrza na skutek parowania kropli zawartych w mgle gaśniczej oraz *izolowania promieniowania cieplnego*. Celem tłumienia nie jest całkowite ugaszenie pożaru, ale ograniczenie jego rozwoju.

Z uwagi na wskazane cele, czyli tłumienie pożarów oraz chłodzenie, należy dokonać analizy stopnia rozpylenia mgły wodnej i na jej podstawie określić najbardziej optymalne parametry mgły wodnej w tym głównie widmo rozpylenia.

W literaturze przedmiotu spotyka się dwie częściowo przeciwstawne opinie dotyczące najbardziej skutecznych gaśniczo stopni rozpylenia. Paul Grimwood [7,9] podaje, że najbardziej skutecznym stopniem rozpylenia mgły wodnej (wodnych prądów rozproszonych) do celów gaśniczych i do celów chłodzenia gazów pożarowych jest mgła wodna o średniej średnicy kropli 200-400 mikrometrów. Powołuje się przy tym na badania *The Swedish Fire Research Board* (BRANDFORSK), nie podając jednak żadnej przedmiotowej pozycji literaturowej. Wyniki badań, na które się powołuje dowodzą, że optymalne efekty chłodzenia mgłą wodną uzyskuje się przy zakresie średnich średnic od 200 do 600 mikrometrów. Uzasadniano to tym, że chłodzenie i gaszenie jest efektywne tylko wtedy, gdy krople wody ze strumienia gaśniczego odparowują tam gdzie są najbardziej pożądane, czyli w strefie płomienia. Natomiast, gdy krople są mniejsze lub większe od wskazanego zakresu zachodzą niekorzystne zjawiska:

- krople o mniejszych średnicach odparowują częściowo zanim osiągną strefę płomienia a część z nich nie dociera do strefy płomienia na skutek działania oporu ośrodka i konwekcji prądów cieplnych,
- kropli o większych średnicach nie można „zawiesić” w powietrzu, co objawia się tym, że szybko opadają grawitacyjnie nie powodując spodziewanego efektu gaśniczego, a przyczyniają się do „zalewania” materiałów powodując dodatkowe straty popożarowe.

Przedstawione rozumowanie dotyczące kropli o dużych średnicach (powyżej 600 mikrometrów) jest bezspornie słuszne – krople takie szybko opadają w dół i osiadają na odkrytych powierzchniach powodując wykroplenia, przy czym mogą spowodować zamoczenie materiałów zabezpieczanych.

Przedstawione powyżej rozumowanie dotyczące kropli o małych średnicach (poniżej 200 mikrometrów) może być słuszne, ale tylko przy działaniu miejscowym mgły wodnej. Natomiast przy gaszeniu mgłą wodną przez „całkowite wypełnienie”, (czyli przy gaszeniu objętościowym) w zamkniętym pomieszczeniu, twierdzenie takie jest dyskusyjne. Analiza teoretyczna, jak również niektórzy autorzy prac [4,26] wskazują, że w przypadku gaszenia objętościowego należy dążyć do jak najwyższego *stopnia rozpylenia*.

Uzasadnieniem takiego podejścia są następujące argumenty:

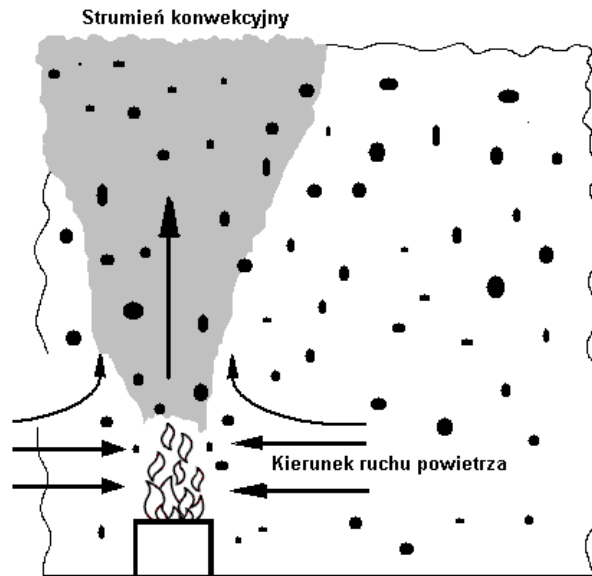
1. **Izolowanie promieniowania ciepłego.** Izolowanie to jest tym efektywniejsze im większa powierzchnia absorbuje to promieniowanie. Dysponując określoną ilością wody do rozpylenia można zwiększyć powierzchnię absorpcji kropli poprzez uzyskanie większego stopnia rozpylenia. Mgła wodna dzięki bardzo dużej powierzchni właściwej kropli wynikającej z wysokiego stopnia rozpylenia pozwala podnieść współczynnik wykorzystania wody kilku- lub kilkunastokrotnie. Na ryc. 13 przedstawiono zależność powierzchni właściwej kropli A_D [cm^2/cm^3] od ich średnic D [cm]. Wynika z niego, że zmniejszanie średnic kropli mgły wodnej powoduje, że ich powierzchnia właściwa rośnie teoretycznie w kierunku nieskończoności. Jednak najwyższy stopień rozpylenia nie może przekroczyć średnicy cząsteczki wody (H_2O), czyli 0,0002 mikrometra. W praktyce, energia konieczna do rozpylenia wody staje się przy coraz mniejszych średnicach kropli na tyle duża, a i technologia rozpylania na tyle nieekonomiczna, że do celów przeciwpożarowych stosuje się krople o średnicy nie mniejszej niż 10-50 mikrometrów. Krople o średnicy poniżej 10 mikrometra są na ogół zaniebywane z uwagi na bardzo mały udział masowy takich kropli w „klasycznym” widmie rozpylenia i związany z tym pomijalnie mały potencjał gaśniczy. Natomiast technologia wytwarzania takich małych kropli (o średnicach poniżej kilku mikrometrów) o wystarczająco wysokiej gęstości wymaganej do ugaszenia pożaru według aktualnie posiadanej wiedzy, nie wyszła do praktycznego wykorzystania.
2. **Czas zawieszenia kropli w powietrzu.** Im mniejsze są średnice kropli tym dłużej krople te mogą być zawieszane w powietrzu. „Mgła” o dużych kroplach szybko spada

pod wpływem grawitacji i aby mogła stanowić odpowiednią izolację promieniowania ciepłego musi być ona bardzo szybko uzupełniana. Mniejsze krople natomiast dłużej utrzymują się w powietrzu powodując niejako „zaleganie” mgły wodnej w powietrzu. Mgła taka może dłużej oddziaływać na pożar tworząc barierę promieniowania ciepłego, dzięki czemu wykorzystanie takiej mgły jest znacznie efektywniejsze.

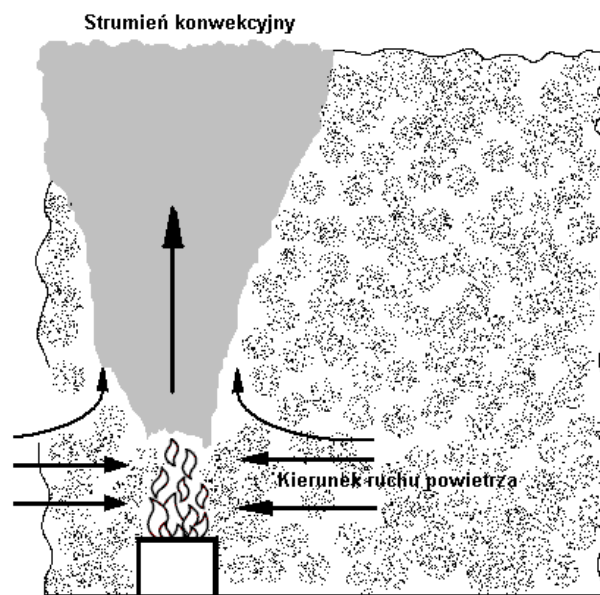
3. **Mobilność mgły.** Kolejną pozytywną właściwością mgły wodnej o wysokim stopniu rozpylenia jest łatwiejsza penetracja przestrzeni trudnodostępnych. Im mgła jest drobniejsza tym właściwości determinujące jej zachowanie są bardziej zbliżone do właściwości gazów – bardziej rozdrobniona mgła łatwiej omija przeszkody bez wykraplania się na nich i w konsekwencji łatwiej gasi pożary w miejscach trudnodostępnych. Mgła o skrajnie wysokim stopniu rozpylenia miałaby najlepsze właściwości do penetracji przestrzeni trudnodostępnych.
4. **Efektywne chłodzenie strefy spalania i strefy gazów pożarowych.** Małe cząstki umożliwiają bardzo szybką absorpcję promieniowania ciepłego oraz przejęcie ciepła od gorących gazów. W przypadku podawania miejscowego zbyt małe krople mogą nie dolecieć do ogniska pożaru ze względu na:
 - szybkie parowanie takich małych kropli,
 - mniejsze zasięgi rzutów (pęd strumienia małych kropli jest łatwiej wytracany niż pęd strumienia dużych kropli).

Natomiast w przypadku gaszenia objętościowego mgła wodna powodująca najlepszy efekt gaśniczy nie dostaje się do ogniska pożaru „z góry” (jak w przypadku gaszenia klasycznymi urządzeniami tryskaczowymi czy mgłowymi z mgłą „grubą”) gdyż małe krople mają nikłe szanse na przebicie się „pod prąd” przez strumień konwekcyjny dymu tworzący się nad płomieniami pożaru.

Taka „drobna” mgła rozpylona w całej przestrzeni pomieszczenia jest zasysana do ogniska pożaru dołem wraz ze świeżym powietrzem i parą wodną powstającą z rozpylanej mgły. Odpowiednia gęstość tej mgły spowoduje, że wciągane do ognia krople, które zdążą wyparować przed osiągnięciem strefy ognia ulegną przemianie w parę wodną a ta z kolei też wywrze odpowiedni skutek gaśniczy na płomień. Powstała para wodna zmniejszyła stężenie tlenu rozcieńczając go w w powietrzu zasysanym do ogniska pożaru oraz obniża średnią temperaturę w pomieszczeniu – efekty te mogą być jednak niewystarczające do ugaszenia pożaru, ale mogą skutecznie zapobiec zjawisku rozgorzenia.



Ryc. 18 Gaszenie mgłą grubą – krople mgły wypełniają równomiernie przestrzeń gaszenia, również strumień konwekcyjny) i docierają do ogniska pożaru głównie od góry siłą grawitacji



Ryc. 19 Gaszenie mgłą drobną – krople mgły docierają do ogniska pożaru z boków wciągane ruchem powietrza

5. **Równomierne zraszanie.** Dąży się zwykle do jak najbardziej równomiernego rozproszenia mgły w przestrzeni gaszenia i uzyskaniu równomiernego zraszania powierzchni zabezpieczanych obiektów – im średnice kropli są mniejsze tym łatwiej tą równomierność osiągnąć. Dzieje się tak, dlatego gdyż małe krople utrzymują się stosunkowo długo w powietrzu i mogą się przemieszczać ruchami konwekcyjnymi (o ile nie wyparują) na znacznie większe odległości niż krople duże. W wyniku, czego

mniejszy wpływ na ich miejscowe koncentracje ma ukształtowany na dyszy strumień mgły a większego znaczenia nabierają prawa rządzące ruchem aerozoli – prawa umożliwiające chaotyczne dryfowanie pojedynczych mikrokropki mgły wodnej w całej przestrzeni chronionego pomieszczenia. Dzięki temu następuje stosunkowo równomierne rozproszenie mgły w przestrzeni i w konsekwencji równomierne zraszanie.

Potwierdzenie w praktyce stosowania mgły o możliwie najwyższym stopniu rozpylenia

Szereg opracowań teoretycznych i doświadczalnych wskazuje na zalety mgły wodnej o wysokim stopniu rozpylenia. Dowody na skuteczne stosowanie mgły wodnej o kroplach monodispersyjnych wielkości 10 mikrometrów podano w opracowaniach firmy NanoMist Systems, LLC zamieszczonych na stronie internetowej National Fire Protection Association [4] i National Institute of Standards and Technology [26]. Ponadto działająca na polskim rynku zabezpieczeń przeciwpożarowych firma Telesto Sp. z o.o. wykonuje skutecznie działające dysze i prądownice mgłowe które wytwarzają mgłę wodną o wartości średniej średnicy D_{32} znacznie poniżej granicy uznanej przez P. Grimwooda za optymalną.

Uzasadnienie stosowania mgły „grubej”.

Decydując się na określony rodzaj mgły wodnej należy założyć, jakiemu celowi ma ona służyć – w niektórych przypadkach optymalne zastosowanie znajdzie „gruba mgła”, a w innych optymalne zastosowanie znajdzie silnie rozpylona „mgła sucha”. Istotnym argumentem przemawiającym na korzyść „grubej mgły” przy gaszeniu objętościowym jest znacznie intensywniejsze chłodzenie materiału spalanego. Cecha ta ma jednak ograniczenie tylko do pożarów grupy A (ciał stałych). Poza tym nie zawsze jest to cecha pozytywna – w przypadku gaszenia obiektów wrażliwych na wilgoć, np. elektroniki lub zabytkowych obrazów czy polichromii wykraplanie mgły na powierzchni chronionych obiektów jest niepożądane czy wręcz obarczone ryzykiem poważnych strat.

4.4. Optymalne widmo rozpylenia mgły wodnej

Przy gaszeniu pożarów wewnętrznych (tj. w pomieszczeniach zamkniętych) przy zastosowaniu mgły wodnej metoda gaszenia miejscowego najbardziej optymalnym stopniem jej rozpylenia będzie mgła wodna o średnicach kropli z przedziału 200-600 mikrometrów. Przy czym w przypadku, gdy głównym celem podawania mgły wodnej jest opóźnienie zjawiska rozgorzenia to należy dążyć do tego, aby krople mgły wodnej były jak najdłużej „zawieszane” w powietrzu – wówczas najbardziej opylana mgła wodna charakteryzowałaby

się średnicami z górnych wartości wskazanego przedziału tj. ok. 200 mikrometrów, czyli na granicy mgły wodnej klasyfikowanej jako klasa 1 i klasa 2.

Przy gaszeniu pożarów wewnętrznych (w pomieszczeniach zamkniętych) mgłą wodną metodą gaszenia objętościowego (w tym również z podawaniem strefowym) najbardziej optymalną mgłą wodną będzie mgła o średnicach kropli najmniejszych, jakie technicznie można uzyskać – nawet w granicach 10 mikrometrów, czyli w górnym zakresie klasy 1.

Wskazanie optymalnych parametrów prądów rozproszonych do gaszenia miejscowego w obiektach zabytkowych

Na podstawie przeglądu literatury oraz na podstawie własnych doświadczeń i analiz przewiduje się, że do tłumienia pożarów i chłodzenia gorących gazów pożarowych w drewnianych obiektach zabytkowych najbardziej odpowiedni zakres wartości średnich średnic kropli powinien zawierać się w przedziale 100-300 mikrometrów (klasa 1 i klasa 2 mgły). Przy czym im bardziej urządzenie jest nakierowane na gaszenie (tłumienie) pożarów tym średnie średnice powinny być większe (przesunięte w okolice 300 mikrometrów), a im bardziej jest nakierowane na chłodzenie przestrzeni pomieszczenia mające na celu zapobieżenie rozgorzeniu to mgła powinna być jak najdrobniejsza (w okolicach 100 mikrometrów).

Przy użyciu urządzenia gaśniczego mgłowego w trybie działania ręcznego (gaśnice przenośne i przewożne oraz hydranty mgłowe) optymalnym prądem gaśniczym będzie częściowo zwarty prąd kroplisty. Prądownica powinna umożliwić sformowanie prądu gaśniczego i skierowanie go dość trafnie w ognisko pożaru. Nie powinien to być prąd zupełnie zwarty, bo może on być, przy wysokich ciśnieniach na wyjściu, niebezpieczny dla obsługującego prądownicę na skutek siły odrzutu. Poza tym prąd zwarty wyrzucony pod wysokim ciśnieniem może spowodować uszkodzenia mechaniczne gaszonych przedmiotów. Z kolei zbyt silnie rozpylony prąd wodny będzie miał słaby zasięg rzutu skutkujący tym, że szybkie ugaszenie pożaru za pomocą takiego strumienia będzie mocno utrudnione. Optymalnym rozwiązaniem byłaby możliwość regulacji strumienia w prosty sposób z uwagi na kąt rozwarcia strumienia.

5. ZASTOSOWANIE, OGRANICZENIA I ZALETY MGŁY WODNEJ DO CELÓW GAŚNICZYCH

Stałe Urządzenia Gaśnicze mgłowe są stosowane coraz częściej nie tyle do gaszenia pożaru, co w celu zapobieżenia rozgorzeniu, kontrolowaniu pożaru oraz w celu neutralizacji dymu (cząstek i gazów będących produktami spalania) raz do chłodzenia konstrukcji lub obiektu.

Do gaszenia i kontrolowania pożaru SUG mgłowe znalazły zastosowanie w następujących obszarach:

1. Transport - na statkach i promach (kajuty, kabiny, korytarze, maszynownie, przedziały samochodowe), lotnictwie (kabiny pasażerskie), transporcie samochodowym (długie tunele - górskie, podwodne),
2. Przemysł spożywczy - kuchnie olejowe do głębokiego smażenia,
3. Przemysł energetyczny, maszynowy itd. (turbiny spalinowe, obudowy maszyn, filtry olejowe, lakiernie, tunele kablowe, hamownie silników, małe magazyny z łatwopalnymi płynami),
4. Urządzenia elektryczne (transformatory, przełączniki, wyłączniki automatyczne, elementy wirujące, silniki),
5. Sprzęt elektroniczny włączając w to sprzęt komputerowy i telekomunikacyjny,
6. Obiekty użyteczności publicznej (metro, małe domy towarowe, małe obszary magazynowe, archiwa, pomieszczenia biurowe, biblioteki, atria, zabytkowe drewniane budowle, muzea)

Mgły wodnej nie wolno podawać bezpośrednio na materiały, które gwałtownie reagują z wodą lub na materiały niebezpieczne (np. metale lekkie, amidy, halogenki, wodorki, siarczki, cyjanki); nie wolno również podawać mgły wodnej na rozlewiska gazów skroplonych. Nie zaleca się w ogólnym przypadku stosowania mgły wodnej do gaszenia pożarów bardzo szybko rozwijających się i jednocześnie o dużej gęstości mocy (np. zbiorniki paliw lekkich), jak również nie zaleca się stosowania mgły wodnej w przestrzeniach o dużych kubaturach (np. magazyny wysokiego składowania). Bezcelowe jest stosowanie mgły wodnej w przypadku pożarów ukrytych, w których pożar wykorzystuje tlen z materiału spalanego np. w przypadku tlenia trocin.

Kluczowym kryterium wyboru zabezpieczenia przeciwpożarowego jest rachunek ekonomiczny. W przypadku zabezpieczania małych kubatur, SUG mgłowe, szczególnie pracujące w zakresie niskich ciśnień (do 12 bar), stają się już coraz bardziej konkurencyjne

nawet w stosunku do klasycznych SUG tryskaczowych. Pomijając straty wtórne powodowane zalaniem wodą przez SUG tryskaczowe, SUG mgłowe nie wymagają pomp o tak dużych wydajnościach jak SUG tryskaczowe, a ilość zmagazynowanej wody wynosi około 1/10 potrzebnej do użycia przez SUG tryskaczowe, co w konsekwencji znacznie obniża bilans kosztów wykonania zabezpieczenia p.poż za pomocą SUG mgłowego. *(było wcześniej)*

Są obiekty zagrożone pożarem, w których jedynym racjonalnym zabezpieczeniem wydaje się być SUG mgłowe. Dla przykładu zastosowanie SUG tryskaczowego w zabytkowych konstrukcjach drewnianych (kościół, dworek) wiązałoby się z ryzykiem znacznych szkód wodnych w przypadku zadziałania, a wykonanie samej instalacji, która nie szpeciłaby zabytku, byłoby sztuką samą w sobie.

Zastosowanie SUG gazowego wiązałoby się również ze znaczną ingerencją w konstrukcję obiektu budowlanego związaną nie tylko z rozprowadzeniem przewodów, ale głównie związaną z uszczelnieniami gaszonych pomieszczeń, odciążeniami zabezpieczającymi przed nadmiernym wzrostem ciśnienia oraz urządzeniami ostrzegawczymi i sygnalizacyjnymi służącymi bezpieczeństwu ludzi. Optymalnym rozwiązaniem dla takich obiektów, wydaje się SUG mgłowe, tym bardziej, że technologia ta jest coraz tańsza przy jednocześnie rosnącej jakości. Więcej informacji na temat wyboru stałego urządzenia gaśniczego na mgłę wodną do określonego zastosowania podano w rozdziale pt. „Kryteria wyboru urządzenia gaśniczego na mgłę wodną”

Jako ciekawostkę można podać, że mgłą wodną można gasić urządzenia elektryczne będące pod napięciem, ponieważ bardzo niska przewodność elektryczna izolowanych w powietrzu krople umożliwia wykorzystanie mgły do takiego zastosowania. Jeśli następują wykroplenia podczas wyładowania mgły wodnej na tyle intensywne, że osiadłe na powierzchniach przedmiotów krople łączą się tworząc ciągłą warstwę mogącą przewodzić prąd to stosowana woda powinna być wodą dejonizowaną.

Kolejną ciekawostką jest możliwość gaszenia mgłą wodną gorącego palącego się tłuszczu. Mgła chłodzi strefę spalania wyparowując przed dotarciem do powierzchni rozgrzanego tłuszczu. Dotarcie krople wody o dużej średnicy do powierzchni tłuszczu spowodowałoby rozprysk tłuszczu intensyfikując spalanie. Widmo rozpylenia, czyli podział na określonego rozmiaru krople powinno być dobrane tak, aby wszystkie krople przed dotarciem do powierzchni gorącego tłuszczu zdążyły wyparować. Istotna jest szczególnie w widmie rozpylenia znajomość średnic D_{max} gdyż to one jako największe powinny zdążyć wyparować przed dotarciem do powierzchni tłuszczu.

5.1. Zalety urządzeń gaśniczych na mgłę wodną

Mgłą wodną można gasić pożary grupy A (ciała stałe), B (cieczce), C (gazy) oraz urządzenia elektryczne. W obszarze gaszenia pożarów cieczy mgłą wodną skutecznie można gasić pożary powierzchniowe (pożary rozlewisk) oraz pożary przestrzenne (strumieni cieczy) przy czym cieczce palne mogą być cieczami polarnymi (np. alkohole), pochodnymi ropy naftowej, topiącymi się ciałami stałymi (np. wosk) oraz wyodrębnioną z grupy B nową grupę pożarów - F pożary tłuszczów i olejów. Skuteczność stosowania mgły wodnej do gaszenia określonych rodzajów materiałów jest zdeterminowane przez szereg cech określonych na poziomie mikro (głównie widmo rozpylenia) i na poziomie makro (głównie intensywność podawania).

Wobec konieczności wycofania w latach 90-tych halonów [31] jako środków gaśniczych jak również pewnych restrykcji w stosowaniu f-gazów (fluorowanych gazów cieplarnianych) [20,30] , mgła wodna stanowi ich jeden z najlepszych zamienników, pod wieloma względami je przewyższający.

Głównymi zaletami mgły wodnej jako środka gaśniczego są:

- bardzo ekologiczny sposób gaszenia (nie powoduje efektu cieplarnianego w przeciwieństwie do chlorowcopochodnych węglowodorów, nie niszczy warstwy ozonowej w przeciwieństwie do halonów),
- brak efektu zalewania wodą popożarową (w przeciwieństwie do SUG wodnych np. tryskaczowych),
- duża efektywność gaśnicza (ugaszenie pożaru następuje głównie przez dwa mechanizmy - poprzez chłodzenie i zmniejszenie stężenia tlenu w strefie spalania),
- niskie przewodnictwo elektryczne rozpylonej wody spowodowane izolowaniem poszczególnych kropli wody powietrzem oraz - w przypadku zastosowania wody dejonizowanej - stosunkowo niskie przewodnictwo elektryczne błony tworzącej się z osiadających kropeł na powierzchniach stałych, dzięki czemu może być stosowana do gaszenia urządzeń elektrycznych i elektronicznych,
- brak występowania zagrożenia dla ludzi (w przeciwieństwie do większości gazów gaśniczych),
- nie wymaga specjalnych konstrukcji pomieszczeń (jak np. uszczelnienie pomieszczeń, otwory odciążające - w przeciwieństwie gazów gaśniczych),
- wymaga znacznie mniejszych zapasów wodnych w porównaniu z SUG wodnymi (zwykle wystarczające zapasy są o rząd wielkości mniejsze w odniesieniu do

zabezpieczenia tej samej kubatury)

- można stosować ją do gaszenia pożarów, do których zastosowanie typowych urządzeń gaśniczych wodnych byłoby niepożądane, nieefektywne czy wręcz niebezpieczne np. pożary cieczy palnych, stanowisk do smażenia na głębokim tłuszczu, elektroniki, wirujących turbin energetycznych itd.,
- stosowanie mgły wodnej poprawia na ogół warunków ewakuacji poprzez obniżenie temperatury gazów popożarowych, zmniejszenie ich agresywności i pochłanianiu promieniowania cieplnego,.

Dzięki tym zaletom potencjalny obszar zastosowań mgły wodnej, jako środka gaśniczego, jest bardzo szeroki i ciągle wzrasta. Wzrasta również faktyczny obszar zastosowań mgły wodnej, tj. aplikacje których skuteczność została potwierdzona doświadczalnie.

Urządzenia wytwarzające silnie rozdrobnione strumienie wodne, w tym mgłę wodną, są wykorzystywane między innymi:

- przez straż pożarną – głównie jako systemy instalowane w samochodach pożarniczych,
- w zabezpieczeniach przeciwpożarowych obiektów użyteczności publicznej - pracują jako stałe urządzenia gaśnicze podobnie jak urządzenia tryskaczowe, zastępują także hydranty wewnętrzne,
- w zabezpieczeniach przeciwpożarowych obiektów przemysłowych – np. maszynownie, hamownie silników, tunele kablowe itp.
- w charakterze podręcznego sprzętu gaśniczego - jako tzw. gaśnice mgłowe.

6. METODY WYTWARZANIA MGŁY WODNEJ DO CELÓW GAŚNICZYCH

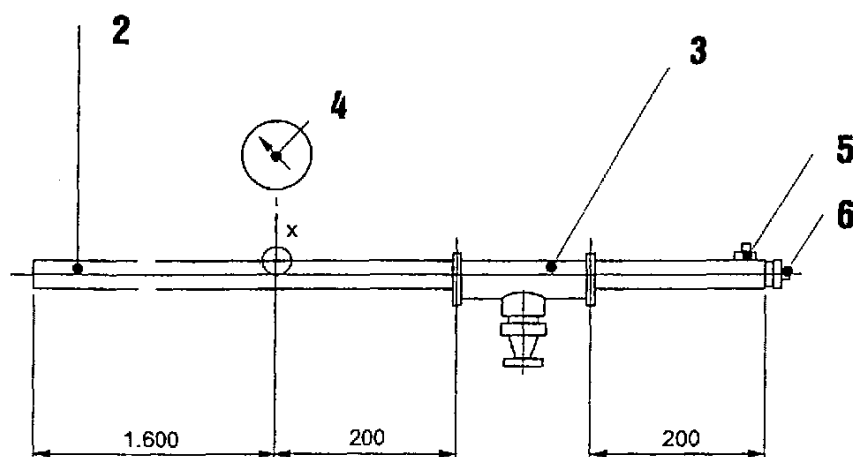
6.1. Podstawowe cechy rozpylacza z uwagi na zastosowanie w stałych urządzeniach gaśniczych

6.1.1. Natężenie przepływu oraz współczynnik przepływu

Jednym z podstawowych parametrów dyszy jest współczynnik K, czyli wydajność dyszy Q_v ($l \cdot \text{min}^{-1}$) w funkcji ciśnienia P (bar), według wzoru:

$$Q_v = K\sqrt{P} \quad (21)$$

Do pomiarów współczynnika K można posłużyć się metodyką zamieszczoną w PN-EN 12259-1 w załączniku C i wskazań zawartych w CEN/TS 14972:2008.



Ryc. 20. Przyrząd do pomiaru przepływu wody [18]

Objaśnienia

- 1 otwór o stępionych krawędziach,
- 2 rura stalowa o nominalnej średnicy wewnętrznej 40 mm i średniej grubości ścianki (zgodnie z ISO 65),
- 3 łączniki 10 mm, 25 mm, 20 mm lub 32 mm (zgodnie z ISO 49)
- 4 ciśnieniomierz,
- 5 zawór odpowietrzający,
- 6 korek lub zaślepka.

Współczynnik przepływu K dyszy jest parametrem opisującym przelotowość dyszy i określa liniową zależność natężenia przepływu od ciśnienia.

Współczynnik K jest bardzo praktycznym parametrem gdyż umożliwia obliczenie natężenia przepływu dla danego ciśnienia. W rozległej sieci przewodów rozprowadzających możemy spodziewać się różnych ciśnień w różnych punktach instalacji – w zależności od

odległości hydraulicznej od źródła ciśnienia. Znajac natężenia przepływu na poszczególnych dyszach możemy obliczyć całkowite zapotrzebowanie wodne.

Aby prawidłowo wyznaczyć współczynnik K należy zmierzyć wartość przepływu dla danego ustalonego w czasie ciśnienia w kilku różnych punktach wartości ciśnienia. Chcąc uniknąć zakłóceń od przyrządów spowodowanych zjawiskiem histerezy należy rejestrować wartości przepływu przy skokowo rosnących wartościach ciśnienia i skokowo malejących. Należy obliczyć wartości K dla poszczególnych pomiarów i odrzucić wyniki obarczone dużym błędem. Następnie należy policzyć średnią K. Tą średnią K możemy określać badaną dyszę. Podając K w odniesieniu do tryskaczy, zraszaczy i rozpylaczy mgłowych zwykle zaokrągla się tą wartość do dwóch cyfr znaczących.

Analizując rzeczywiste wyniki pomiarów z odpowiednią dokładnością okazuje się, że zależność natężenia przepływu od ciśnienia nie jest liniowa, jednak dla prostych dysz (tj. dysz strumieniowych, strumieniowo wirowych i z deflektorami) w zakresie ciśnień jednego rzędu zależność ta nie odbiega w sposób znaczący od linii prostej.

Przy dyszach wielokrzywych i dyszach pneumatycznych zależności natężenia przepływu od ciśnienia jest wyraźnie nieliniowa co uniemożliwia posługiwanie się współczynnikiem K. Dlatego, dla tego typu rozpylaczy należy podawać zależność natężenia przepływu od ciśnienia w sposób graficzny (przedstawiając na wykresie) lub tabelaryczny.

Wpływ współczynnika K czy też mówiąc ogólniej wpływ przelotowości dysz na rozpylanie jest dość wyraźny - wraz ze wzrostem przelotowości dyszy przy danej metodzie rozpylania pogarsza się stopień rozpylenia czyli rosną średnie średnice kropeł. W celu zniwelowania tego niekorzystnego wpływu konstruuje rozpylacze wielodyszowe – głowice mgłowe. Wówczas każda dysza o określonej, stosunkowo niewielkiej przelotowości wytworzy strumień o właściwym stopniu rozpylenia, a łączna przelotowość całej głowicy równa sumie przelotowości poszczególnych dysz zapewni właściwą wydajność wodną całego układu.

6.1.2. Zakres ciśnień roboczych i ciśnienie nominalne

Ciśnienie nominalne jest ciśnieniem z zakresu ciśnień roboczych, zwykle z górnego pułapu, zaokrąglone do wartości charakteryzującej cały system gaśniczy, do którego przeznaczony jest dany rozpylacz. Podając podstawową specyfikację rozpylacza gaśniczego należy podawać ciśnienie nominalne. Aczkolwiek w przypadku normalnych tryskaczy i zraszaczy tj. rozpylaczy gaśniczych pracujących w zakresie niskich ciśnień (do 12 bar) ciśnienia nominalnego nie podaje się, gdyż wartość ta wynika z wymagań normowych [18]

Ciśnienie minimalne zamykające dolny zakres ciśnień roboczych jest wartością ciśnienia, przy którym rozpylany strumień zachowa wymagane parametry. W przypadku tryskaczy i zraszaczy są to zasięgi i związane z nimi właściwe rozkłady intensywności zraszania w obszarze działania; w przypadku dysz mgłowych wymaganie dotyczy głównie widma rozpylenia. Przy czym wymagania dotyczące widma rozpylenia w zakresie minimalnych ciśnień są określane najbardziej krytycznymi na ten parametr wskaźnikami - może to być średnica pozycyjna $D_{v0,90}$ (lub $D_{v0,99}$) ewentualnie średnica kropli przekroczenie, której będzie niepożądane $D_{kryt} < D_{max}$.

Ciśnienie maksymalne zamykające górny zakres ciśnień roboczych jest wartością ciśnienia, którym rozpylany strumień zachowa wymagane parametry a ponadto rozpylacz jest w stanie prawidłowo pracować bez obaw o nadmierną jego eksploatację lub uszkodzenie.

Wartość ciśnienia wody a właściwie to różnicy ciśnień między wodą w rozpylaczu i stroną zewnętrzną rozpylacza ma decydujący wpływ na rozpylanie. Wraz ze wzrostem różnicy ciśnień strumień wody uzyskuje większą prędkość wylotową i tym samym następuje lepsze rozpylanie wody.

6.1.3. Charakterystyka termiczna

Zasady uruchamiania rozpylaczy automatycznych

Rozpylacz automatyczny, których typowym przedstawicielem jest tryskacz wyposażony w czujkę termiczną. Czujka ta po przekroczeniu określonej wartości temperatury otwiera zamek, przez który wypływa woda. Czujki te o działaniu mechanicznym spotykane są w dwóch rodzajach konstrukcji – topikowe lub ampułkowe. Tryskacze automatyczne z takimi czujkami nazywa się tryskaczami ampułkowymi lub topikowymi.

Tryskacze ampułkowe wyposażone są w zamek ampułkowy, który blokuje wypływ wody. Przekroczenie określonej wartości temperatury powoduje pęknięcie ampułki i otworzenie grzybka blokującego wypływ wody.

Tryskacze topikowe wyposażone są w zamek topikowy, który blokuje wypływ wody. Przekroczenie określonej wartości temperatury powoduje stopienie lutu na zamku topikowym i otworzenie grzybka blokującego wypływ wody.

Znamionowa temperatura zadziałania

Znamionową temperaturę zadziałania podaje się w oznakowaniu na tryskaczach cyframi oraz kodem barwnym – kolorem ampułki dla tryskaczy ampułkowych i kolorem jarzma dla tryskaczy topikowych.

Tabela 4.

Znamionowe temperatury zadziałania [18]

Tryskacze ampułkowe		Tryskacze topikowe	
Kolumna 1 Znamionowa temperatura zadziałania °C	Kolumna 2 Kod w postaci barwy płynu	Kolumna 3 Znamionowa temperatura zadziałania w zakresie °C	Kolumna 4 Kod barwny na ramionach jarzma
57	pomarańczowy	od 57 do 77	Bez nanoszenia żadnego koloru
68	czerwony	od 80 do 107	biały
79	żółty	od 121 do 149	niebieski
79	żółty	od 121 do 149	niebieski
93	zielony	od 163 do 191	czerwony
100	zielony	od 204 do 246	zielony
121	niebieski	od 260 do 302	pomarańczowy
141	niebieski	od 320 do 343	czarny
163	fioletowo – różowy		
182	fioletowo – różowy		
204	czarny		
227	czarny		
260	czarny		
286	czarny		
343	czarny		

Znamionowa temperatura zadziałania to temperatura, w której, przy dostatecznie długim wygrzewaniu może nastąpić uruchomienie termoelementu – pęknięcie ampułki lub stopienie topika. W celu spowodowania uruchomienia wszystkich termoelementów z danej temperatury znamionowej, należy je wygrzewać w temperaturze ok. 20-30 C wyższej od temperatury znamionowej. Aczkolwiek dopuszczalne jest, że część termoelementów zadziała przed osiągnięciem temperatury znamionowej.

W warunkach pożarowych istotną kwestią jest szybkość uruchomienia rozpylacza automatycznego. Z szybkością uruchomienia rozpylacza automatycznego związana jest głównie bezwładność cieplna termoelementu zainstalowanego w rozpylaczu, czyli szybkość, z jaką w danych warunkach oddziaływania termicznego element termoczuły osiągnie temperaturę uruchomienia.

Bezwładność cieplna termoelementu

Zmiana temperatury w termoelemencie – zasadniczym elemencie czujki termicznej w rozpylaczach automatycznych – jest opóźniona w czasie względem zmian w temperaturze otaczającego środowiska pożarowego. Wielkość opóźnienia zależy od szybkości narastania temperatury, pojemności i przewodności cieplnej termoelementu oraz warunków doprowadzania i odprowadzania ciepła (powierzchnia termoelementu przez którą ciepło jest absorbowane i powierzchnia przez którą ciepło jest oddawane, szybkość przepływu powietrza, wilgotność itd.)

Bezwładność cieplna w odniesieniu do rozpylaczach gaśniczych automatycznych jest definiowana jako czułość termiczna [18] i określona jest dwoma parametrami liczbowymi: wskaźnikiem czasu zadziałania RTI (Response Time Index) oraz współczynnikiem przewodności cieplnej C.

Czułość termiczna (ogólnie - bezwładność cieplna) czujek termicznych decyduje o szybkości reakcji urządzenia gaśniczego w przypadku wystąpienia pożaru. Czułość termiczna determinuje, zatem czas rozpoczęcia gaszenia w stosunku do stopnia rozwoju pożaru. Zbyt długi czas reakcji powodowany niską czułością termiczną (duża bezwładność cieplna) może spowodować, iż pożar osiągnie stadium rozwoju, w którym ilość podawanej przez system gaśniczy wody okaże się niewystarczająca. Zbyt wysoka czułość termiczna (mała bezwładność cieplna) termoelementu w otoczeniu, w którym mogą wystąpić krótkotrwałe oddziaływania podwyższonej temperatury (np. otwarcie pieca, gorącej kuchenki czy skierowanie gorącego strumienia z suszarki) może spowodować niezamierzone uruchomienie urządzenia gaśniczego. Jeśli tym niecelowo, pomyłkowo uruchomionym urządzeniem będzie urządzenie tryskaczowe to wypływ stosunkowo dużej ilości wody grozić może znacznymi stratami. Urządzenia gaśnicze mgłowe z racji wysokiego stopnia wykorzystania wody przeznaczonej do gaszenia, przez jej rozpylenie w postaci mgły wodnej i stosunkowo niewielkiej intensywności podawania nie stwarza znaczącego zagrożenia zalaniem chronionych pomieszczeń. Toteż przy stosowaniu urządzeń gaśniczych mgłowych zaleca się, na ogół, zastosowanie dysz automatycznych o skrajnie niskiej bezwładności cieplnej i o niskiej temperaturze znamionowej otwarcia.

Instalując rozpylacze automatyczne w przestrzeni gaszenia należy zwrócić uwagę na to, aby strumień gaśniczy z jednego rozpylacza nie sięgał do termoelementu innego rozpylacza – chłodzenie strumieniem z sąsiedniego rozpylacza spowoduje, że dany rozpylacz

mgłowy otworzy się ze zbyt dużym opóźnieniem. Biorąc ten aspekt pod uwagę dla danego rodzaju rozpylaczy powinna być wyznaczona minimalna odległość instalowania – dla tryskaczy wynosi ona zwykle 2 m [18].

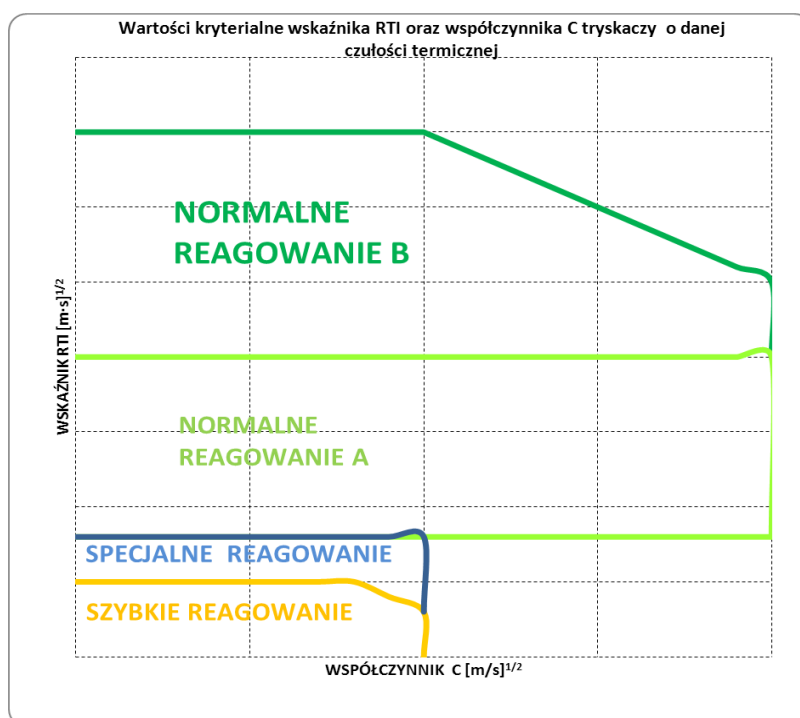
Grupy czułości termicznej

Czułość termiczna określana jest za pomocą dwóch parametrów: wskaźnika czasu zadziałania RTI (Response Time Index) oraz współczynnika przewodności cieplnej C. Prawidłowe określenie tych parametrów pozwala przewidzieć czas reakcji tryskacza w warunkach panujących w przestrzeni objętej pożarem.

Otrzymane w wyniku badań wartości współczynników (RTI i C) opisujących czułość termiczną klasyfikują detektor termiczny do jednej z następujących grup:

- szybkiego reagowania
- specjalnego reagowania
- normalnego reagowania typu A i B

Wartości graniczne wskaźnika RTI i współczynnika C dla poszczególnych grupach obrazują wykresy zamieszczone w normach i standardach na badanie tryskaczy oraz literaturze specjalistycznej poświęconej stałym urządzeniom gaśniczym. Zakresy wartości współczynnika RTI oraz C w poszczególnych grupach czułości termiczne przedstawia poniższy wykres.



Ryc. 21 Grupy czułości termicznej [18]

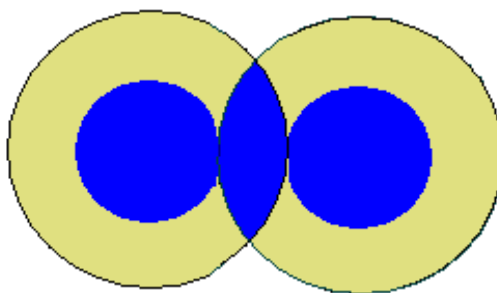
Jeżeli chodzi o czujki ampułkowe, które są znacznie częściej stosowane niż czujki topikowe do uruchamiania urządzeń gaśniczych mgłowych, w głównym stopniu o ich czułości termicznej decyduje grubość ampułki oraz konstrukcji, w której jest ona osadzona (korpus głowicy, tryskacza). Aktualnie dostępne są na rynku trzy typy grubości ampułek szybkiego reagowania a mianowicie: 1,5 mm, 2,5 mm oraz 3 mm.

6.1.4. Maksymalna przestrzeń zabezpieczana przez pojedynczy rozpylacz mgłowy, odległości między rozpylaczami i wysokość instalowania

Ze względów ekonomiczno-technicznych dąży się do tego, aby pojedynczy rozpylacz mgłowy miał odpowiedni potencjał gaśniczy w możliwie jak największej przestrzeni. W przypadku rozpylonych strumieni z tryskaczy, zraszaczy oraz głowic mgłowych wytwarzających mgłę wodną w klasie 3 i zwykle w klasie 2 maksymalna przestrzeń zabezpieczana przez pojedynczy rozpylacz jest przestrzenią 2-wymiarową – powierzchnią prostopadłą do osi rozpylacza oddalona od niego w zakresie potwierdzonym przez badania. W nomenklaturze branżowej powierzchnia ta jest nazwana maksymalną powierzchnią chronioną przez jeden tryskacz/rozpylacz. Przyjmuje się w projektowaniu urządzeń gaśniczych, że powierzchnia ta są powierzchniami zwartymi – zwykle prostokątami o zwartej budowie lub kwadratami.

W przypadku rozpylonych strumieni mgłowych w klasie 1 bardziej miarodajną będzie przestrzeń 3-wymiarowa. Oczywiście, do obliczania liczby koniecznych w danej przestrzeni rozpylaczy tu również przyjmowane są zwarte figury - prostopadłościany. W praktyce jednak wyniki obliczeń dopuszczalnej przestrzeni 3-wymiarowej przekładane są na rzeczywistą powierzchnie zabezpieczaną.

Do pojedynczego rozpylacza działającego indywidualnie przypisuje się mniejszą przestrzeń, jaka może być przez niego chroniona niż w przypadku tego samego rozpylacza działającego grupowo. Wynika to z faktu nakładania się strumieni generowanych z sąsiednich dysz – na obrzeżach pola pokrycia (zwykle koła), intensywność zraszania z indywidualnie działającego rozpylacza może być zbyt mała do ugaszenia/stłumienia pożaru, natomiast nałożenie się w tym miejscu pola pokrycia z sąsiedniej dyszy powoduje zwiększenie intensywności zraszania [ryc. 22].



Ryc. 22. Pola pokrycia z dwóch rozpylaczy

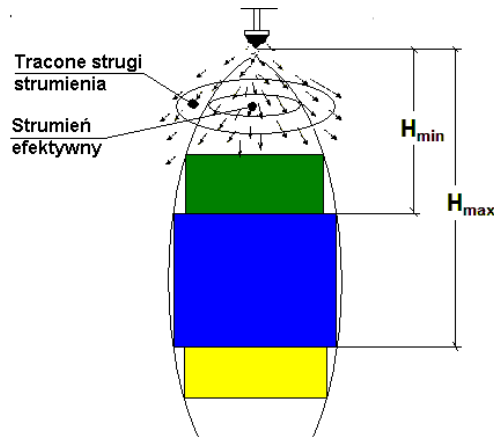
Kolor niebieski - pole pokrycia o wystarczającej intensywności zraszania do określonego celu

Kolor żółty - pole pokrycia o niewystarczającej intensywności zraszania do określonego celu

Informacja ta jest istotna do prawidłowego przyjęcia pola pokrycia pojedynczego rozpylacza i wynikającego z tego zagęszczenia rozpylaczy w przestrzeni chronionej z uwagi na sposób działania projektowanego urządzenia gaśniczego mgłowego. Jeśli urządzenie gasi w sposób punktowy wykorzystując jeden rozpylacz do gaszenia to maksymalna powierzchnia zabezpieczana będzie mniejsza niż w przypadku identycznych rozpylaczy w urządzeniu gaśniczym gaszącym strefowo tj. gdy wszystkie rozpylacze w strefie są uruchamiane jednocześnie.

Wysokości instalowania – minimalną H_{\min} i maksymalną H_{\max} – rozpylaczy mgłowych są wyznaczone na podstawie testów pożarowych określonej aplikacji, do której rozpylacz jest przeznaczony. Dodatkowymi informacjami wspomagającymi wyznaczenie wysokości instalowania są wyniki badań widma rozpylenia zmierzonego w płaszczyźnie danej wysokości oraz intensywności zraszania.

Efektywny strumień gaśniczy tj. strumień mgły wodnej o odpowiednim potencjale gaśniczym układa się w kształt stożka, w którym znajduje się odpowiednia gęstość kropeł o odpowiedniej wielkości i odpowiedniej prędkości do ugaszenia zakładanego pożaru. Otacza go pusty stożek strug o mniejszej gęstości i prędkości, które nie mają wystarczającego potencjału gaśniczego – na ryc. 23 oznaczone jako tracone strugi strumienia. Dopiero nałożenie takiego stożka z sąsiedniego rozpylacza mogłoby podnieść potencjał gaśniczy – wówczas już zespołu rozpylaczy, a nie pojedynczego źródła mgły wodnej.



Ryc. 23 Wysokość instalowania rozpylacza nad powierzchnia chronioną z uwagi na potencjał gaśniczy strumienia

Kolor zielony - wysokość instalowania o zmniejszonym polu pokrycia

Kolor niebieski - optymalna wysokość instalowania wyznaczona w testach pożarowych

Kolor żółty - niedopuszczalna wysokość instalowania

Jeśli rozpylacze umieścimy w mniejszej odległości od zabezpieczanej powierzchni niż wyznaczona w czasie testów pożarowych wysokość minimalna H_{min} , to raczej nie stwarza to ryzyka, że strumień gaśniczy będzie miał zbyt niski potencjał gaśniczy. Natomiast zmniejszona wysokość spowoduje znaczne zmniejszenie efektywnie zabezpieczanej przez ten rozpylacz powierzchni – i ten aspekt musi być wzięty pod uwagę, jeśli podczas instalowania rozpylaczy gaśniczych zaistnieje konieczność przekroczenia wysokości minimalnej H_{min} .

Jeśli rozpylacze umieścimy w większej odległości od zabezpieczanej powierzchni niż wyznaczona w czasie testów pożarowych wysokość maksymalna H_{max} , to działanie takie stwarza duże ryzyka, że strumień gaśniczy będzie miał zbyt niski potencjał gaśniczy do danej aplikacji. Zwiększona wysokość spowoduje dwa niekorzystne następstwa:

1. znaczne zmniejszenie efektywnie zabezpieczanej przez ten rozpylacz powierzchni wskutek promieniowego rozprzestrzeniania się mgły wodnej;
2. strumień mgły wodnej w coraz większej odległości od rozpylacza ma mniejszą prędkość wskutek oporu powietrza, a wpływ prędkości kropeł mgły wodnej tworzących strumień gaśniczy jest bardzo wyraźny – im większa prędkość tym efektywniejsze chłodzenie i skuteczniejsze gaszenie pożaru.

Przekraczanie wysokości maksymalnej H_{max} nawet przy zagęszczeniu instalowania rozpylaczy w przestrzeni chronionej w stosunku do wyznaczonego w testach pożarowych maksymalnego pola pokrycia grozi nieugaszeniem ewentualnego pożaru.

O ile przy gaszeniu miejscowym przekraczanie wysokości maksymalnej H_{\max} jest absolutnie niedopuszczalne, o tyle przy gaszeniu przez „całkowite wypełnienie” mgłą wodną może być rozważone nieznaczne przekroczenie wysokości instalowania, po dogłębnej analizie wyników pomiarów gęstości strumienia i jego prędkości jak również scenariusza rozwoju pożaru z uwzględnieniem strumieni konwekcyjnych ognia.

Odległości między rozpylaczami

Między rozpylaczami wyznacza się odległość maksymalną w oparciu o znajomość maksymalnej powierzchni pokrycia – im powierzchnia będzie mniejsza tym maksymalna odległość między rozpylaczami również. Minimalna odległość między rozpylaczami ma istotne znaczenie w przypadku rozpylaczy automatycznych z czujką termiczną – należy rozmieszczać je w takiej odległości aby strumień z sąsiedniego rozpylacza nie zraszał elementu termoczułego danego rozpylacza.

6.2. Metody rozpylania cieczy

Chcąc opisać w sposób systematyczny metody wytwarzania mgły wodnej należy spojrzeć dość szeroko na zagadnienie rozpylania uwzględniając ciecze o różnych właściwościach, nie tylko wodę. Oczywiście najczęściej rozpylaną cieczą do celów gaśniczych jest woda lub roztwory wodne.

Metody rozpylania cieczy sprowadzają się do zasady działania rozpylaczy toteż podjęto próbę ich klasyfikacji.

Najbardziej ogólna wydaje się taka klasyfikacja, która uwzględnia rodzaj energii użytej do rozpylania. Z uwagi na rodzaj energii użytej do rozpylania rozpylacze można podzielić na:

- rozpylacze wykorzystujące energię samej cieczy czyli rozpylacze ciśnieniowe: rozpylacze strumieniowe o działaniu ciągłym i przerywanym, rozpylacze wirowe, rozpylacze strumieniowo-wirowe, rozpylacze uderzeniowe,
- rozpylacze wykorzystujące energię gazu: rozpylacze pneumatyczne,
- rozpylacze wykorzystujące inne rodzaje energii np. energię mechaniczną, elektryczną, dźwiękową itd. – odpowiednio: rotacyjne, elektrostatyczne, akustyczne i ultradźwiękowe).[15]

W obszarze urządzeń gaśniczych najczęściej wykorzystywaną energią do rozpylania jest energia samej cieczy stąd największy udział znalazły tu rozpylacze ciśnieniowe. Energia potencjalna ciśnienia statycznego cieczy zamienia się w rozpylaczu ciśnieniowym na ciśnienie dynamiczne, co prowadzi do rozpylenia cieczy. Na tej zasadzie działają tzw.

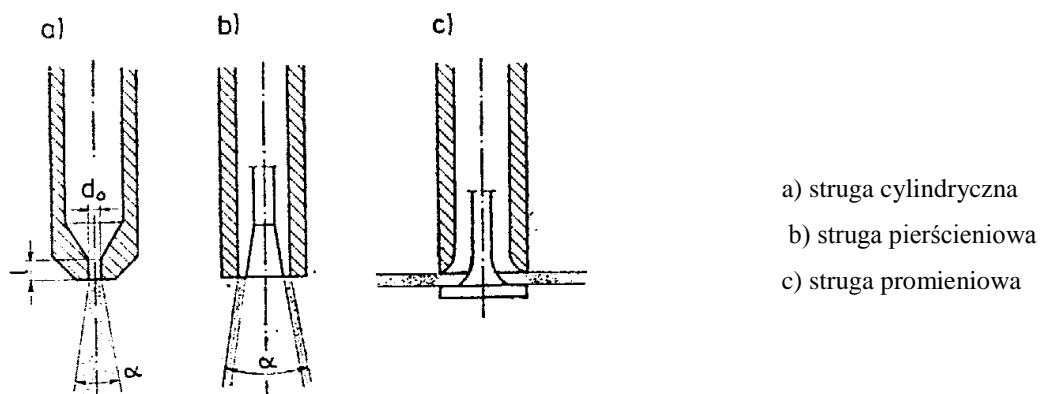
rozpylacze ciśnieniowe (hydrodynamiczne) o wypływie strumieniowym lub zawirowanym. Stąd też rozróżnia się rozpylacze: strumieniowe, wirowe i strumieniowo-wirowe. Rozpylacze ciśnieniowe są bardziej ekonomiczne od innych rozpylaczy ze względu na zapotrzebowanie mocy.[15]

Rozpylacze strumieniowe mogą być o działaniu ciągłym (rozpylacze otwarte) i o działaniu przerywanym (rozpylacze zamknięte). Rozpylacze o działaniu ciągłym są najprostsze ze wszystkich rozpylaczy, w najprostszym wykonaniu jest to przewężenie ujścia rury (ryc. 17 a)). Natomiast rozpylacze o działaniu przerywanym należą do najbardziej złożonych zarówno pod względem konstrukcyjnym, jak i technologicznym.[15] Z uwagi na brak zastosowania rozpylaczy o działaniu przerywanym w ochronie przeciwpożarowej pominięto je w dalszym opisie. Dysze zamknięte ampulką oraz dysze o działaniu czasowym stosowane w urządzeniach gaśniczych według tej klasyfikacji zaliczymy również do rozpylaczy o działaniu ciągłym gdyż nie uwzględnia się w nich chwilowych parametrów strumienia w momencie zmiany stanu – istotne są w ich przypadku parametry strumienia uśrednione w czasie.

Rozpylacz strumieniowy wytwarza strugę, która ulega rozpadowi dopiero w pewnej odległości od rozpylacza. Przebieg rozpadu oraz końcowy efekt zależą od rodzaju cieczy, średnicy otworu wylotowego, prędkości wypływu i warunków otoczenia. Przyspieszenie rozpadu strugi po wylocie z rozpylacza, można uzyskać za pomocą wzrostu prędkości wypływu (wzrostu ciśnienia wtrysku).[15]

Rozpylacze strumieniowe o działaniu ciągłym można podzielić pod względem konstrukcji i zasady działania na:

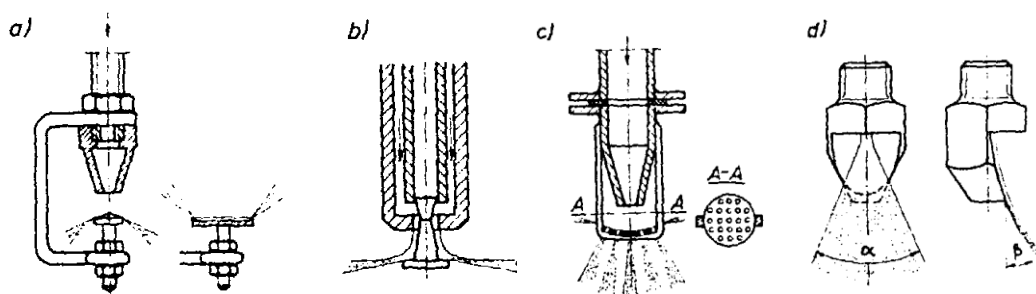
- rozpylacze przelotowe (ryc. 24),
- rozpylacze ze zderzającymi się strugami,
- rozpylacze uderzeniowe(ryc.25),
- rozpylacze wachlarzowe(ryc. 26). [15].



- a) struga cylindryczna
- b) struga pierścieniowa
- c) struga promieniowa

Ryc. 24 Strumieniowe rozpylacze przelotowe[15]:

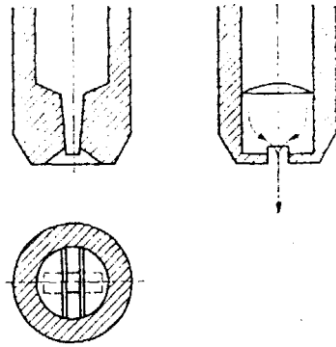
Rozpylacze przelotowe w najprostszym przypadku są przewodem z otworem (dyszą), przez który wypływa ciecz w postaci cylindrycznej strugi. Główną zaletą takiego rozpylacza jest prosta budowa, a główne wady to trudności rozpadu strugi na krople oraz mały kąt rozpylenia α . [15]



Ryc. 25. Schemat rozpylaczy uderzeniowych z deflektorami[15]:

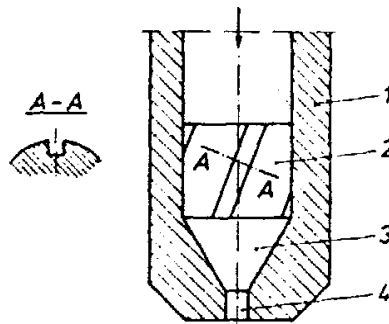
- a) deflektor stożkowy lub płaski z odgiętą krawędzią
- b) deflektor stożkowo-tarczowy
- c) deflektor perforowany
- d) deflektor łopatkowy

Rozpylacze uderzeniowe – wykorzystuje się w nich zderzenia cieczy z ciałem stałym. Najczęściej spotykane rozpylacze uderzeniowe to rozpylacze z deflektorami (ryc. 25). Charakteryzują się one tym, że struga cieczy uderza w deflektor, który może mieć różny kształt i różny kierunek ustawienia, co ma wpływ na kształt rozpylonego strumienia jak i jakość rozpylenia. [15]



Ryc. 26. Schemat rozpylacza wachlarzowego [15]

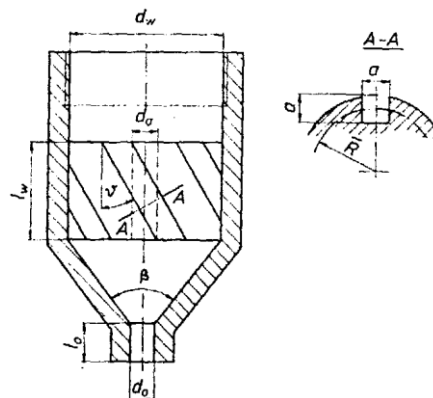
Rozpylacze wachlarzowe – wykorzystuje się w nich tę samą zasadę, co w rozpylaczach ze zderzającymi się strugami cieczy. Różnica polega tylko na tym, że strugi cieczy zderzają się wewnątrz, a nie na zewnątrz rozpylacza.[15]



Ryc. 27. Rozpylacz wirowy z cylindryczną wkładką zawarowującą[15] ;

1-korpus, 2-wkładka cylindryczna, 3-komorza wirowa, 4-otwór wylotowy

Rozpylacze wirowe (ryc. 27) działają na tej zasadzie, że ciecz jest wprowadzana w ruch obrotowy w komorze wirowej, skąd wypływa nie jako zwarta struga, lecz jako stożkowa błona. Przy dużych prędkościach błona rozpada się wskutek aerodynamicznego działania otaczającego gazu.[15]

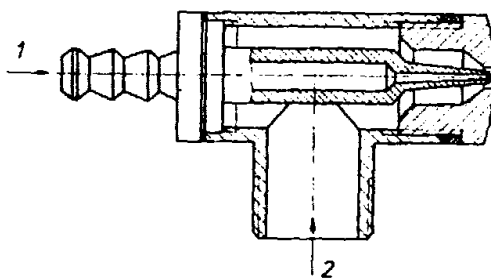


Ryc. 28. Schemat rozpylacza strumieniowo-wirowego z cylindryczną wkładką zawarowującą [15]

Rozpylacze strumieniowo-wirowe łączą w sobie cechy rozpylaczy strumieniowych i wirowych. W wyniku tego uzyskuje się nowy typ rozpylacza, który odznacza się dowolnym, dostosowanym do potrzeb, rozkładem gęstości strumienia cieczy w przekroju prostopadłym do osi strugi. Można zatem uzyskać również rozkład równomierny, co stanowi cenną zaletę w tych wszystkich zastosowaniach, gdzie chodzi o najkorzystniejszą wymianę ciepła i masy pomiędzy kroplami i otoczeniem. Z istoty połączenia tych dwóch odmiennych rozpylaczy wynika (porównaj ryc. 27 i ryc. 28), że część cieczy płynie jako niezawierowana struga osiowa (przez otwór oznaczony wymiarem d_a), a część jako zawierowana struga pierścieniowa (przez rowki oznaczone wymiarami a). Wymiana pędu i masy tych strug przed wylotem z rozpylacza decydująco wpływa na kształt strugi kropeł, o wspomnianym rozkładzie cieczy w przekroju poprzecznym i na jakość rozpylenia.[15]

Rozpylacze pneumatyczne (gazodynamiczne) działają na zasadzie wykorzystania energii gazu, głównie powietrza lub pary wodnej. Gaz mający dużą energię kinetyczną zapewnia dobre rozpylenie strug lub błon cieczy. Rozpylacze pneumatyczne znajdują zastosowanie w różnych dziedzinach, lecz przede wszystkim podczas rozpylania bardzo lepkich olejów opałowych za pomocą pary wodnej.[15]

Rozpylacze pneumatyczne są najbardziej skomplikowane pod względem przepływowym, gdyż zachodzi w nich wzajemne oddziaływanie dwóch faz, tj. cieczy i gazu. To oddziaływanie może zachodzić wewnątrz lub na zewnątrz rozpylacza, może mieć kierunek równoległy, skrzyżowany (poprzeczny) lub zawierowany, a ciecz i gaz mogą występować pod postacią strug lub błon (warstw). [15]

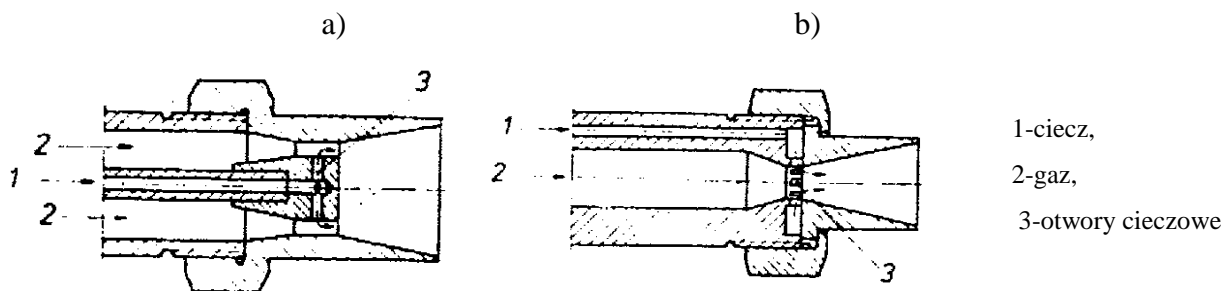


Ryc. 29. Rozpylacz pneumatyczny o przepływie równoległym[15];

1-woda

2-powietrze

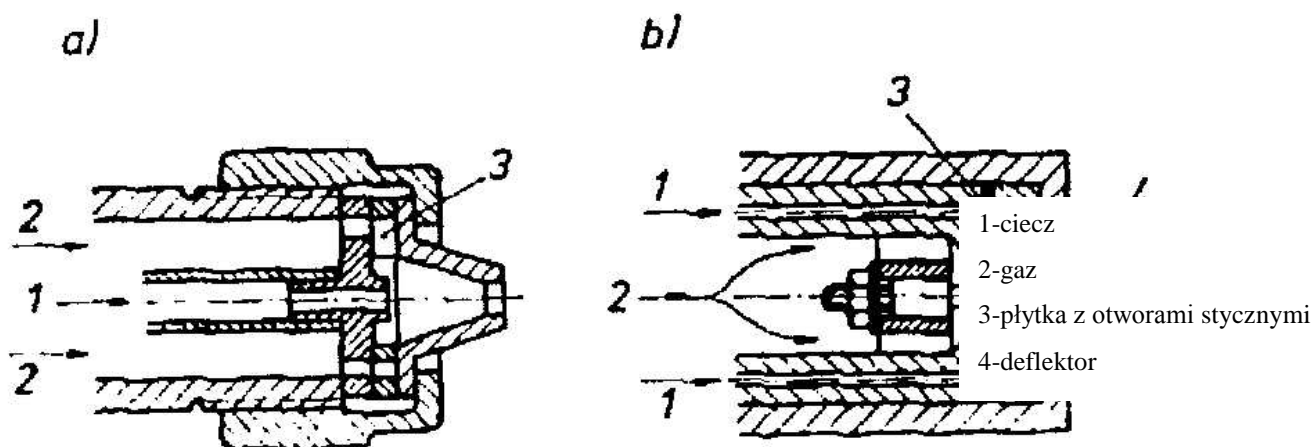
Przy *równoległym oddziaływaniu* na powierzchni oddziaływania powstają fale, które prowadzą do rozpadu cieczy na krople.



Ryc. 30. Rozpylacze pneumatyczne o przepływie skrzyżowanym [15]:

a) kierunek strug cieczy od środka do gazu, b) kierunek strug cieczy do środka

Przy *skrzyżowanym oddziaływaniu* ciecz ulega rozpadowi wskutek dynamicznego działania gazu. [15]



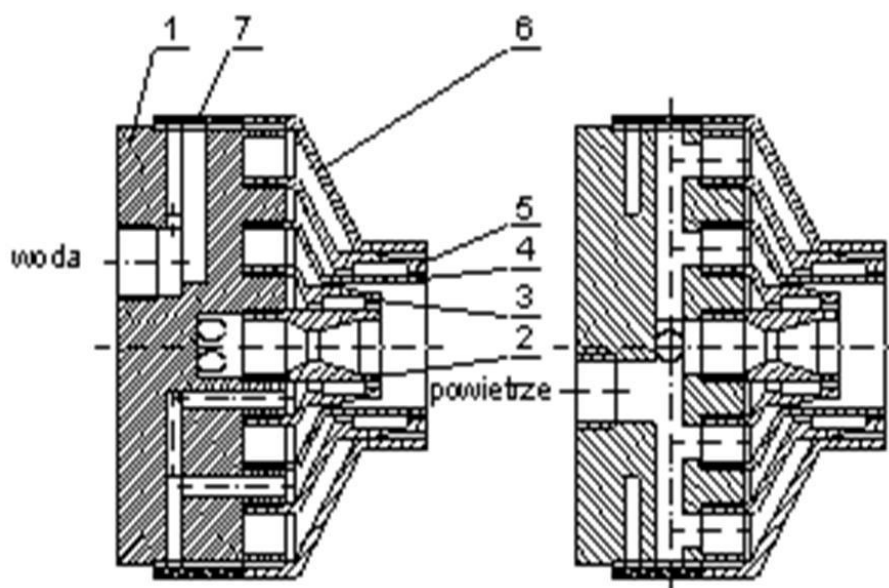
Ryc. 31. Dwa typowe rozpylacze pneumatyczne o przepływie zawirowanym [15]:

a) wirowy ruch gazu i osiowy ruch cieczy, b) wirowy ruch cieczy i osiowy ruch gazu

Przy *zawirowanym oddziaływaniu* występują zarówno zjawiska falowe, jak i dynamiczne. [15]

Rozpylacze pneumatyczne wykorzystujące do rozpylania duże prędkości gazu uzyskiwane w dyszach de Laval.

Bardzo interesującym rozwiązaniem jest wykorzystanie do rozpylania wody dyszy de Laval umożliwiającej rozpędzenie strumienia gazu do prędkości ponaddźwiękowej. Tak duża energia kinetyczna gazu umożliwia bardzo efektywne rozpylanie z możliwością regulacji widma rozpylenia oraz wydajności wodnej. Umożliwia dokładne ustawienie stosunku wody do gazu roboczego, co ma niebagatelny wpływ na zasięgu rzutu strumienia oraz na wyznaczanie optymalnej skuteczności gaśniczej.



Ryc. 32. Dysza FEN firmy Telesto Sp. z o.o.

1. korpus – PCV
2. dysza kołowa Laval’a - stop aluminiowy
3. dysza wodna - stop aluminiowy
4. dysza pierścieniowa Laval’a - stop aluminiowy
5. dysza wodna - stop aluminiowy
6. dysza pierścieniowa Laval’a - stop aluminiowy
7. pierścień osłonowy - stop aluminiowy

Dysza Laval’a stosowana jest w tych przypadkach, gdy chodzi o uzyskanie dużej prędkości przepływu. Przekrój dyszy na ogół jest kołowy lub prostokątny. Składa się z części zbieżnej i części rozbieżnej. Przekrój dyszy, w którym pole przekroju jest najmniejsze nazywa się gardzielą, gdzie w wyniku monotonicznego wzrostu prędkości uzyskuje się prędkość gazu równą prędkości dźwięku tj. $M=1$ Mach. Profil części rozbieżnej dyszy Laval’a zależy od projektowanej liczby Mach w części wylotowej MW.

Dysza FEN wykorzystuje oddziaływanie wzajemne między fazami w przepływie dwufazowym. Pierwszą fazą jest sprężone powietrze jako gaz roboczy, drugą krople cieczy. Rozpylana ciecz ma postać suchej mgły, gdyż średnica kropeł osiąga kilka do kilkunastu mikrometrów. Rozdrabnianie cieczy następuje poza układem dyszowym w wyniku oddziaływania skośnych fal uderzeniowych.

Atomizer zastosowany w dyszy FEN składa się z trzech dysz Laval’a (ryc. 32: 3-4; 5-6), oraz dwóch dysz wodnych (ryc. 31: 2-3; 4-5). W korpusie na ryc.1 są wykonane kanały doprowadzające media do stosownych układów dyszowych.

Rozpylacze wykorzystujące inne rodzaje energii (np. rozpylacze rotacyjne, elektrostatyczne, akustyczne, ultradźwiękowe) opierają się na bardzo zróżnicowanych zasadach działania. Znajdują one coraz większe zastosowanie techniczne, jednak mają i zapewne mieć będą znikome zastosowanie w ochronie przeciwpożarowej. Z tego powodu pominięto je w dalszym opisie.

Obszerna systematyka dysz różnego zastosowania ze szczegółowymi opisami, zawarta jest w książce, zdaniem autora najlepszej polskojęzycznej z tej tematyki, *Rozpylanie cieczy* - Orzechowski Z., Prywer J.[15]

6.3. Kryteria stawiane metodzie rozpylania wykorzystywanej do celów gaśniczych

W punkcie 5.1. przedstawiono wiele różnych rodzajów dysz wykorzystujących metody mające lub mogących mieć zastosowanie w ochronie przeciwpożarowej: do gaszenia i tłumienia pożarów, chłodzenia konstrukcji, zapobieżenia rozgorzeniu i czyszczeniu powietrza z produktów spalania. Niniejsza praca zawęży ogólny cel zastosowania w ochronie przeciwpożarowej do zastosowania najczęstszego, czyli do celów gaśniczych kładąc szczególny nacisk na zastosowanie w stałych urządzeniach gaśniczych.

Odpowiedź na kwestię postawioną w tytule niniejszego punktu jest trudna z uwagi na różnorodność warunków, w jakich urządzenie gaśnicze mogą potencjalnie pracować. Niemniej jest kilka wspólnych cech, które powinny łączyć urządzenia gaśnicze mgłowe. Z cechami urządzenia gaśniczego mgłowego ściśle wiąże się metoda rozpylania, jaka wykorzystywana jest w tym urządzeniu. Dlatego metodę należy rozpatrywać nierozdzielnie z rozpylaczem, gdyż ta sama metoda przy różnych wymiarach i konstrukcjach rozpylaczy może uzyskać zupełnie inne parametry i oceny. Pisząc o metodzie mamy na myśli konkretny rozpylacz, w którym ta metoda jest wykorzystywana.

O możliwości zastosowania określonej metody rozpylania (rozpylacza) do celów gaśniczych decydują następujące czynniki:

1. *Wartość intensywności zraszania lub gęstość strumienia.* Zbyt mała jej wartość eliminuje możliwość wykorzystania metody do celów gaśniczych. Z wartością intensywności zraszania skorelowany jest łatwy do zmierzenia współczynnik przepływu K dyszy, czyli parametr opisujący przelotowość dyszy. Przy znajomości pola powierzchni zraszania, współczynnika K oraz zadanego ciśnienia na dyszy (lub wydajności przepływu) można oszacować uśrednioną wartość intensywności zraszania. Z obserwacji dostępnych na rynku dysz wynika, że wartością graniczną dla dysz niskociśnieniowych jest wartość współczynnika K około $3 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{bar}^{-0,5}$

- i dla dysz wysokociśnieniowych ok. $0,3 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{bar}^{-0,5}$. Dysze o mniejszym współczynniku raczej nie są stosowane do celów gaśniczych. Przy czym są to często dysze pracujące grupowo w jednym zespole – głowicy mgłowej.
2. *Kąt stożka rozpylenia.* Zbyt mały kąt wiąże się z małą powierzchnią zraszania. Z kolei mała powierzchnia zraszania wiąże się z koniecznością zastosowania większej liczby dysz niż w przypadku dysz o dużym kącie rozpylenia. Zwykle stosowane kąty rozpylenia w dyszach mieszczą się w przedziale od 60° do 120° . Oczywiście do szczególnych zadań stosowane są dysze o kątach rozpylenia wykraczających poza podany zakres.
 3. *Nierównomierność rozkładu intensywności zraszania.* Dąży się zwykle do uzyskania jak najmniejszej wartości nierównomierności rozkładu intensywności zraszania czyli w kierunku zachowania równomiernego rozpylenia w całym obszarze zraszania. Duża wartość nierównomierności rozkładu intensywności zraszania świadczy o niedokładności wykonania powierzchni przepływowych dyszy lub błędnej jej konstrukcji. Kryterium to jest względne i zależy od przewidywanego zastosowania dyszy. Niektóre z dysz, np. z reflektorem łopatkowym dają powierzchnie zraszania smukłą, w kształcie mocno rozciągniętej elipsy, dlatego też w odniesieniu do takich dysz nie celowe jest określanie niejednorodności zraszania klasycznymi metodami.
 4. *Widmo rozpylenia* jest mocno uzależnione od przewidywanego zastosowania dyszy. W niektórych przypadkach, szczególnie w pomieszczeniach zamkniętych, w których nie ma obaw, że krople będą znoszone przez ruchy powietrza korzystne jest widmo rozpylenia z przewagą drobnych kropeł ($Dv_{0,5} \leq 200\mu\text{m}$), w innych przypadkach np. na otwartej przestrzeni, gdzie wiatr mógłby przeszkodzić w osiągnięciu celu przez strumień mgły korzystniejsze będzie widmo rozpylenia z przewagą dużych kropeł.
 5. *Mała wrażliwość na zmiany ciśnienia, powtarzalność parametrów strumienia.* Dysza, która zmienia parametry rozpylonego strumienia w sposób istotny pod wpływem niewielkich zmian ciśnienia nie może być stosowana do celów gaśniczych.
 6. *Odporność na zapychanie zanieczyszczeniami.* Większość dysz mgłowych a w szczególności pracujące w zakresie wysokich ciśnień są wrażliwe na zaczopowanie zanieczyszczeniami. Rozwiązaniem tej kwestii jest zastosowanie

filtrów, ewentualnie demineralizowanej wody i stosowanie takiej armatury, która nie tworzy zanieczyszczeń np. rdzy.

7. *Niezawodność działania* jest trudnym do opisu jak i do oceny parametrem. W przypadku systemu bezpieczeństwa, jakim jest np. stałe urządzenie gaśnicze na mgłę wodną niezawodność działania powinna być potwierdzona przez niezależne jednostki badawcze. Określając niezawodność działania należy sprawdzić poprawność działania urządzeń w różnych zakłócających warunkach środowiskowych. Sprawdzenia takiego dokonuje się w oparciu o odpowiednie normy.
8. *Ekonomiczność* mieści w sobie wiele różnych parametrów. Polega na wyważeniu celów ze środkami. Zbyt drogie urządzenia, pomimo założenia, że na bezpieczeństwie nie należy oszczędzać, nie znajdują nabywców.

6.4. Metody wytwarzania mgły wodnej do celów gaśniczych ze szczególnym uwzględnieniem stałych urządzeniach gaśniczych

Zwykle w dyszach na mgłę wodną stosowanych w ochronie przeciwpożarowej wykorzystywana jest jedna z trzech poniższych metod wytwarzania strumieni rozpylonych:

- uderzenie strumienia wody o deflektor (rozpylacze uderzeniowe),
- wyrzucenie z dużą prędkością strumienia z otworu dyszy (rozpylacze wirowe i strumieniowo-wirowe),
- wykorzystanie sprężonego powietrza lub azotu do rozpylania wody (rozpylacze pneumatyczne).[5]

W porównaniu z klasyfikacją wymienioną w punkcie 5.1. jest to klasyfikacja niepełna i uproszczona, gdyż pominięto rozpylacze wykorzystujące inne metody rozpylania, a które raczej nie są stosowane do celów gaśniczych, np. rozpylacze rotacyjne czy rozpylacze o działaniu przerywanym.

W NFPA 750 SUG na mgłę wodną podzielono z uwagi na ciśnienie robocze na niskociśnieniowe, średnio-, i wysokociśnieniowe. Tym samym norma ta wprowadziła rozróżnienie wśród reżimów ciśnienia, przy których wytwarzana jest mgła. Niskociśnieniowe systemy działają przy ciśnieniach 175 psi (12 bar), lub mniejszych. Średniociśnieniowe systemy wymagają ciśnienia większego niż 175 psi (12 bar), ale mniejszego niż 500 psi (34 bar). Wysokociśnieniowe systemy działają przy ciśnieniach 500 psi (34 bar) lub większych. Zakres roboczych ciśnień w *systemach niskociśnieniowych* jest podobny do standardowego zakresu

roboczych ciśnieni stosowanych w systemach zabezpieczeń przeciwpożarowych, takich jak systemy tryskaczowe i hydranty wewnętrzne. Wymagania dla rur, osprzętu, zaworów, pomp oraz metody obliczeń hydraulicznych są powszechnie znane i stosunkowo łatwe do weryfikacji. Rury, zawory i pozostały osprzęt do *systemów na niskie ciśnienia* są powszechnie dostępne. Wraz ze wzrostem ciśnienia maleje dostępność części składowych do takich systemów a koszty rosną. Systemy na średnie ciśnienia a tym bardziej na wysokie ciśnienia powinny spełniać wymagania dotyczące pracy pod odpowiednim ciśnieniem a także wymogi formalne w zakresie bezpieczeństwa. Urządzenia gaśnicze mgłowe na średnie i wysokie ciśnienia są znacznie droższe od urządzeń na niskie ciśnienia, zwykle trudniejsze w eksploatacji., a przy tym nie zawsze wytwarzającą mgłę wodną, o znacząco wyższej jakości niż z urządzeń na niskie ciśnienia.

Metoda wytwarzania mgły nie wpływa w sposób znaczący na jej zdolności gaśnicze. Z perspektywy możliwości gaśniczych parametry takie jak widmo rozpylenia, intensywność zraszania i pęd strumienia są znacznie ważniejsze niż metoda wytwarzania. Wybór metody wytwarzania mgły wpływa jednak na inne czynniki, takie jak ekonomiczność i niezawodność systemu.

Tabela 5.

Metody wytwarzania mgły wodnej w urządzeniach gaśniczych [5]

Typ urządzenia	Typ dyszy		
	Uderzeniowa	Srumieniowo-wirowa i wirowa	Pneumatyczna
Niskociśnieniowe Do 12 bar	o dużych średnicach kryzy z deflektorem: tryskacze standardowe, spiralne (BFN, SSC), pinowe (BFN, SSC), AquaMist (Grinell), inne	o małych średnicach, wirująca komora, wielostrumieniowa konstrukcja, SSC, BFN i wiele odmian	wlot powietrza plus wlot wody plus komora wewnętrzna STI, Ginge Kerr, BP, SSC, BFN i inne.
Średnich ciśnieni od 12 do 34 bar	o małych średnicach kryzy z deflektorem płytkowym: AquaMist (Grinell), GW Sprinkler (Denmark)	SSC, BFN, Tyco, MicroDrop	----- -----
Wysokich ciśnieni od 34 do 272 bar	----- -----	Marioff Hy-fog, Semco, Unitor, Reliable-Baumac i inne	----- -----
NOWOŚCI			
Strumienie	-----	strumień przegrzanej wody	strumień przegrzanej

Typ urządzenia	Typ dyszy		
	Uderzeniowa	Srumieniowo-wirowa i wirowa	Pneumatyczna
odparowujące rzutowo, Niskie ciśnienie, Wysoka temperatura 175 °C	-----	plus zwykła średnica: gaszenie wybuchowe „pyłowe” (Irlandia)	wody plus odparowanie wtryskiwanej wody do wewnętrznej komory -w badaniach eksperymentalnych
Strumienie uderzeniowe Średnie ciśnienia	Zespół strumieni ciśnieniowych nakierowanych na zderzanie się w strefie dużych prędkości, powodujących mechaniczne rozbicie		----- -----
Środek saturujący Wysokie ciśnienie	----- -----	Strumień ciśnieniowy ze sprężonym azotem wstępnie wymieszanym z wodą (Marioff)	
Strumienie impulsowe Duża prędkość	----- -----	Generator gazu: gwałtowny wyrzut wody przez kryzę lub otwór; ciśnienie generowane przez urządzenie takie jak do poduszek powietrznych.	IFEX 3000 Impuls – (trzymany w rękach) spowodowanie rozprężenie wys. ciś. gazu dokomory wypełnionej wodą.
Strumienie ciągłe Pozwalające zapewnić maksymalną kontrolę nad kierunkiem i pędem rozpylonego strumienia	----- -----	Indywidualnie blisko siebie rozmiszczane dysze wytwarzające wąski, stożkowy strumień	

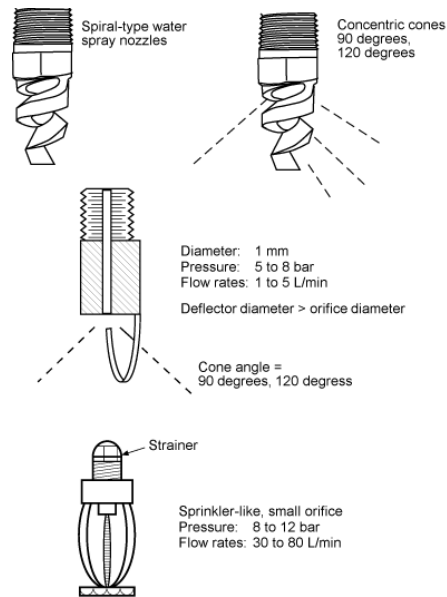
SSC - Spraying Systems Company; BFN = Bete Fog Nozzle Co.; STI = Securiplex Technologies, Inc.

Powierzchnia pokrycia i rozmieszczenie dysz powinny być zgodne z wytycznymi producenta instalacji dostarczonymi z kartą katalogową. Intencją NFPA 750 było, aby informacje zawarte w karcie katalogowej dyszy były oparte o testy z gaszenia pożarów w pełnej skali i w warunkach zbliżonych do przewidywanego zastosowania.

Dysze uderzeniowe (z deflektorem): Dysze uderzeniowe charakteryzują się tym, że struga cieczy uderza w deflektor i rozbija się na drobne krople. Zalicza się do nich standardowe tryskacze i zraszacze. Prędkość strumienia i kształt powierzchni uderzeniowej determinuje kąt

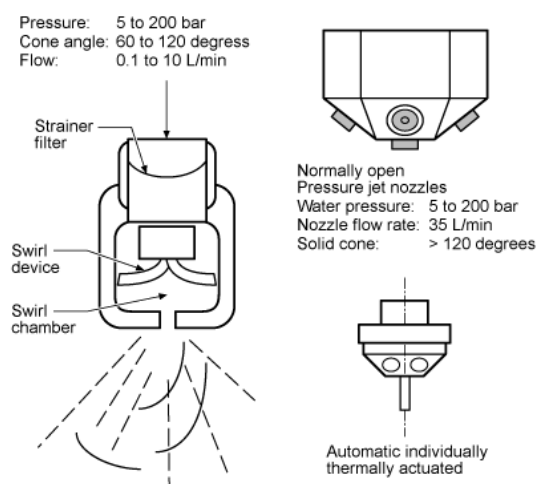
stożka, widmo rozpylenia wielkości kropeł, jednorodność strumienia i jego pęd. Ryc. 32 przedstawia kilka typów dysz uderzeniowych stosowanych w SUG na mgłę wodną.

Badania dowiodły, że dysze uderzeniowe mają ograniczony osiowo zasięg rzutu strumienia, ponieważ następuje utrata energii spowodowana uderzeniem strumienia o deflektor. Małe nachylenie płytki deflektora zakrzywia rozpylanie strumienia w jednym kierunku. Strzemię deflektora może powodować efekt cienia i nieregularności (zakłócenia) w rozpylaniu strumienia.[5]



Ryc. 33. Dysze uderzeniowe (z deflektorami) [5]

Dysze strumieniowe ciśnieniowe Rozpad strumienia wody na krople rozpoczyna się wewnątrz kilkumilimetrowego otworu. Na ryc. 34 przedstawiono kilka dysz strumieniowych ciśnieniowych. Rozpad strumienia na krople może być poprawiony przez wprowadzenie elementu zawirowującego w komorze wewnątrz dyszy przekazującego ruch obrotowy na strumień opuszczający otwór. [5]



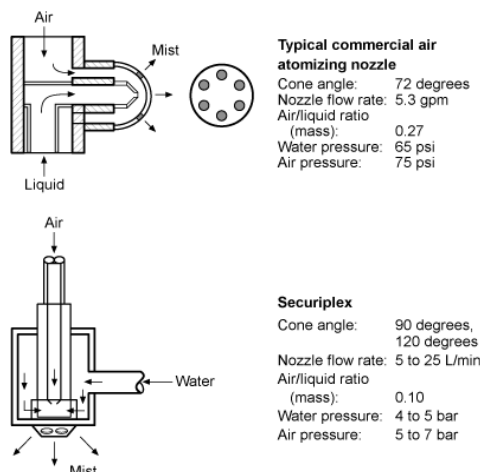
Ryc. 34. Dysze strumieniowe ciśnieniowe

Dysze pneumatyczne są dyszami rozpylającymi za pomocą gazu, wytwarzają mgłą wodną poprzez wtrysk wody i sprężonego gazowego medium rozpylającego do komory w taki sposób, że sprężone powietrze rozdrabnia wodę na drobne kropelki i wyrzuca wytworzoną mgłą przez jeden lub więcej otworów. Konstrukcja dysz pneumatycznych uwzględnia wydajne sterowanie widmem rozpylenia kropel, kątem stożka, pędem strumienia i natężeniem przepływu w odniesieniu do wody i sprężonego gazu przy ciśnieniach wody między 3 a 7 bar (w warunkach pracy niskiego ciśnienia). Możliwy jest kąt stożkowy między 20° a 120° .

Ryc. 34 przedstawia dwie konstrukcje dysz pneumatycznych na mgłą wodną. Niezawodność dysz pneumatycznych jest potwierdzona przez szerokie zastosowanie w przemysłowych systemach rozpylania. Stosunkowo duże średnice otworów (>2 mm) sprawiają, że z mniejszym prawdopodobieństwem ulegną one zacinaniu niż mniejsze otwory w dyszach ciśnieniowych strumieniowych. Zarówno woda jak i medium rozpylające pracuje tam w zakresie niskich ciśnień, dzięki temu mogą być zastosowane powszechnie dostępne orurowania i zawory. Ich główną wadą w zastosowaniu w urządzeniach gaśniczych jest koszt instalacji dwóch linii zasilających dla każdej dyszy (hydraulicznej i pneumatycznej) oraz przechowywanie wysokiej jakości sprężonego medium rozpylającego. Wada ta jest szczególnie dotkliwa w przypadku stosowania SUG mgłowych w których wymagana jest duża liczba dysz co wiąże się z rozległą siecią podwójnie rozprowadzonych przewodów.

Sterowanie pneumatyczne regulujące równowagę ciśnienia powietrza i wody stanowi dodatkową trudność. Zależność pomiędzy wypływem wody i wypływem medium rozpylającego (gazu) z dysz pneumatycznych nie może być opisana wzorem $q=k\sqrt{p}$ (6.1.1). Natężenie przepływu oraz współczynnik przepływu) stosowanym przy prostych dyszach ciśnieniowych. Ponieważ linie zasilania wodnego i gazowego są połączone wewnątrz dyszy,

ciśnienie w jednej linii oddziałuje przeciwko ciśnieniu w drugiej linii. Wówczas, kiedy ciśnienie gazu wzrasta, wzrasta też przepływ tego gazu, co z kolei wymusza zmniejszenie przepływu wody. Odwrotnie, wzrost ciśnienia wody powoduje zmniejszenie wypływu gazu – jeśli jest on zbyt wysoki to woda może popłynąć przez dyszę do linii powietrznej. Jeśli gaz rozpylający jest zdławiony zbyt mocno, to mgła nie uformuje się a widmo rozpylenia będzie bardzo niekorzystne lub w ogóle nie uda się wytworzyć mgły wodnej.



Ryc. 35. Dysze pneumatyczne

Ryc. 35 pokazuje schemat przepływu medium rozpylającego (gazu) i wody dyszach pneumatycznych. Termin „stosunek powietrza do cieczy” (ALR) jest stosowany do opisu równowagi między medium rozpylającym a cieczą, wymaganej przy łączeniu się w dyszy gazu i wody. Aby móc regulować urządzenia pod tym względem oraz aby producenci określali w danych technicznych wielkość wypływu powietrza i wody wygodnie jest stosować stosunek ciśnień powietrza do cieczy ALR_p ¹².

$$ALR_p = \frac{P_a}{P_w} \quad (22)$$

gdzie:

ALR_p - stosunek ciśnień powietrza do cieczy

P_a - ciśnienie powietrza, wskazania manometru (bar)

P_w - ciśnienie wody, wskazania manometru (bar).

W celu umożliwienia porównania wydajności różnych dysz oraz wykonania obliczeń hydraulicznych do określenia wymiarów rur, ustawienia regulatorów ciśnienia oraz całkowitej

¹² Air-to-liquid pressure ratio.

ilości skompresowanego gazu do urządzenia gaśniczego, lepiej jest stosować stosunek powietrza do cieczy wyrażony w jednostkach masowego natężenia przepływu, ALR_m .¹³

$$ALR_m = \frac{Ma}{Mw} \quad (23)$$

gdzie:

ALR_m - stosunek mas powietrza do cieczy,

Ma - masa powietrza w jednostce czasu, kg/s,

Mw - masa wody w jednostce czasu, kg/s.

Producent dyszy powinien określić zakres stosunku powietrza do wody (ciśnieniowy lub masowy), przy którym dysza osiąga najlepsze charakterystyki rozpylania. Wskazane jest minimalizowanie wymaganej ilości medium rozpylającego. Punkt sprawności pracy dla dysz pneumatycznych powinien być taki, aby wytwarzał żądaną charakterystykę mgły przy jak najniższym ALR_m , tj. normalnie między 0,05 a 0,10.

Tabela 6 przedstawia wyniki pomiarów przeprowadzonych w National Research Council of Canada na dostępnych na rynku niskociśnieniowych dyszach pneumatycznych pracujących przy ciśnieniu wody $P_w = 55$ psi (3,7 bar) i trzech różnych ciśnieniach powietrza. Wzrost ciśnienia powietrza spowodował spadek wartości $D_{v0.5}$ i $D_{v0.9}$, ale wszystkie trzy strumienie utrzymały się na bardzo dobrym poziomie rozpylenia ($D_{v0.9} \leq 200\mu$). Do celów gaśniczych korzyści wynikające z dodatkowego rozdrobnienia strumienia klasyfikującego się pierwotnie do klasy 1 nie są wymierne. Spadek ciśnienia powietrza powoduje spadek wymaganego przepływu Q_{pow} z 56,1 do 15,5 SCFM (1.59 do 0.98 m³/min) oraz powoduje 2-krotny wzrost przepływu wody Q_w z 1.9 to 4.1 gpm (7,2 do 15,5 L/min). Wzrost szybkości przepływu strumienia wody przekłada się na wzrost gęstości strumienia (intensywności zraszania). Badania dowodzą, że gęstość strumienia (intensywność zraszania) mocniej wpływa na efektywność gaszenia niż zmiana kilkudziesięciu mikrometrów w wartości $D_{v0.5}$ lub $D_{v0.9}$ w widmie rozpylenia. Zmniejszenie wymagań w stosunku do medium rozpylającego jest korzystne, gdyż redukuje koszty urządzenia. Wobec tego, w wielu przypadkach można zredukować wpływ medium rozpylającego do minimum, akceptując projektowanie ze zwiększoną rezerwą wpływ wody, ale ciągle utrzymując odpowiednie charakterystyki i skuteczność gaśniczą. W jednym przypadku, tzn. w lotnictwie, podejście takie może być

¹³ Air-to-liquid mass ratio.

nieodpowiednie, gdzie, z uwagi na masę, istotniejsze jest zmniejszenie wymagań w stosunku do wody niż w stosunku do powietrza. [5]

Tabela 6.

Skutki zmiany ciśnienia powietrza na charakterystyki strumieni z dysz pneumatycznych [5]

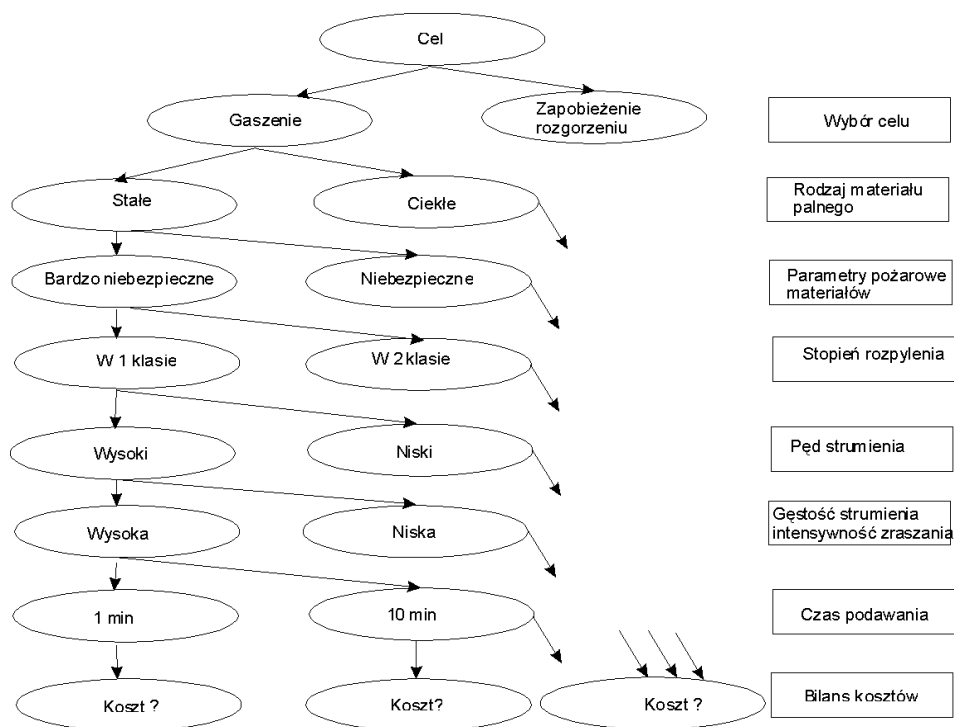
	Pw	Ppow	Qw	Mw	Qpow	Mpow	ALRm	Dv0,5*	Dv0,9*	Klasa mgły*
	psi	psi	gpm	(lb/min)	SCFM	(lb/min)	(masa)	(mikrony)	(mikrony)	(od 1 do 3)
Dysza 1	55	76	1.9	15.8	56.1	4.29	0.27	60	140	1
Dysza 2	55	65	3.2	26.5	44.2	3.38	0.13	75	160	1
Dysza 3	55	55	4.1	34.0	34.8	2.66	0.08	90	160	1

* klasa mgły w uproszczeniu odpowiada stopniowi rozpylenia – klasyfikacja wg NFPA 750, 1996 Edition

7. KRYTERIA WYBORU URZĄDZENIA GAŚNICZEGO NA MGŁĘ WODNĄ

Koniecznym warunkiem prawidłowego i skutecznego działania urządzenia gaśniczego na mgłę wodną jest odpowiedni dobór w procesie projektowania parametrów urządzenia gaśniczego do rzeczywistych lub przewidywanych warunków w przestrzeni gaszenia – aplikacji. SUG mgłowe skutecznie działające w jednej aplikacji może w innej aplikacji okazać się nieskuteczne czy nawet niebezpieczne. Stąd nie jest możliwa ocena skuteczności działania urządzenia gaśniczego bez powiązania go z konkretną aplikacją. Dobroć techniczną danego SUG mgłowego można określić tylko w powiązaniu ze wskazaną aplikacją.

SUG mgłowe różnych producentów mają swoje specyficzne wady i zalety. Urządzenia wysokociśnieniowe mają swoje zalety, istotne w pewnych okolicznościach jak np. wyższy pęd strumienia, lepsza jakość rozpylenia, mniejsze straty wodne. W innych okolicznościach urządzenia niskociśnieniowe mogą mieć istotniejsze zalety: niższa cena urządzenia, większa niezawodność działania. Wybór urządzenia do określonego zastosowania powinien wiązać się ze szczegółową analizą istotnych czynników.



Ryc. 36. Przykładowy fragment drzewa decyzyjnego wyboru urządzenia gaśniczego na mgłę wodną [5]

Kryteria wyboru urządzeń gaśniczych na mgłę wodną ściśle wiążą się z ogólnymi zasadami projektowania tych urządzeń. Na podstawie przedstawionym rysunku jedna z gałęzi drzewa decyzyjnego przedstawia wielorakie przykładowe czynniki, które należy rozpatrzeć przy wyborze i projektowaniu stałego urządzenia gaśniczego na mgłę wodną. Drzewo takie prowadzi projektanta przez kolejne kroki, w których każdy wybór dotyczy opcji przy następnej decyzji. Projektant wybiera na poszczególnych krokach optymalny dla danych warunków stan albo właściwość. Przykłady rozważań przywoływane przy każdej decyzji albo punkcie wyboru są opisywane w poniższej tabeli .[5]

Tabela 7.

Decyzje związane z wyborem i projektowaniem urządzeń na mgłę wodną

Decyzja	Możliwości wyboru
Wybór celu	Gaszenie lub zapobieżenie rozgorzeniu? Kontrola temperatury, kontrola rozprzestrzeniania się pożaru, kontrola dymu. Wybór charakterystyki mgły i czasu generowania strumienia może być bardzo różny w zależności od celu.
Określenie typu materiałów palnych	Stałe albo płynne, parametry pożarowe materiałów palnych, ilość zgromadzonych materiałów – wszystko to wpływa na mechanizm gaszenia; dobór rozmiarów kropli, gęstości strumienia i pędu; rozmieszczanie i orientacji dysz.
Ocena warunków przestrzeni gaszenia	Zamknięta lub otwarta, wentylacja. Całkowitego wypełnienia lub lokalnej aplikacji.
Określenie charakterystycznego rozmiaru kropli	Widmo rozpylenia kropli tj klasa kropli 1, 2, lub 3 może być wstępnie określona przez wybór metody wytwarzania mgły.
Określenie charakt. pędu	Od wysokiego do niskiego; może być określony przez wybór metody wytwarzania mgły; ograniczenia, co do odległości dysz i typu paliwa (płynne lub stałe).
Dobór minimalnej gęstości strumienia, przeciętnej i szczytowej.	Od wysokiej do niskiej; rozdział wody jednolity lub nieregularny; aktywacja grupowa lub przez dysze automatyczne. Wpływa to na wybór kąta stożka dyszy, prędkość wypływu wody, ogólne wymagania dot. magazynowania wody i przewidywane problemy wynikłe ze szkód wodnych.
Dobór czasu generowania rozpyl. strumienia	Długi, krótki, cykliczność, ograniczenia spowodowane kosztami zapasów wody/powietrza. W odniesieniu do szkód wodnych, mechanizmy gaśnicze, powtórny zapłon, objętość magazynowanej wody i masywność systemu.
Koncepcje wyboru aktywacji systemu	Określenie typu dysz, np., aktywacja indywidualna cieplnie (automatyczne); oddzielny system wykrywania i pulpit sterowniczy; trudności z dzieleniem na strefy; wybór detekcji i sterowania , itd.
Koszty systemu dot. niezawodności	Oparty o wybór technologii mgły; minimalna gęstość strumienia i czas generowania; objętość magazynowania; stopień kontroli przewietrzania, itd. [5]

8. PREZENTACJA WYBRANYCH SYSTEMÓW GAŚNICZYCH WYKORZYSTUJĄCYCH MGŁĘ WODNĄ

8.1. CNBOP –PIB prezentacja Gaśnicy Automatycznej Mgłowej (GAM)[33]

W Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowym Instytucie Badawczym w Józefowie zrealizowany został projekt rozwojowy finansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego pt. **Badania nad opracowaniem dwufunkcyjnego urządzenia gaśniczego mgłowego zapobiegającego wystąpieniu zjawiska rozgorzenia w obiektach zabytkowych i przyczyniającego się do podniesienia bezpieczeństwa** – temat nr 4185/BC/BS/MNiSW/2008 (O R00 0040 04). Celem prac było opracowanie urządzenia gaśniczego mgłowego, które spełniłoby dwie funkcje: funkcje urządzenia gaśniczego działającego automatycznie oraz funkcje typowej gaśnicy. Zamierzeniem było opracowania takiego urządzenia gaśniczego, które przy dość wysokiej niezawodności i skuteczności byłoby również stosunkowo tanie w produkcji, montażu i eksploatacji. Niezmiernie trudno jest połączyć wysoką jakość z produktu z jego niską ceną, nie mniej zespołowi realizującemu projekt w znacznej mierze udało się osiągnąć zamierzony cel. Projekt był realizowany przy ścisłej współpracy z SupoCerber Sp. z o.o.

Założenia projektowe

Zgodnie z przyjętymi założeniami, dwufunkcyjne urządzenie gaśnicze mgłowe GAM:

- miało zapewnić zabezpieczenie obiektu przed rozgorzeniem w czasie przewidzianym na przyjazd straży pożarnej (uruchomienie automatyczne elementem termoczułym)
- miało umożliwić użycie urządzenia w charakterze podręcznego sprzętu gaśniczego i wykorzystania go, podobnie jak klasycznej gaśnicy do bezpośredniego, ręcznego ugaszenia pożaru w zarodku (obsługa przez personel).

Zabezpieczenie obiektu przed rozgorzeniem ma kluczowe znaczenie przy gaszeniu obiektów drewnianych zwykle z dużym nasyceniem palnego wyposażenia. W obiektach takich (zwykle zabytkowych) swobodny rozwój pożaru następuje tak szybko, że w wielu przypadkach straż pożarna nie jest w stanie dojechać w czasie, który dawałby szansę na ugaszenie pożaru, mimo że powiadomienie o pożarze zostało przyjęte odpowiednio wcześniej. Wynika to głównie z dwóch czynników:

- nagromadzenie dużej ilości materiałów łatwo zapalnych w małej przestrzeni (palna konstrukcja obiektu, łatwo zapalne wyposażenie i wystrój wnętrza, często liczne eksponaty itp.).
- oddalenie chronionych obiektów od jednostek straży pożarnej i utrudniony do nich dojazd.

Z uwagi na powyższe uwarunkowania wskazane jest zastosowanie urządzeń gaśniczych, które gasiłyby pożar lub co najmniej ograniczały jego rozwój przez czas niezbędny na przybycie straży pożarnej. Zastosowanie urządzeń gaśniczych, które byłyby w stanie w sposób samoczynny obronić obiekt bez konieczności przyjazdu straży pożarnej wiąże się z bardzo kosztownymi urządzeniami gaśniczymi jak również znaczną ingerencją w strukturę budynku. Działanie takie są niepożądane ze względów estetycznych i często przekraczają możliwości finansowe właścicieli. Doskonałą alternatywą dla wielu tego typu obiektów mogłoby być zastosowanie urządzeń gaśniczych, których zadaniem byłoby ograniczanie rozwoju pożaru do czasu przyjazdu straży pożarnej. Urządzeniem dedykowanym do tego celu jest opracowana w CNBOP-PIB gaśnica automatyczne mgłowa GAM. Urządzenia gaśnicze ograniczające rozwój pożaru mogą w sprzyjających warunkach samodzielnie ugasić pożar, jednak ich głównym zadaniem jest niedopuszczenie do powstania rozgorzenia – bardzo groźnego zjawiska, które zmienia charakter przebiegu pożaru ze spalania miejscowego na spalanie przestrzenne. Oczywiście przytłumienie pożaru, jaki zwykle spowoduje GAM w trybie automatycznym nie spowoduje, że pożar nie będzie się już rozwijał. Tylko całkowite ugaszenie pożaru może zagwarantować eliminację zagrożenia związanego z powstaniem rozgorzenia.

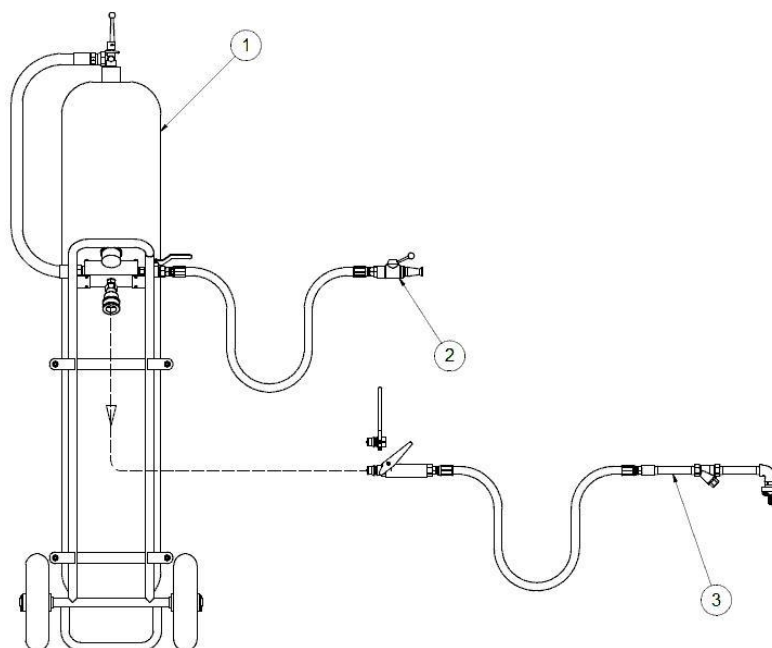
Niemniej zainstalowanie urządzeń gaśniczych GAM w najbardziej niebezpiecznych pożarowo punktach zabezpieczanego obiektu spowoduje spowolnienie rozwoju pożaru, co powinno umożliwić straży pożarnej przybycie na miejsce zdarzenia przed osiągnięciem przez pożar fazy rozgorzenia. Ta właściwość urządzenia może mieć w praktyce kluczowe znaczenie przy ratowaniu zabytków. W drewnianych obiektach zabytkowych swobodny rozwój pożaru następuje tak szybko, że w wielu przypadkach straż pożarna nie jest w stanie dojechać w czasie, który dawałby szansę na ugaszenie pożaru. Dzieje się tak nawet w przypadku otrzymania powiadomienia o pożarze bezpośrednio z monitoringu p.poż.

W trakcie zapewniania odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa pożarowego w obiektach zabytkowych jednym z priorytetów powinno być zachowanie, w miarę możliwości, oryginalnej konstrukcji obiektów oraz, jeśli to konieczne, ograniczona i przemyślana

ingerencja w substancję zabytkową. Należy, zatem dążyć do jak największej ochrony dóbr kultury, przy możliwie jak najmniejszej ingerencji w substancję zabytkową i przy racjonalnych kosztach. Rozwiązaniem, które w znacznej mierze spełnia powyższe warunki jest dwufunkcyjne gaśnicze urządzenie mgłowe – GAM.

GAM można wykorzystywać nie tylko w obiektach zabytkowych, ale również w innych obiektach np. hotelach, biurach, mieszkaniach, co niewątpliwie powinno przyczynić się, po upowszechnieniu tego rozwiązania, do globalnej poprawy bezpieczeństwa pożarowego.

Budowa i działanie GAM



Ryc. 37 GAM składający się z 2 modułów gaśniczych – mobilnego i stałego:

Moduły mobilne:

- 1 – moduł rozprowadzający do prądownicy;
- 2 – moduł zasilający.

Moduł na stałe przymocowany do obiektu zabezpieczanego:

- 3 – linia rozprowadzająca do głowicy

Sposób działania urządzenia GAM:

1. W przypadku, gdy pod wpływem temperatury otworzy się głowica automatyczna mgłowa będąca cały czas pod ciśnieniem (moduł 1) to nastąpi wypływ mgły wodnej z tej głowicy. Woda i tworząca się z niej mgła wodna jest wypychana ciśnieniem sprężonego gazu poduszki gazowej w butli. Generowana mgła wodna na głowicy mgłowej działa gaśniczo na pożar w promieniu ok. 1,5 m wokół głowicy. GAM pełni tu funkcję automatycznego urządzenia gaśniczego

2. W przypadku, gdy personel obecny na obiekcie odłączy poprzez szybkozłączkę od modułu 1 część mobilną GAM (czyli moduł 2 i 3); wówczas za pomocą wózka można przetransportować te dwa moduły w dowolne miejsce wystąpienia pożaru i tam za pomocą prądownicy gasić pożar – GAM pełni wówczas funkcję gaśnicy przewoźnej



Ryc. 38 Butla kompozytowa na wózku



Ryc. 39 Głowica mgłowa

Wnioski z badań

1. Uzyskane wyniki badań i testów pożarowych pozwoliły na potwierdzenie przydatności stosowania GAM do określonych aplikacji tj. w szczególności do pomieszczeń do wysokości 3 m, przy czym jeśli powierzchnia pomieszczenia chronionego jest zwarta (zbliżona do kwadratu) i wynosi nie więcej niż 9 m² to GAM w działaniu automatycznym powinno nie tylko powstrzymać fazę rozgorzenia ale powinno być w stanie ugasić z dużym prawdopodobieństwem rozwijający się pożar typowych materiałów stałych. W przypadku dodania do wody co najmniej 1% środka pianotwórczego typu AFFF, GAM powinno automatycznie ugasić pożar klasy B.
2. Wyniki badań wykluczyły zasadność stosowania GAM z głowicą z elementem termoczułym w pomieszczeniach wielko-kubaturowych, w szczególności pomieszczeniach z wysoko usytuowanym sufitem. Możliwość takiej aplikacji systemu GAM była podnoszona i przewidywana we wniosku do realizowanego projektu. Niestety wyniki badań podważyły zasadność stosowania GAM z głowicą z elementem

termoczułym w bardzo dużych pomieszczeniach, jakimi są np. typowe obiekty sakralne. Nie mniej zabezpieczanie GAM z głowicą z elementem termoczułym punktowych zagrożeń pożarowych w obiektach wielkokubaturowych będzie w wielu przypadkach zasadne i właściwe, nie mniej każde takie punktowe zagrożenie pożarowe (np., dekoracja ze słomy, papieru i innych materiałów łatwo zapalnych) powinno być indywidualnie przeanalizowane.

3. W niektórych aplikacjach, w których czas zadziałania elementu termoczułego głowicy GAM jest zbyt długi w stosunku do wymaganego czasu aktywacji, w szczególności w pomieszczeniach wielko-kubaturowych, zasadne będzie zastosowanie systemu GAM z głowicami otwartymi z aktywacją elektronicznym systemem detekcji pożaru i sterowania gaszeniem.
4. W pomieszczeniach o dużych powierzchniach może być uzasadnione zastosowanie kilku systemów GAM. Synchroniczne działanie tych systemów gwarantujące najlepszy efekt gaśniczy byłoby możliwe tylko przy ich integracji poprzez elektroniczny system detekcji pożaru i sterowania gaszeniem.
5. Na podstawie wyników badań własności mechanicznych, zmian barwy, zmian pH i innych na próbkach papieru, drewna, materiałów włókienniczych określono efekty stosowania wybranych modyfikatorów obniżających temperaturę krzepnięcia i środków gaśniczych z obniżoną temperaturą krzepnięcia. Wskazano środek Temper S-30 jako najwłaściwsze medium gaśnicze w GAM w obiektach narażonych na działanie temperatur ujemnych.
6. Przebadana szybkość otwarcia i czułość termiczna potwierdziły że głowice mgłowe z ampulką typu F1,5 typu „ultra fast” firmy JOB osiągają wartość $RTI = 15,73 (m \cdot s)^{1/2}$ co praktycznie jest szczytową wartością czułości termicznej tego typu urządzeń. Jakiegokolwiek próby modyfikacji głowicy GAM w kierunku poprawy szybkości reakcji mogą być możliwe tylko przy wykorzystaniu innych niż przewodność termiczna mechanizmów ogrzewania elementu termoczułego.
7. GAM może stanowić w wielu przypadkach alternatywę czy wręcz ekwiwalent hydrantów wewnętrznych. Istnieje szereg obiektów, w szczególności obiektów zabytkowych, w których poprowadzenie instalacji hydrantowej jest co najmniej problematyczne a w wielu przypadkach niemożliwe – czy to ze względów estetycznych, ekonomicznych, czy oddziaływania niskich temperatur. GAM w niewielkim stopniu ingeruje w strukturę budynku, może funkcjonować

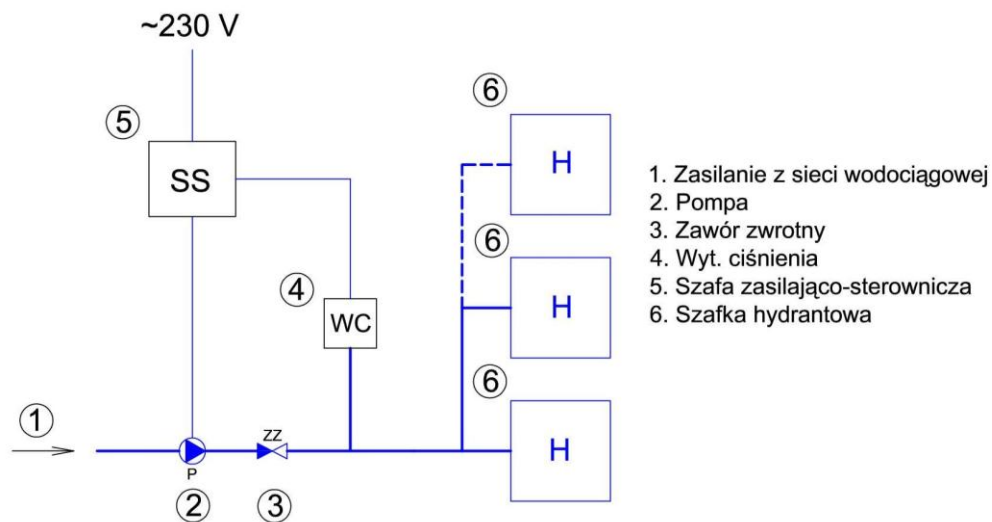
w temperaturach ujemnych a przy tym jest stosunkowo tanie w wykonaniu i eksploatacji, przez co w wielu przypadkach może stanowić godną rozważania alternatywę wobec hydrantów wewnętrznych.

8. Stwierdzono, że nie występują żadne przeciwwskazania, aby obiekty użyteczności publicznej, które z racji swoich funkcji oraz ryzyka wystąpienia pożaru i następstw takiego zdarzenia, podlegały dodatkowej ochronie z wykorzystaniem GAM.

Urządzenie to zostało nagrodzone kilkoma wyróżnieniami, z których najbardziej znamienitym jest Brązowy Medal CONCOURS LEPINE zdobyty podczas 111 Międzynarodowych Targów Wynalazczości „Concours Lépine”, które odbyły się w ramach Międzynarodowych Wielobranżowych Targów „Foire de Paris” w dniach 27 kwietnia – 08 maja 2012 roku.

8.2. SupoCerber Sp. z o o. – prezentacja „hydrantu mgłowego”

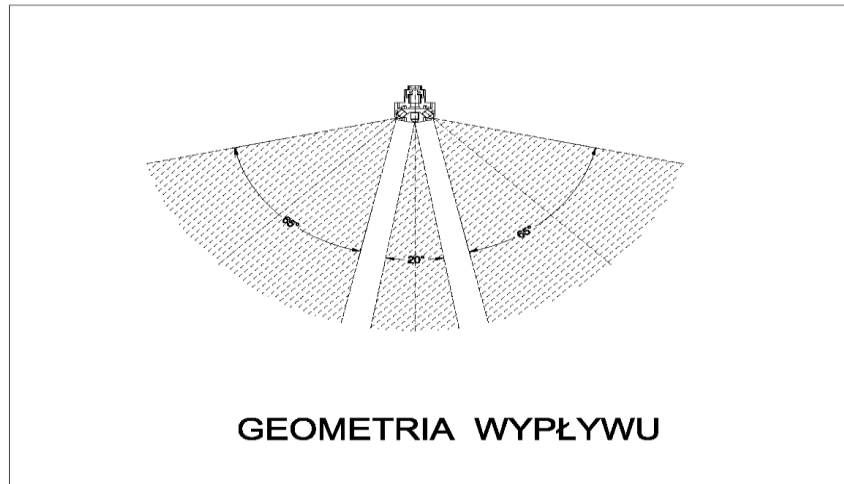
Opracowany przez **SupoCerber** hydrant mgłowy niskociśnieniowy nazwany FOGANT, w swej podstawowej wersji składa się z klasycznej szafki metalowej wyposażonej w wąż gumowy o średnicy wewnętrznej DN 15 i długości ok. 15 do 20 m nawinięty na szpulę i zakończony prądownicą z zaworem odcinającym i specjalnie opracowaną głowicą mgłową składającą się z 6 mikrodyz mgłowych o kącie wypływu 65 stopni i dyszy środkowej o kącie wypływu 20 stopni.



Ryc. 40 Schemat technologiczny instalacji hydrantowej FOGANT

Sposób podłączenia szafek hydrantowych pokazuje i wyjaśnia powyższy rysunek. Instalację hydrantową podłącza się do instalacji wodociągowej obiektu i wypełnia do zaworów w szafkach hydrantowych wodą o ciśnieniu 2 – 6 bar. Z chwilą otwarcia zaworu hydrantowego i uruchomienia prądownicy mgłowej następuje spadek ciśnienia co powoduje

zadziałanie ciśnieniowego włącznika, który załącza pompę podbijającą ciśnienie. Pompa jest tak dobrana, iż w przypadku zamknięcia zaworu hydrantowego wyłącza się po osiągnięciu ciśnienia 12 bar.



Ryc. 41 Geometria strumienia z prądownicy hydrantowej

Prądownica może być wyposażona w głowicę mgłową tzw. pustostozkową o parametrach j.n.;

Ciśnienie robocze - do 12 bar,

Przepływ - do 0,2 l/s,

Zasięg strumienia - do 7 m,

lub w głowicę mgłową pełnostozkową o parametrach j/n.;

Ciśnienie robocze - do 12 bar

Przepływ - do 0,3 l/s,

Zasięg strumienia - do 7 m.

Parametry przedstawione wyżej pozwalają na zastosowanie stosunkowo cienkich rur o średnicy do DN 25 a potrzeby wodne w całości mogą być zapewnione z normalnej sieci wody użytkowej. W związku z faktem, iż nominalne ciśnienie wody użytkowej nie przekracza ciśnienia 6 bar konieczne jest zastosowanie pompy podbijającej ciśnienie załączanej w chwili użycia hydrantu.



Ryc. 42 Przykładowy prąd mgłowy



Ryc. 43 Szafka z prądownicą mgłową

Opracowana głowica (mogą być również zastosowane w głowicy dysze spiralne) skutecznie tworzy kurtynę przed przenikaniem ciepła ze źródła ognia do osoby biorącej udział w akcji gaśniczej.

8.3. SupoCerber Sp. z o o. – prezentacja mgłowego agregatu gaśniczego

W ramach prac badawczych wykonano prototyp urządzenia gaśniczego przydatnego dla potrzeb jednostek straży pożarnej, szczególnie OSP gdzie pożary lasów, łąk i małych obiektów gospodarczych są bardzo częste. Prototyp oparto na zabudowaniu wentylatora o dużej przepustowości napędzanego silnikiem spalinowym zamontowanego osiowo. Celem zwiększenia mobilności urządzenia zamontowano agregat na klasycznej przyczepce samochodowej. Na koronie „działka” zamontowano dysze mgłowe. Woda jest podawana z samochodu strażackiego (może być dodatkowo aplikowana środkami pianotwórczymi jak np. AFFF) na dysze mgłowe, które podają zwarty szerokostrumieniowy prąd wodny na laminarny strumień wyrzucanego przez wentylator powietrza, który dodatkowo rozbija kropelki na mniejsze i zwiększa zasięg strugi mgłowej do 30 - 40 m.



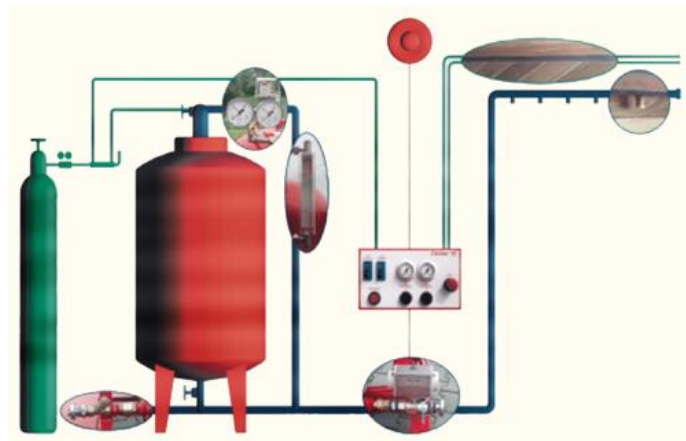
Ryc. 44 MAG w wersji mobilnej



Ryc. 45 MAG w działaniu

8.4. SupoCerber Sp. z o o. – prezentacja instalacji gaśniczej na mgłę wodną FOG

Instalacja jest dedykowana do zabezpieczania drewnianych obiektów zabytkowych w szczególności architektury sakralnej.



Ryc. 46 System gaśniczy „FOG”

System gaśniczy „FOG” jest układem w pełni autonomicznym i pozwala wykryć podwyższoną temperaturę i skierować strumień mgły wodnej ze swojego zbiornika zapasu wody w strefę zagrożenia pożarowego. System może również współpracować z istniejącymi automatycznymi instalacjami sygnalizacji pożaru zarówno na poziomie detekcji jak iysterowania. Rozpylenie wody dokonuje się w specjalnie zaprojektowanych dyszach przy stosunkowo niskich ciśnieniach w zakresie 4 - 10 bar. System składa się z czterech zasadniczych zespołów:

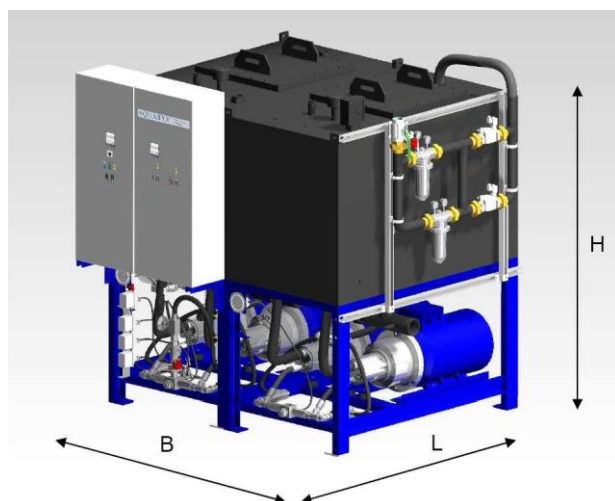
- zespołu detekcji,
- zespołu sterowania,
- zespołu zasilania wodnego i pneumatyki,
- zespołu instalacji rurowej wraz z niskociśnieniowymi dyszami mgłowymi.

8.5. Zabezpieczenia Przeciwpożarowe „Fire Stop” Sp. z o.o – prezentacja systemu mgły wodnej firmy Aquasys.

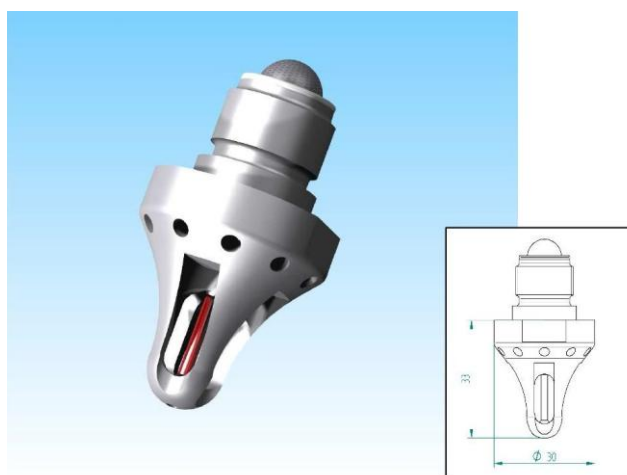
Do gaszenia tuneli kablowych, transformatorów, przestrzeni maszynowych i turbin gazowych, firma Aquasys zaprojektowała system mgły wodnej, który pozytywnie przeszedł testy skuteczności gaśniczej według wymagań austriackiego instytutu pożarnictwa IBS. Stosowanie mgły wodnej w

Zasilenie wodne systemu mgły wodnej jest realizowane za pomocą układu pompowego zasilanego elektrycznie. Ilość pomp zabudowanych na zestawie zależy od

wymaganej wydajności. Na zestawie zabudowana jest szafa zasilająco-sterownicza oraz pośredni zbiornik zapasu wody z układem filtrów.

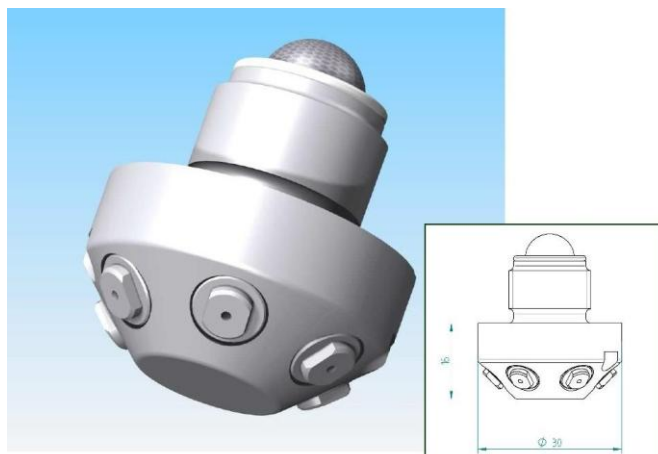


Ryc. 47 Układ pompowy



Ryc. 48 Głowica mgłowa automatyczna (z ampułką)

Dysza mgłowa automatyczna (z ampułką) lub otwarta (bez ampułki) zapewnia wytworzenie i rozprowadzenie mgły wodnej. Dysza wykonana jest ze stali nierdzewnej.



Ryc. 49 Dysza mgłowa otwarta (bez ampułki)

8.6. KZWM Ogniochron SA – prezentacja gaśnicy mgłowej

Unikatowa technologia wytwarzania mgły wodnej pozwala zminimalizować szkody powstałe w wyniku gaszenia pożaru. Doskonale nadaje się do gaszenia pożarów olejów i tłuszczu jadalnych, płonącej na ludziach odzieży, ważnych dokumentów i urządzeń. Skutecznie gasi nie pozostawiając śladów po użyciu środka gaśniczego.

Doskonale nadaje się do zabezpieczania obiektów użyteczności publicznej, zwłaszcza biur, archiwów, szkół, przychodni medycznych, kancelarii prawnych jak również pomieszczeń gastronomicznych i kuchni domowych.

Podstawowe cechy

- Ergonomiczna i łatwa w obsłudze.
- Szybka i skuteczna w gaszeniu.
- W pełni ekologiczna.
- Ekonomiczna w obsłudze serwisowej.
- Zawór odcinający za wskaźnikiem ciśnienia ułatwia kontrolę gaśnicy.
- Konstrukcja zaworu umożliwia czasowe przerwanie gaszenia.
- Możliwość wielokrotnego napełniania.
- Zbiornik gaśnicy na zewnątrz pokryty farbą poliestrową odporną na promienie UV, a wewnątrz specjalną powłoką antykorozyjną.



Dane techniczne GWM-6x AF

Skuteczność gaszenia	13 A 40 F
Masa środka gaśniczego	6 l
Czynnik roboczy	N ₂
Czas działania	12 s
Ciśnienie próbne zbiornika	27 bar

Ciśnienie robocze 12 bar
Zakres temperatur stosowania +5 oC / +60 oC
Masa całkowita 11,3 kg
Maks. napięcie gaszonego urz. 1000 V
Całkowita wysokość 772 mm
Średnica zbiornika 160 mm



Dane techniczne GWM-3x AF

Skuteczność gaszenia 8 A 25 F
Objętość środka gaśniczego 3 l
Czynnik roboczy N2
Czas działania 9 s
Ciśnienie próbne zbiornika 27 bar
Ciśnienie robocze 12 bar
Zakres temperatur stosowania +5 oC / +60 oC
Masa całkowita 6,5 kg
Maks. napięcie gaszonego urz. 1000 V
Całkowita wysokość 510 mm
Średnica zbiornika 160 mm

8.7. INSTAC Sp. z o.o. - prezentacja SUG typu HI-FOG® DAU firmy Marioff

Stałe urządzenie gaśnicze typu **HI-FOG® DAU** (Double-cylinder Accumulatory Unit) firmy Marioff.

Charakterystyka:

Autonomiczny system składający się z zestawu butli z czynnikiem napędowym (sprężony azot pod ciśnieniem 200bar) oraz podwójnej butli z zapasem środka gaśniczego (woda zdeminielizowana). Wyzwolenie urządzenia może nastąpić ręcznie lub automatycznie. Do dysz mgłowych podawana jest mieszanka azotu i wody pod wysokim ciśnieniem. Całkowity czas pracy do 10 min. Moduły gaśnicze w razie potrzeby mogą być łączone w większe zespoły.

Przeznaczenie:

1. Ochrona przestrzeni pod podłogami technicznymi w serwerowniach, przekaźnikowniach, pomieszczeniach telekomunikacyjnych itp. W tym zastosowaniu HI-FOG DAU oferuje dodatkową funkcjonalność „zmywania” dymu, osiągniętą poprzez wymuszony, jednokierunkowy przepływ mgły wodnej.
2. Ochrona kubaturowa przestrzeni właściwych w niewielkich pomieszczeniach komputerowych i telekomunikacyjnych.



Ryc. 50 Urządzenie Hi-FOG[®] DAU

8.8. INSTAC Sp. z o.o. - prezentacja SUG typu HI-FOG[®] GPU firmy Marioff.

Stałe urządzenie gaśnicze typu HI-FOG[®] GPU (Gas-driven Pump Unit) firmy Marioff.

Charakterystyka:

GPU jest autonomiczną jednostką pompową nie wymagającą zewnętrznego zasilania w energię elektryczną. Składa się z baterii wysokociśnieniowych butli z czynnikiem napędowym (azotem lub powietrzem) oraz pompy tłokowej stanowiącej oryginalne rozwiązanie firmy Marioff. Do zraszaczy lub tryskaczy podawana jest mieszanka gazu i wody, co skutkuje osiągnięciem mniejszych rozmiarów kropelek wody. W zależności od zastosowania możliwe jest zastosowanie zewnętrznego zbiornika z wodą lub zbiornika pośredniego. Wielkość zestawu GPU (ilość środka gaśniczego i butli z czynnikiem napędowym) może być dobrana w zależności od chronionej przestrzeni oraz projektowanego czasu gaszenia.

Przeznaczenie:

1. Ochrona tryskaczowa przestrzeni ZL zakwalifikowanych do klas zagrożenia LH oraz OH1.
2. Ochrona kubaturowa pomieszczeń przemysłowych o objętości do 1500 m³.
3. Ochrona lokalna urządzeń w przestrzeniach maszynowych (silników spalinowych, generatorów prądu, pomp, zbiorników z paliwem, przekładni mechanicznych i innych).
4. Zastosowania specjalne np. ochrona zamkniętych pomieszczeń turbin gazowych.



Ryc. 51. Jednostka pompowa typu GPU wraz z baterią butli azotowych

8.9. INSTAC Sp. z o.o. - prezentacja SUG typu HI-FOG[®] MAU firmy Marioff.

Stałe urządzenie gaśnicze typu **HI-FOG[®] MAU** (Machinery-Space Accumulatory Unit) firmy Marioff.

Charakterystyka:

Autonomiczny system składający się z zestawu butli z czynnikiem pędym (sprężony azot pod ciśnieniem 200bar) oraz butli z zapasem środka gaśniczego (woda zdemineralizowana). Wyzwolenie urządzenia może nastąpić ręcznie lub automatycznie. Do dysz mgłowych podawana jest mieszanka azotu i wody pod ciśnieniem kilkudziesięciu atmosfer. Maksymalna kubatura chroniona: do 260m³.



Przeznaczenie:

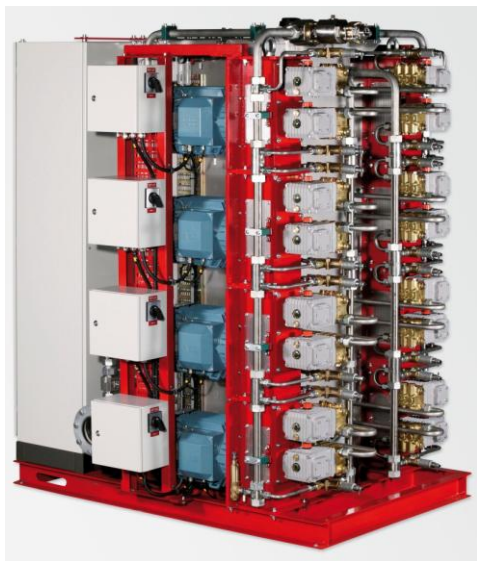
1. Zamknięte przestrzenie maszynowe wyposażone w: silniki diesla, generatory prądu, pompy oleju i paliwa, pompy wody, zbiorniki oleju, filtry paliwa, przekładnie napędowe, wały napędowe i inne.
2. Przestrzenie maszynowe o podwyższonym ryzyku – np. pomieszczenia do testów silników spalinowych.
3. Pomieszczenia turbin gazowych wraz z pomieszczeniami pomocniczymi.

8.10. INSTAC Sp. z o.o. - prezentacja SUG typu HI-FOG[®] SPU firmy Marioff

Stałe urządzenie gaśnicze typu **HI-FOG[®] SPU** (Sprinkler Pump Unit) firmy Marioff.

Charakterystyka:

Jednostka centralna typu SPU jest najbardziej uniwersalnym zestawem pompowym wykorzystywanym w urządzeniach mgłowych Hi-Fog[®]. Do zasilania pomp są wykorzystywane silniki elektryczne, których ilość może być dobrana do wymaganej wydajności zestawu. Istnieje również odmiana modułowa, pozwalająca na późniejszą rozbudowę (MSPU), oraz wersja napędzana silnikiem Diesla (SPU-D). Systemy oparte na jednostce SPU mogą składać się z praktycznie dowolnej liczby sekcji gaśniczych, których ilość jest ograniczona jedynie uwarunkowaniami chronionego obiektu. Możemy wyróżnić systemy tryskaczowe mokre, tryskaczowe suche, zraszaczowe oraz wstępnie sterowane.



Ryc. 52 Zestaw pompowy HI-FOG[®] SPU8



Ryc. 53 Modułarny zestaw pompowy MSPU-3

Przeznaczenie:

1. Ochrona tryskaczowa przestrzeni ZL takich jak: hotele, biura, sale konferencyjne, muzea i obiekty o dużym znaczeniu kulturowym, restauracje szkoły, szpitale, kościoły centra handlowe i inne.
2. Ochrona tryskaczowa garaży podziemnych.
3. Ochrona tryskaczowa magazynów.
4. Ochrona kubaturowa, przy pomocy zraszaczy przestrzeni maszynowych, przemysłowych i technicznych.
5. Zastosowania specjalne m.in.: tunele kablowe i rozdzielnie elektryczne, hangary lotnicze, pociągi, tunele drogowe, przewody wentylacyjne, transformatory wewnętrzne i zewnętrzne, smażalnie w przemyśle spożywczym, lakiernie i inne.



Ryc. 54 Tryskacz mgłowy typu C30 przeznaczony dla stref ZL

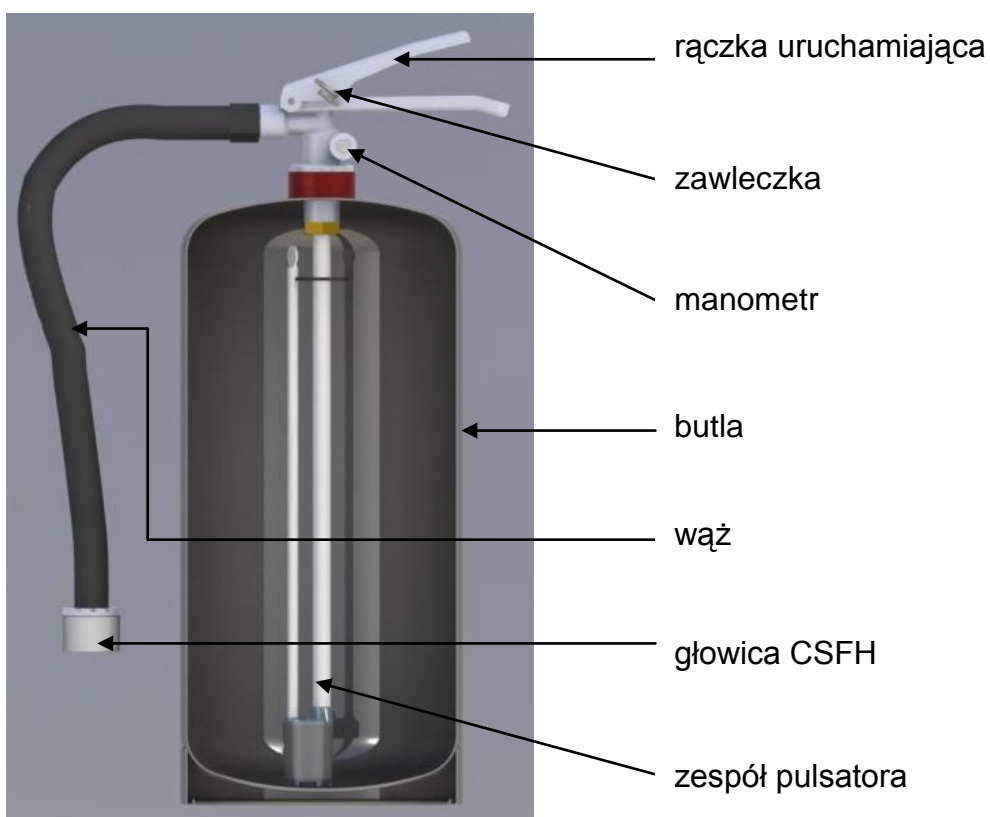


Ryc. 55 Głowica zraszaczowa typu 5S 1MC 8MC 1000 przeznaczona do ochrony przestrzeni maszynowych

8.11. Telesto Sp. z o.o. – prezentacja gaśnicy oraz agregatu mgłowego

Gaśnice oraz agregaty wodne mgłowe to cała rodzina rozwiązań przenośnych (przewoźnych) urządzeń gaśniczych opartych na systemie mgłowo-pulsacyjnym ROTOR. Unikalne, opatentowana technologia wytwarzania mgły wodnej o stałej wielkości kropeł $D_v \mu\text{m}$ przez cały czas pracy gaśnicy, z wykorzystaniem rotora i głowicy zderzeniowej (CSFH) pozwala na użycie gaśnicy do gaszenia pożarów olejów i tłuszczów jadalnych, płonących na ludziach odzieży, dokumentów itp. Urządzenia te polecane są do zabezpieczania indywidualnych stanowisk pracy, obiektów użyteczności publicznej, zwłaszcza biur archiwów, szkół jak również pomieszczeń gastronomicznych. Można również gasić urządzenia pod napięciem (do 1000 V z odległości 1 m).

Istnieje cały typoszereg gaśnic zależnie od ilości środka gaśniczego (wody): od 1 litrowych, aż po 27 litrowe (agregaty przewoźne).

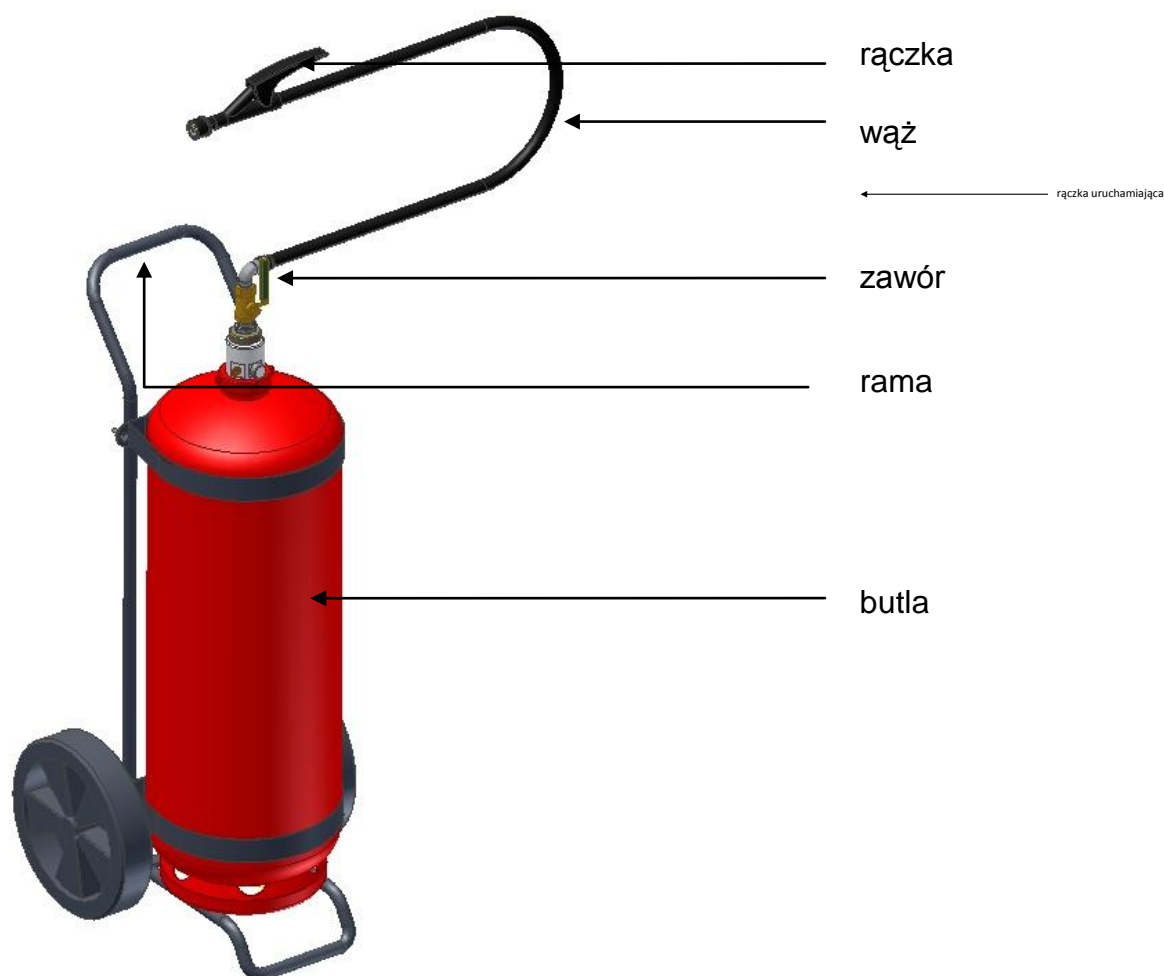


Ryc. 56 Budowa gaśnicy

Butla w połowie wypełniona jest wodą i dopełniona azotem pod ciśnieniem 12-15 bar. Gaśnicę należy używać tylko pionowo, w temperaturach dodatnich.

Gaśnice 3 i 6 kg spełniają wymagania normy europejskiej EN3 oraz Dyrektywy Bezpieczeństwa PED 97/23/EC. Dla całej grupy gaśnic mgłowych SIMP wystawił Opinię Techniczną. Producentem gaśnic jest KZWM Ogniochron S.A.(rozdział 8.6)

Największym z tej grupy urządzeń jest przewoźny agregat SGM-P ROTOR Telesto[®]. Ilość środka gaśniczego (wody) 27 litrów, ciśnienie robocze 15 bar, temperatura stosowania +5 ÷ +60°C, czas działania 200 sek.



Ryc. 57 SGM-P ROTOR Telesto[®]

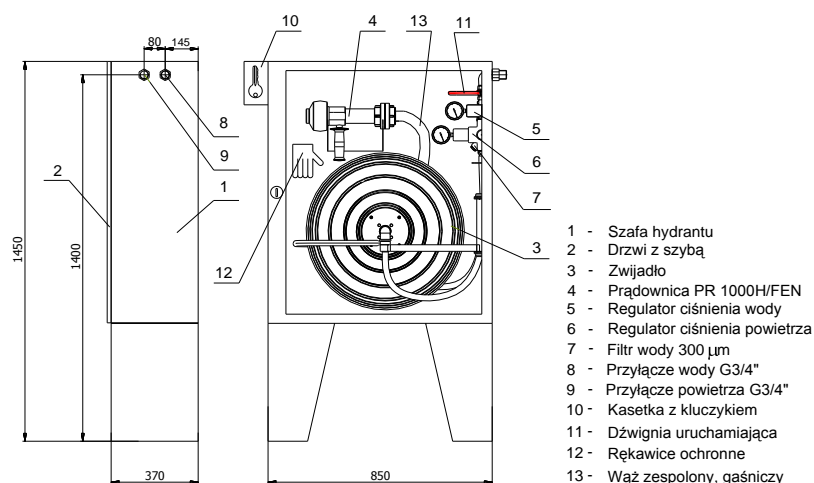
8.12. Telesto Sp. z o.o. – urządzenia gaśniczego wodno-mgłowego spełniające funkcję hydrantu wewnętrznego

Urządzenie gaśnicze wodno-mgłowe TG-2M jest odmianą wolno stojącego hydrantu zasilanego dwoma mediami: powietrzem (gazem) i wodą. Istotą systemu jest opatentowana głowica FEN[®] zamontowana w prądownicy. Dzięki niej gaz podawany pod niskim

ciśnieniem powoduje rozdrobnienie wody na krople o mikronowych wielkościach (20-55 μm) i nadaje powstałej mgłę energię kinetyczną. Prądownica wytwarza strumień mgły o długości 6-8 metrów i średnicy ok. 1,3 m. Wydatek wody zależnie od prądownicy i może wynosić od 9 do 14 litrów na minutę, wydatek gazu to ok. 3,5 m³/min. Urządzenie zaliczane jest do tzw. niskociśnieniowych: ciśnienie pracy dla obu mediów wynosi od 3 do 3.5 bara. Zalety gaszenia mgłą są podobne jak w innych dwumediowych systemach ppoż. f-my Telesto. Urządzenie gaśnicze wodno-mgłowe przeznaczone jest do gaszenia pożarów typu A, B, C i F. Można również gasić urządzenia pod napięciem stosując się do poniższych zaleceń:

- min. odległość 1 m urządzenia o najwyższym napięciu do 1 kV,
- min. odległość 1,4 m urządzenia o najwyższym napięciu do 36 kV,
- min. odległość 2,1 m urządzenia o najwyższym napięciu do 123 kV,
- min. odległość 4,1 m urządzenia o najwyższym napięciu do 245 kV.

Budowa urządzenia TG-2M.



Ryc. 58 Schemat urządzenia TG-2M

Urządzenie, w wersji podstawowej, wymaga zewnętrznego zasilania w gaz (powietrze) oraz wodę o określonych parametrach ciśnienia i wydajności. Woda powinna mieć czystość poniżej 300 μm wtrąceń mechanicznych.

Istnieją rozwiązania z zasilaniem autonomicznym (wbudowany jest zbiornik z wodą i butla z gazem), wtedy urządzenie działa przez określony czas (od 4 do 6 minut), ale jest niezależne od zewnętrznych źródeł zasilania – znajduje szerokie zastosowanie w archiwach, biurach, bibliotekach, magazynach itp.



Ryc. 59 Urządzenie gaśnicze wodno-mgłowe TG-2M

Urządzenie posiada Aprobatę Techniczną CNBOP nr AT-12-0240/2009 w.2 oraz Świadectwo uznania typu wyrobu PRS nr TM/1099/930049/09.



Ryc.60 Strumień mgły z prądownicy „hydrantowej”

9. WNIOSKI

1. W niniejszym opracowaniu omówiono szereg zagadnień pozwalających na lepsze zrozumienie zasad działania urządzeń gaśniczych mgłowych.
2. Właściwym źródłem szczegółowych wytycznych w zakresie projektowania, instalowania i eksploatacji SUG na mgłę wodną są odpowiednie normy projektowe. Należy w tym miejscu wymienić normę amerykańską National Fire Protection Association – NFPA 750 Standard on Water Mist Fire Protection Systems; 2010 Edition oraz przygotowane przez Europejski Komitet Normalizacyjny - Specyfikacje Techniczne tj.: *CEN/TS 14972:2008 Fixed Firefighting systems - Watermist system – Design and installations*
3. Opracowanie zawiera podstawowe informacje, jakimi powinien inżynier zaangażowany w technologie gaśnicze wykorzystujące mgłę wodną – w szczególności projektant oraz instalator stałych urządzeń gaśniczych mgłowych. Publikacja nie zawiera szczegółowych wytycznych w zakresie projektowania SUG na mgłę wodną. Wytyczne te wyznacza się w procesie dopuszczeń dokładnie wyspecyfikowanego systemu gaśniczego na podstawie odpowiednich testów pożarowych symulujących określoną aplikację.
4. Scenariusz przewidywanego pożaru określa dobór odpowiedniego SUG mgłowego o dość precyzyjnie określonych parametrach wytwarzanej mgły wodnej.
5. Projektowanie powinno być prowadzone w oparciu o wybraną, aktualną normę projektową i odnosić się ściśle do określonego, przebadanego urządzenia gaśniczego mgłowego
6. Technologia mgły wodnej dotyczy nie tylko stałych urządzeń gaśniczych mgłowych, ale szeregu innych urządzeń gaśniczych stacjonarnych i mobilnych i ich podzespołów, takich jak: gaśnice przenośne i przewoźne (agregaty gaśnicze), hydranty mgłowe (urządzenia gaśnicze mgłowe spełniające funkcję hydrantu wewnętrznego), prądownice i działka mgłowe, których stosowanie staje się coraz bardziej powszechne.

10. LITERATURA

1. Sprawozdanie merytoryczne z realizacji projektu w latach 2008 – 2010. Praca zrealizowana pod kierunkiem mł. bryg. dr inż. Dariusz Wróblewski w ramach projektu nr O R00 0040 04 finansowanego przez MNiSW. Badanie nad opracowaniem dwufunkcyjnego urządzenia gaśniczego mgłowego zapobiegającego wystąpieniu zjawiska rozgorzenia w obiektach zabytkowych.
2. Bocheński I, Wpływ ciśnienia wtrysku i lepkości oleju napędowego na proces rozpylenia paliwa w silnikach z ZS, Publikacje PAN oddział w Lublinie 17
3. CEN/TS 14972:2008 Fixed Firefighting systems - Watermist system – Design and installations.
4. Droplet breakup energies and formation of ultra-fine mist - www.nfpa.org - Adiga K.C.- NanoMist Systems, LLC.
5. Fire Protection Handbook – Eighteenth Edition - Water Mist Fire Suppression Systems - Mawhinney J., Solomon R., - National Fire Protection Association[®], 1996.
6. Fire Protection Handbook - Twentieth Edition - Water Mist Fire Suppression Systems – Mawhinney J. - National Fire Protection Association[®] 2008 - Quincy, Massachusetts.
7. Flashover and Nozzle Techniques – 2002 Paul Grimwood & CEMAC (Crisis & Emergency Management Center) www.Firetactics.com.
8. FM Approvals. Approval Standard for Water Mist Systems. Class Number 5560. March 2009 r.
9. Grimwood P., Desmet K.: Tactical Firefighting. A Comprehensive Guide to Compartment Firefighting & Fire Training. version 1.1, Firetactics, Cemas, January 2003 r.
10. IV Międzynarodowa Konferencja Bezpieczeństwo Pożarowe Budowli – Zbrożek P., Świetnicki J. Zastosowanie technologii mgły wodnej w zabezpieczeniach przeciwpożarowych, Częstochowa 2-3 października 2002 r.
11. KAMIKA Zakład Elektronicznej Aparatury Pomiarowej – AWK SYSTEM Analiza wielkości cząstek. KμK 1999 r.
12. NFPA 750 Standard on Water Mist Fire Protection Systems – 2010 Edition.
13. NFPA 750 Standard on Water Mist Fire Protection Systems – 1996 Edition.
14. Ochrona przeciwpożarowa w budownictwie –Tuzimek Z., Wnęk W. - Urządzenia gaśnicze na mgłę wodną - Wydawnictwo Informacji Zawodowej WEKA Warszawa 2002 r.

15. Orzechowski Z., Prywer J., Rozpylanie cieczy II wydanie WNT Warszawa 1991.
Orzechowski Z., Prywer J., Wytwarzanie i zastosowanie rozpylonej cieczy WNT Warszawa 2008 r.
16. Orzechowski Z., Prywer J., Zarzycki R., Mechanika płynów w inżynierii środowiska WNT Warszawa 1997 r.
17. PN-EN 12259-1:2005/A3:2010 Stałe urządzenia gaśnicze -- Podzespoły urządzeń tryskaczowych i zraszaczowych -- Część 1: Tryskacze.
18. PN-EN 15004-2:2008 Stałe urządzenia gaśnicze -- Urządzenia gaśnicze gazowe - Część 2: Właściwości fizyczne i system projektowania urządzenia gaśniczego gazowego na środek gaśniczy FK-5-1-12.
19. PN-EN 15004-4:2008 Stałe urządzenia gaśnicze -- Urządzenia gaśnicze gazowe - Część 4: Właściwości fizyczne i system projektowania urządzenia gaśniczego gazowego na środek gaśniczy HFC 125.
20. PN-EN 15004-5:2008 Stałe urządzenia gaśnicze -- Urządzenia gaśnicze gazowe - Część 5: Właściwości fizyczne i system projektowania urządzenia gaśniczego gazowego na środek gaśniczy HFC 227ea.
21. Rozporządzenie (WE) nr 842/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie niektórych fluorowanych gazów cieplarnianych (Dz. Urz. UE Nr L 161 z 14.6.2006).
22. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) Nr 1005/2009 z dnia 16 września 2009 r. w sprawie substancji zubożających warstwę ozonową (Dz. Urz. UE Nr L 286 z 31.10.2006).
23. Schick R., An Engineer's Practical Guide to Drop Size, Spraying Systems Co. 1997.
Szymczyk T., Rabiej S., Pielesz Tablice matematyczne fizyczne chemiczne astronomiczne, Wydanie IV, PARK 2001 r.
24. Ultra-fine water mist as a total flooding agent: a feasibility study - fire.nist.gov - AdigaK.C.- NanoMist Systems, LLC.
25. Water Mist for Protection of Heritage – Directorate of Cultural Heritage, Norway – COST Action C17 – Built Heritage: Fire Loss to Historic Buildings.
26. Zbrożek P. Architekt 2/08 str. 36-40- Stałe Urządzenia gaśnicze na mgłę wodną.
27. Zbrożek P. Działanie mgły wodnej w środowisku pożaru - Materiały ze Specjalistycznych Warsztatów CNBOP-PIB; Stałe Urządzenia Gaśnicze Mgłowe- Józefów 18.04. 2011 r.

28. Zbrożek P. Generatory aerozoli gaśniczych wytwarzanych pirotechnicznie - Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza nr 2006/2, wyd. CNBOP, Józefów 2006 r.
29. Zbrożek P., Prasula J. Wpływ wielkości średnic kropli mgły wodnej na efektywność tłumienia pożarów i chłodzenie - Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza nr 3/2009, wyd. CNBOP, Józefów, 2009 r.
30. Zbrożek P. - Gaśnica Automatyczna Mgłowa - Przegląd Pożarniczy 7/2011 str. 34-35.
31. Zbrożek P., Kielbasa T., Wpływ uregulowań unijnych dotyczących postępowania z F-gazami na ich stosowanie w gazowych urządzeniach gaśniczych – Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza nr 2011/1 (str. 105-116) wyd. CNBOP-PIB, Józefów 2011 r.
32. Materiały o produktach udostępnione przez firmy: SupoCerber Sp. z o.o., KZWM Ogniochron Sp. z o.o, Zabezpieczenia Przeciwpożarowe „Fire Stop” Sp. z o.o, INSTAC Sp. z o.o., Telesto Sp. z o.o.