

Dariusz Pietrzela, Katarzyna Skorupka, Daria Kubis

# Metody gaszenia tworzyw sztucznych stosowanych w konstrukcji środków komunikacji – czynniki wpływające na skuteczność gaśniczą

JEL: L62 DOI: 10.24136/atest.2019.018  
Data zgłoszenia: 15.12.2018 Data akceptacji: 08.02.2019

W artykule poddano analizie metody gaszenia materiałów z tworzyw sztucznych, głównie polimerowych, występujących w konstrukcji środków komunikacji publicznej tj. autobusy, tramwaje, pociągi, metro itp.. Omówiono charakterystykę palności i zachodzące reakcje rozkładu oraz skonfrontowano to z charakterystyką rozkładu drewna jako materiału wykorzystywanego zamiennie w testach gaśniczych według polskiej normy PN-EN 3-7 „Gaśnice przenośne - Część 7: Charakterystyki, wymagania eksploatacyjne i metody badań” ze względu na powszechne występowanie tych urządzeń gaśniczych w zarówno w autobusach jak i innych środkach komunikacji publicznej. Ponadto wskazano inne, metody gaszenia środków komunikacji wynikające z obecnych trendów tj. systemy aerozolowe oraz mgły wodnej. Skonfrontowano metody gaszenia wskazując ich wady, zalety oraz możliwości aplikacji w środkach komunikacji publicznej w tym autobusów .

**Słowa kluczowe:** bezpieczeństwo komunikacyjne, systemy gaśnicze, polimery, wysokociśnieniowa mgła wodna, generatory aerozolu, gaśnice.

## Wstęp

Pożary autobusów stają się coraz częstszym zjawiskiem na drogach stanowiąc zagrożenie dla życia i zdrowia ludzi. Obserwuje się regularne występowanie tego typu zdarzeń. Do zaobserwowania tego trendu nie trzeba mieć dostępu do szczegółowych statystyk służb takich jak Państwowa Straż Pożarna czy Policja, wystarczy w ogólnodostępnej wyszukiwarce internetowej wpisać hasło: „pożar autobusu”. Przegląd wyników wyszukiwania wylania informacje o pożarach autobusów z różnych Polskich miast, które miały miejsce w 2018 roku, a nagłówki mówią o „potwornej sile żywiołu” [13]. Federalna Agencja ds. Bezpieczeństwa Transportu Samochodowego Departamentu Transportu USA w listopadzie 2016 roku opublikowała raport, w którym dokonano analizy zdarzeń pożarowych autobusów na przestrzeni lat 2004 - 2013. Wyniki raportu wykazały, iż pożary autobusów dalekobieżnych zdarzały się średnio codziennie a pożary szkolnych autobusów występowały częściej niż codziennie (średnio 550 zdarzeń rocznie) [14].



Rys.1. Pożar autobusu MZK w Lubiczu, woj. Kujawsko-pomorskie, w dniu 10.10.2018 roku [13].

Na przestrzeni lat zwiększa się wykorzystanie materiałów polimerowych do produkcji pojazdów zastosowanie tworzyw polimerowych w konstrukcji pojazdów m.in. autobusów przyczynia się do zmniejszenia masy pojazdów i obniżeniu zużycia paliwa przy jednoczesnym zwiększeniu ilości palnych elementów wchodzący w ich skład. Tworzywa polimerowe oraz guma są produktami otrzymywanymi w procesie przetwórczym ropy naftowej, w związku z czym są materiałami palnymi lub nawet łatwopalnymi. Za zwiększenie obciążenia ogniowego autobusów odpowiadają m.in. polipropylen, polietylen, polichlorek winylu. W tabeli 1 przedstawiono elementy pojazdów i rodzaj polimerów, z których są produkowane [1]. Wzrost obciążenia ogniowego ma bezpośrednie przełożenie na szybkość rozwoju pożaru oraz czas niezbędny do całkowitego spalania palnych elementów jego wyposażenia.

Tab. 1. Tworzywa polimerowe w konstrukcji pojazdów [2].

Element	Stosowane tworzywa polimerowe
zderzak, spoiler	PP, PP/PE PP/EPDM + talk
Oslona deski rozdzielczej	HCPP, PP, ABS/PC
obudowa i klosz reflektora	PC, ABS
zbiornik płynów	HDPE, PE
obudowa i klosz kierunkowskazów	ABS, PMMA, PC
plyty drzwiowe, oslony, kieszeń	PP, ABS, PP/PE
kanaly i kratki wentylacyjne	PP, HDPE, ABS, PC+ABS
nadkole	PP
kolpaki	ABS, PA
podstawa tablicy rejestracyjnej	PS, PP
wykładzina podłogowa i bagażnika	PP, PES, PE
listwa boczna	PP
części wewnętrzne	HCPP
półka tylna i przednia	PP, PP/EPDM, ABS
obudowa filtra powietrza	PP T, PP/EPDM
fotele	PUR elastyczna

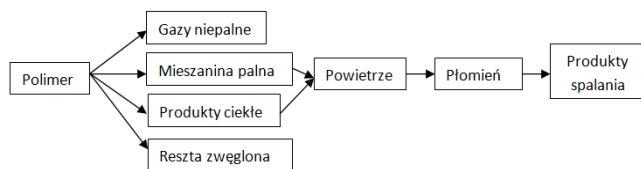
## 1. Spalanie materiałów polimerowych.

Spalanie polimerów jest procesem wieloetapowym. Dominującym mechanizmem w spalaniu polimerów jest mechanizm rodnikowy i mieszany. Płonący polimer jest złożonym układem spalania, w którym zachodzące reakcje chemiczne przebiegają w trzech współzależnych regionach: w fazie skondensowanej, na granicy faz oraz w fazie gazowej.

Spalanie polimeru przebiega na powierzchni i składa się z kilku etapów:

- ogrzewania,
- rozkładu,
- zapłonu,
- intensywnego spalania
- gaszenie.

Wieloetapowy proces spalania polimerów przedstawia poniższy schemat [3]:



**Rys. 2.** Schemat przebiegu wieloetapowego spalania polimerów, wg Troitzscha.

Podczas ogrzewania polimeru następuje uwalnianie energii skumulowanej w wiązaniach chemicznych polimerów, co przyczynia się do rozpoczęcia przemian chemicznych i zjawisk fizycznych. Skutkiem nagrzania polimeru może być również jego topnienie. Krople materiału, topiąc się, pochłaniają część energii cieplnej, co wpływa na obniżenie temperatury materiału, a więc na czas zapłonu i szybkość palenia. Topiące się krople polimeru mogą ulegać spalaniu i tym samym stanowić źródło rozprzestrzenienia się ognia. Poniżej 550°C pierwszorzędowy węgiel w polimerze przekształca się w niezależny konglomerat. Dalsze podwyższanie temperatury powoduje rozkład i pirolizę polimeru, kończący się gazyfikacją. Rozgrzana faza stała oddziela się od lotnych produktów gazyfikacji. W fazie gazowej wyróżniono strefę ciemną (podpłomieniową), płomieniową, w której zachodzi utlenianie oraz strefę produktów spalania. W strefie podpłomieniowej zachodzą procesy dyspergowania polimeru, a gazowe produkty ulegają kolejnym reakcją rozkładu. Podczas pożaru polimerów często obserwowany jest endotermiczny proces tworzenia sadzy. Powstała sadza spala się w strefie świecenia emitując światło. W produktach spalania oprócz sadzy występują również nieprzereagowane reagenty. Zgodnie z założeniem Levchik i Wilkie proces zwęglania polimeru obejmuje: sieciowanie, syntezę związków aromatycznych, tworzenie się karbonizatu oraz grafityzację.

Polimery spalają się płomieniowo lub bezpłomieniowo. Podczas spalania płomieniowego zarówno utleniacz, jak i paliwo są obecne w fazie gazowej. Większość polimerów bazuje na węglowodorach, stąd płomień nad palącym polimerem jest płomieniem węglowodorowym, a podstawowy mechanizmem przebiegu procesu spalania jest mechanizm rodnikowy. Głównymi rodnikami są H•, OH• i O• oraz niewielkie ilości HO2•, HCO• oraz CH3•. Polimery węglowodorowe wydzielają niewielką ilość dymu, co zmienia się w obecności grup aromatycznych.

Spalanie bezpłomieniowe (tłące, świecące) rozpowszechnia się w polimerze przez falę cieplną wywołującą pirolizę. Podczas spalania rozżarzonego wydziela się dwutlenek węgla, czemu towarzyszy pojawienie się płomienia. Zjawiska tego nie obserwujemy w spalaniu tłącym. Z tym rodzajem spalania spotykamy się najczęściej wśród polimerów o dużej powierzchni [4].

Na spalanie polimerów i materiałów polimerowych wpływa morfologia powierzchni polimeru, profile stężeniowe w każdym etapie spalania, wydzielane ciepło i jego odprowadzanie, jak również kształt i prędkość przemieszania się płomienia. Polimery spalają się płomieniem dyfuzyjnym, a proces dyfuzji jako zbyt powolny nie gwarantuje powstawania jednorodnej mieszaniny. Parametrami pozwalającym ocenić podatność polimerów na zapalenie się są m.in. temperatura zapłonu, indeks tlenowy, masy tlenu potrzebnego do zapłonu próbki w określonych warunkach [5]. Poniżej zostaną opisane procesy spalania materiałów polimerowych najczęściej stosowanych do konstrukcji autobusów.

### 1.1. Spalanie poliolefin (PP, PE).

Podczas ogrzewania poliolefiny ulegają destrukcji termooksydacyjnej, czemu towarzyszy tworzenie niewielkiej ilości monomerów, głównie węglowodorów. Początkowy etap rozkładu poliolefin

w niebieskim płomieniu przebiega powoli. Po ogrzaniu polimeru obserwowany jest wybuch, a płomień zmienia barwę na jasnożółta. Degradacja termiczna polipropylenu przebiega znacznie łatwiej niż polietylenu, co spowodowane jest obecnością 4-rzędowego atomu węgla w cząsteczce PP.

Podczas procesu destrukcji poliolefin o energii aktywacji 65-70 kJ/mol następuje pękanie wiązania pomiędzy atomami węgla w przypadkowych miejscach. Destrukcja polipropylenu zachodzi według mechanizmu mieszanego podczas którego makrorodniki powstałe w wyniku pękania łańcucha węglowego uczestniczą w reakcji przeniesienia centrum aktywnego na n-ty atom węgla w cząsteczce (sieciowanie). Produktami rozkładu termicznego są olefiny, parafiny węglowodorowe, związki cykliczne [6]

### 1.2. Spalanie polichlorku winylu (PCV).

Polichlorek winylu spala się zgodnie z mechanizmem mieszanym (rodnikowym i molekularnym). Temperatura istotnie wpływa na spalanie polichlorku winylu, im wyższa temperatura spalania tym większy udział mechanizmu rodnikowego.

W etapie wstępnym wydziela się chlorowódor, następnie polimer ulega karbonizacji z wydzieleniem wodoru. Tak uzyskany produkt przekształca się w węglowodory aromatyczne podczas wewnątrzcząsteczkowej cyklizacji oraz usieciowany nielotny produkt. Proces destrukcji zakłada jednocześnie sieciowanie i wewnątrzcząsteczkowy rozpad segmentów łańcucha w wyniku działania rodników polienowych [6]. Podczas spalania PCV wydzielają się dioksyny.

### 1.3. Spalanie poliuretanu (PU).

Poliuretany pozbawione antypirenow zaliczają się do materiałów łatwopalnych. Podczas spalania PU wydzielają się dymy i gazy toksyczne. Poliuretany rozkładają się w temperaturze powyżej 200°C, wraz ze wzrostem temperatury zwiększa się emisja cyjanowodoru oraz tlenu węgla. Podczas rozkładu wydzielają się również tlenki azotu i nityle. Pary izocyjanianu unoszą się, a ciekłe izocyjaniany ulegają dalszemu rozkładowi. W trakcie pirolizy w temperaturze ponad 100°C zaczynają pękać wiązania wodorowe w PU między atomami O, a HNH w grupie uretanowej. W temperaturze powyżej 200°C wydziela się cyjanowódor, acetylonitrylu, akrylonitrylu, propanonitrylu, benzonitrylu, aniliny, chinoliny pirol i inne. Benzoni-tryl powstały podczas pirolizy ulega dalszej destrukcji do HCN [8].

### 1.4. Spalanie drewna.

Drewno jako biopolimer również ulega spalaniu zgodnie ze schematem spalania polimeru. Zgodnie ze schematem spalania drewna wyróżnia się 4 etapy spalania drewna:

- nagrzewanie i suszenie,
- rozkład termiczny,
- spalanie produktów rozkładu termicznego,
- spalanie pozostałości.

W pierwszej fazie drewno ulega ogrzaniu i odparowaniu. Po całkowitym odparowaniu wody, która kumuluje ciepło, temperatura podnosi się do 200°C powodując wydzielanie gazów tj. dwutlenku węgla, tlenku węgla, kwasu mrówkowego oraz kwasu octowego. Pierwotne spalanie rozpoczyna się w temperaturze 400°C uwalniając dużą ilość energii i lotnych gazów, które nie uległy spalaniu w bezpośrednim kontakcie z płomieniem ze względu na niedobór tlenu. Gazy te spalają się w temperaturze 500°C w atmosferze tlenowej. Po uwolnieniu gazów w fazie stałej pozostają łańcuchy celulozy i ligniny [7]. Schemat spalania drewna przedstawia rysunek 3.

Etapy spalania węgla i drewna



Rys. 3. Schemat przebiegu spalania drewna [17].

## 2. Gaszenie proszkami gaśniczymi.

Jedynym dostępnym dla pasażerów komunikacji publicznej środkiem gaśniczym jest gaśnica przenośna wypełniona proszkiem gaśniczym ABC. Proszki ABC są to sole fosforanowe wytwarzające na powierzchni spalanego materiału powierzchnię izolującą paliwo (materiał palny) od utleniacza (tlen zawarty w powietrzu) przez co dławiają pożar.

Wymagania stawiane tym wyrobom określa norma PN-EN 3-7:2008 „Gaśnice przenośne – Część 7: Charakterystyki, wymagania eksploatacyjne i metody badań”. Do oceny skuteczności gaśniczej przeprowadza się testy gaśnicze. W laboratoriach CNBOP-PIB przeprowadza się badania parametrów techniczno-użytkowych gaśnic w celu spełnienia wymagań norm. Wśród najważniejszych badanych parametrów można wyróżnić: skuteczność gaśniczą, odporność na korozję zewnętrzną i wewnętrzną oraz czas działania. Parametrem determinującym efektywność gaśnicy jest głównie minimalna skuteczność gaśnicza. Określa ona odpowiednią wielkość pożaru testowego, jaki będzie mogła ugasić jedna gaśnica, a tym samym pozwoli osobie gaszącej skutecznie i optymalnie wykorzystać gaśnicę. Pomiar skuteczności gaśniczej wykonuje się poprzez pomiar czasu potrzebnego do ugaszenia pożaru testowego. Spełnienie wymagań normy wyrobu w zakresie skuteczności gaśniczej stwierdza się przy dwóch z trzech pozytywnych próbach. i po wyznaczonym czasie nie nastąpi nawrót palenia. Testy wykonuje się na określonych wielkościach pożarów testowych w zależności od grupy pożarowej[8, 9, 10].



Rys. 4. Pożar testowy grupy A (źródło: archiwum CNBOP-PIB).

Gaśnice powinny cechować się wysoką niezawodnością i skutecznością jednakże analizując charakterystykę spalania i rozkładu materiałów z tworzyw sztucznych można przypuszczać, iż testy gaśnicze wg. normy PN-EN 3-7:2008 pomijają tego typu materiały co prowadzi do sytuacji, w której jest wątpliwe czy osobie podejmującej próbę ugaszenia pożaru może się to udać. Jest to bardzo istotne zważając na to, że podręczny sprzęt gaśniczy jakimi są gaśnice przeznaczony jest do zwalczania pożaru w pierwszej fazie

rozwoju i może być użyty przez osoby, które bardzo często nie posiadają doświadczenia i odpowiedniego przeszkolenia.

Laboratorium Urządzeń i Środków Gaśniczych CNBOP-PIB przeprowadzało badania wpływu operatora na skuteczność gaśniczą gaśnicy. W tym celu zorganizowano grupę ochotników, których zadaniem było ugaszenie pożaru testowego zgodnie z normą PN-EN 3-7:2008. Norma definiuje wielkości pożarów testowych jakie powinna gasić dana gaśnica w zależności od jej ładunku nominalnego. Założono, że nieprzeszkoleni pracownicy będą gasić pożary testowe minimalne przeznaczone dla danego typu gaśnicy – w ocenie zespołu badawczego większość pożarów testowych powinna zostać ugaszona. Pośród grupy 10 ochotników tylko jednemu udało ugasić się przygotowany pożar testowy. Główne powody nie powodzenia testu to:

1. zbyt bliskie podejście do tacy,
2. niewłaściwe rozpylanie środka gaśniczego,
3. rozchłapywanie płonącego paliwa wokół tacy, a przez to tworzenie możliwości nawrotu palenia.

W badaniach użyto gaśnice o potwierdzonej skuteczności gaśniczej wobec pożaru testowego 113B. Zatem do badań wykorzystano gaśnice o wyższej skuteczności gaśniczej niż wykorzystano do badań test 70B. Potwierdza to, że umiejętności operatora w sposób znaczący wpływają na skuteczność gaśniczą gaśnic. Odpowiednio wytrenowany operator jest w stanie ugasić pożar o wielkości większej, niż ten do którego gaśnica jest przeznaczona. Przeprowadzone badania dowodzą również, iż w kontekście gaszenia materiałów polimerowych norma PN-EN 3-7:2008 powinna wymagać przeprowadzenia testów gaśniczych różnych materiałów polimerowych przed wprowadzeniem na rynek danej gaśnicy.

## 3. Automatyczne systemy aerozolowe.

Aerozole gaśnicze to układy dyspersyjne składające się z fazy rozproszonej w postaci małych cząstek substancji stałej oraz fazy rozpraszającej w postaci gazu. Wyróżnia się generatory wytwarzane w wyniku reakcji spalania oraz pneumatyczne jednak na rynku częściej spotkać można te pierwsze. Zasada działania generatorów polega na zainicjowaniu spalania ładunku pirotechnicznego poprzez impuls elektryczny. Ładunek pirotechniczny powoduje zapłon środka aerozotwórczego w postaci sprasowanego brykietu. W wyniku zainicjowanej reakcji spalania brykietu aerozotwórczego, następuje intensywne dymienie. Dym ten zawiera zarówno produkty spalania (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>) oraz aerozol gaśniczy.



Rys. 5. Zadziałanie generatora aerozolu gaśniczego inicjowanego pirotechnicznie (źródło: archiwum CNBOP-PIB).

Mechanizm gaśniczy aerozolu gaśniczego polega głównie na inhibicyjnym oddziaływaniu na łańcuchowe reakcje wolnorodnikowe zachodzące w płomieniu dlatego też skutecznie gaszą pożary cieczy. Dodatkowo dochodzi do odbierania ciepła przez cząstki stałe zawarte w aerozolu oraz wypierania tlenu przez dwutlenek węgla wytwarzany w wyniku reakcji spalania. Aerozol o projektowym

stężeniu gaśniczym najskuteczniej działa poprzez możliwie najszybsze wypełnienie przestrzeni, w której doszło do pożaru [11].

Generatory aerozolu badane są w CNBOP-PIB w celu wydania Krajowej Oceny Technicznej jako stałe urządzenia gaśnicze stosowane w budynkach, jednakże stosowane są też w komorach silników autobusów. Badania skuteczności gaśniczej wykonywane są na zgodność z raportem technicznym prEN 15276- 1 *Fixed firefighting systems - Condensed aerosol extinguishing systems – Part 1: Requirements and test methods for components*. W celu oceny skuteczności wykonywane są testy gaśnicze. Wymagane jest przeprowadzenie testu gaśniczego pożaru drewna, cieczy palnej (heptanu), oraz tworzyw sztucznych tj. polietylen, polistyren, polipropylen, polimetakrylan metylu, akrylonitryl-butadien-styren. Wymienione materiały polimerowe wykorzystywane są w konstrukcji środków komunikacji. W celu przeprowadzanie testu wg. raportu technicznego prEN 15276-1, wykorzystuje się cztery arkusze o wymiarach 400x200mm ( $\pm$  5mm). Arkusze nakładane są na rurki stalowe o średnicy 1,8 w stalowej ramie. Rama w raz z arkuszami polimerów ustawiona jest pod osłoną z blachy aluminiowej o grubości 2-3 mm. Następnie pod arkuszami ustawia się tacę z n-heptanem w celu zainicjowania spalania. Po czasie 210 sekund należy uruchomić generator aerozolu gaśniczego. Po zakończeniu działania generatora ocenia się czy spalany materiał został ugaszony Stanowisko przedstawiono na zdjęciu poniżej (rys.6) [12].



Rys. 6. Pożar testowy polietylenu [12].

Specjaliści CNBOP-PIB przeprowadzający badania generatorów aerozolu oceniają, iż spośród różnych aplikacji, aerozol powinien być bardzo skuteczny w gaszeniu min.: komór silników, generatorów elektrycznych, transformatorów elektrycznych, pożarów tuneli kablowych lub rozdzielnic elektrycznych.

Spośród wielu zalet aerozolu gaśniczego w kontekście środków komunikacji należy wyróżnić: dobrą efektywność gaszenia przy niskich stężeniach w porównaniu do innych środków gaśniczych tj. gaz FM-200, gazy obojętne, CO<sub>2</sub>, przez co nie wymagają dużej przestrzeni, brak skomplikowanych instalacji rurowych, zbiorników, urządzeń pomocniczych.

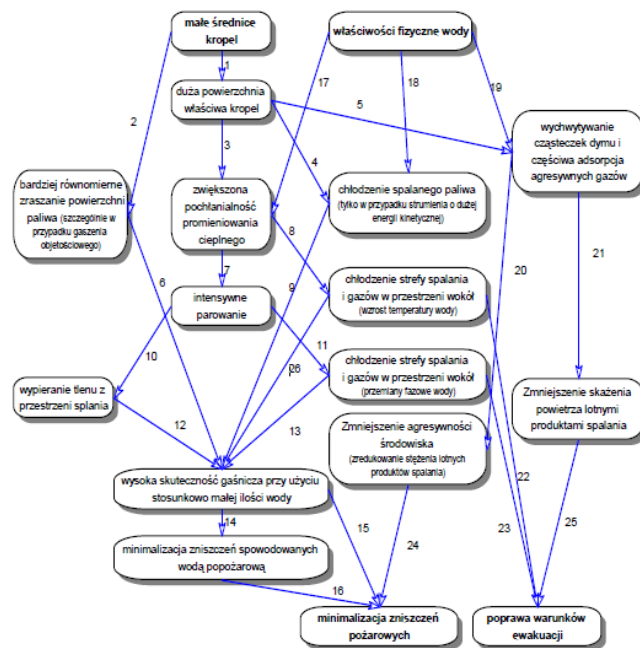
Podstawowe wady aerozoli gaśniczych wynikają z potencjalnych zagrożeń. Jak opisywano powyżej, wytworzenie aerozolu gaśniczego wiąże się ze spalaniem brykietu aerozolutwórczego, któremu towarzyszy znaczny wzrost temperatur zarówno obudowy generatora jak i strumienia aerozolu, które skutkować może oparzeniami. Ponadto zadziałanie aerozolu powodują znaczne ograniczenie widoczności [12].

#### 4. Systemy mgły wodnej.

W ostatnich latach obserwowane jest wysokie zainteresowanie systemami gaśniczymi mgłowymi. Ocenia się, iż jest to najintensywniej rozwijająca się technologia gaśnicza. Możliwości tych sys-

temów są bardzo szerokie i zależą od jakości podzespołów wchodzących w jego skład. Dzięki zdobytej wiedzy i poziomie technologii konstruktorzy wykorzystują systemy mgłowe do różnych zastosowań. Aplikacja ta nie jest używana jedynie w stałych urządzeniach gaśniczych, ale również w takich urządzeniach jak: hydranty mgłowe, podręczny sprzęt gaśniczy mgłowy, lance tnąco-gaśnicze, prądownice i działka mgłowe[13].

Mgła wodna jako środek gaśniczy wyróżnia się oddziaływaniem zarówno na samą reakcję spalania jak i oddziaływaniem na dym i gazy pożarowe. Mechanizm gaśniczy polega głównie na chłodzeniu palącego się materiału. Wynika to z wysokiej, w porównaniu do innych znanych środków gaśniczych, wartości ciepła właściwego wody tj. (4,18kJ×kg<sup>-1</sup>×K<sup>-1</sup>) oraz ciepła parowania (2240 kJ×kg<sup>-1</sup>). Mgła wodna dzięki wysokiemu stopniu rozdrobnieniu kropeł prowadzi do mniejszego zużycia wody oraz pozawala na większe rozproszenie co powoduje, iż skuteczniej trafia do strefy reakcji spalania. Ponadto w wyniku przemiany fazowej ciecz-gaz tj. wody w parę wodną, dochodzi do wypierania tlenu oraz pochłaniania ciepła bezpośrednio ze strefy spalania. Działanie to wynika ze zwiększania się objętości wody ponad 1600 krotnie i fizycznym wypieraniem powietrza, tym samym, zawartego w nim tlenu. Poniżej przedstawiono szczegółową analizę zależności wpływu mgły wodnej na pożar [13].



Rys. 8. Łańcuch zależności mgły oddziaływania mgły wodnej w środowisku pożaru [13].

Wyróżnia się systemy gaśnicze mgłowe wysokociśnieniowe (ciśnienie robocze 100-200 bar) lub niskociśnieniowe (ciśnienie robocze 10-40 bar). Ciśnienie ma zasadnicze znaczenie dla definiowania cech mgły wodnej: rozpylanie wody odbywa się w rzeczywistości na poziomie dyszy, a ciśnienie i natężenie przepływu są źródłem energii dostępnej do szczelinowania wody w celu wytworzenia mgielki o wysokim stopniu rozdrobnienia kropeł. Głównymi cechami charakterystycznymi dyszy, a zatem jakości wytwarzanej mgły wodnej są: natężenie przepływu, średnia wielkość kropeł. Jak wspomniano wcześniej, mgła wodna o wysokim stopniu rozdrobnienia kropeł charakteryzuje się większą powierzchnią właściwą przez co zapewnia lepszą wydajność chłodzenia i efekt inertyzacji przez odparowanie. Średnia wielkość kropeł jest więc cechą kluczową do oceny potencjału skuteczności gaśniczej danego systemu. Do przedstawienia jakości mgły często stosuje się rozkład Gaussa,

ponieważ średnia wielkość kropeł nie jest ustalona i unikalna w tych samych dyszach, ale przeciwnie, dysza wytwarza mgłę zawierającą kropelki o różnych rozmiarach. Ponadto ważnym parametrem jest odpowiednia energia kinetyczna kropeł. Wyższa energia kinetyczna pozwala na skuteczniejsze docieranie do ognia w najdalszych i najbardziej ukrytych przestrzeniach [13, 14].

Systemy gaśnicze mgłowe obecnie znalazły zastosowanie w transporcie morskim do gaszenia maszynowni statków, w lotnictwie do gaszenia luków bagażowych oraz w kolejnictwie do gaszenia zarówno przedziałów pasażerskich jak i silników. Główne cechy, dzięki którym systemy mgły wodnej są zalecane dla pokładowych systemów gaśniczych:

- przyjazny dla środowiska i nie szkodliwy dla pasażerów,
- silnie ograniczone efekty uboczne i uszkodzenia otaczającego sprzętu,
- najwyższy efekt chłodzenia w stosunku do jakiegokolwiek innego środka gaśniczego,
- skuteczność absorpcji cząstek dymu, co prowadzi do zwiększenia widoczności a tym samym poprawienia warunków ewakuacji,
- nie ma żadnych ograniczeń w użyciu i transporcie, inaczej niż np. gazy chemiczne zakazane lub poddawane stopniowym zakazom w wielu krajach.



**Rys 10.** Przykład zastosowania systemu mgły wodnej w przedziale pasażerskim pociągu [14].

Systemy wysokociśnieniowej mgły wodnej obecnie stosowane w środkach komunikacji składają się z: systemu wykrywania pożaru, zbiornika z azotem, zbiornika z wodą, zaworów sekcyjnych, systemu rur rozprowadzających, dysz. W momencie wykrycia pożaru lub uruchomienia systemu przyciskiem, następuje otwarcie zaworu z danej sekcji dysz umożliwiając przepływ medium gaśniczego do odpowiedniej dyszy znajdującej się w miejscu zadziałania czujki pożarowej. Następnie specjalny zawór otwiera zbiornik zawierający azot. W kolejnym etapie gaz przepływa do zbiornika z wodą podwyższając ciśnienie do ciśnienia roboczego i zostaje wtłaczana poprzez przewody rurowe do dysz rozpylających.

Wysokociśnieniowe systemy gaśnicze mgłowe stosowane są również do zwalczania pożaru silników diesla pociągów. Zastosowanie tych systemów do gaszenia w komorze silnika wynika głównie ze względu na wspomniane już stosunkowo małą średnią wielkość kropeł. Dominuje mechanizm wypierania tlenu z reakcji spalania, który potęgowany jest przez rozgrzane elementy. Mgła wodna pozwala na ograniczenie zniszczeń elementów silnika ponieważ chłodzenie następuje w sposób stopniowy. Argumentem przemawiającym za wykorzystaniem w tym przypadku systemów mgły wodnej jest skuteczność gaszenia pożarów cieczy palnych. W dolnej części silnika gromadzi się mieszanina oleju, paliwa

i brudu dlatego podczas projektowania systemu należy uwzględnić odpowiednie umiejscowienie dysz mgłowych w celu odpowiedniego docierania mgły do potencjalnych źródeł pożaru [14].

## Podsumowanie.

Pomimo podobnego schematu spalania drewna i polimerów należy pamiętać, iż temperatura spalania polimerów jest znacznie niższa od temperatury spalania drewna. Dodatkowo podczas topienia polimerów wydzielają się tzw. płonące kropelki, które są źródłem rozprzestrzeniania się ognia. W skład polimerów wchodzi pierwiastki, które podczas spalania uwalniają się z łańcucha węglowodorowego w postaci trujących gazów takich jak cyjanowodor i chłorowodor. Powszechnie wiadomo, że podczas spalania materiałów polimerowych wydzielają się również dioksyny. Choć badania informują o niewielkiej ilości toksycznych gazów w dymie powstający podczas spalania polimerów to jednak należy pamiętać o ich obecności. Mimo licznych korzyści wynikających z zastosowania materiałów polimerowych w konstrukcji pojazdów należy pamiętać że pożary współczesnych autobusów charakteryzują się większą dynamiką rozwoju i krótszym czasem spalania niż pożary autobusów w których polimery nie znalazły swojego zastosowania. W związku z powyższym należy przeanalizować czy norma PN-EN 3-7 wyczerpuje swoim zakresem pożary testowe z którymi może się spotkać użytkownik gaśnicy w środkach komunikacji publicznej.

Automatyczne systemy gaśnicze pozwolą wykluczyć obowiązek ludzi do podejmowania próby gaszenia co obniży ryzyko redukując prawdopodobieństwo narażenia. Jest to szczególnie istotne mając na uwadze, iż w momencie zagrożenia istnieje większe ryzyko niewłaściwego użycia gaśnicy.

Analiza wszystkich mechanizmów pozwala stwierdzić, iż z powodzeniem systemy gaszenia mgłą wodną można zastosować w środkach komunikacji publicznej. Obecnie znane są zastosowania systemów gaśniczych do ochrony taboru kolejowego jednakże w przyszłości mogą znaleźć zastosowanie w innych środkach komunikacji np. autobusy, tramwaje.

Systemy mgłowe mogą być wykorzystywane zarówno w przestrzeniach w których przebywają ludzie jak również do gaszenia wnętrza komór silnika pozwalając na kompleksową ochronę danego obiektu. Jest to ogromna zaleta w aplikacjach do środków komunikacji, które z natury są w ruchu i może dojść do sytuacji, w której pożar wydarzy się w miejscu trudno dostępnym dla ekip ratowniczych.

## Bibliografia:

1. Marciniak A. Analiza rozwiązań automatycznych systemów gaśniczych w pojazdach samochodowych, Autobusy 6/2018, Radom 2018.
2. Kulawik A, Machnicka-Hławiczka M, Mamos J, Steinhoff J., Recykling odpadów tworzyw sztucznych pochodzących ze zużytych samochodów, Główny Instytut Górnictwa w Katowicach. Publikacja opracowana w ramach projektu pt. „materiały polimerowe” 2010.
3. Janowska G., Przygocki W., Włochowicz A., Palność polimerów i materiałów polimerowych, Warszawa 2007, 36-39.
4. Huiqing Zhang, Fire-safe polymers and polymer composites, Washington 2004.
5. Porowski R., Wprowadzenie do analizy termicznej polimerów, Zeszyty Naukowe SGSP – Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Warszawa 2017, Nr 64/4/2017.
6. Janowska G., Przygocki W., Włochowicz A., Palność polimerów i materiałów polimerowych, Warszawa 2007, 139-145.
7. Pofit-Szczepeńska M., Wybrane zagadnienia z chemii ogólnej, fizykochemii spalania i rozwoju pożarów. SAPSP, Kraków 1994.

8. Mizerski A., Sobolewski M., Grynczel Z., Środki gaśnicze: własności i zastosowanie, Arkady, Warszawa 1968.
9. Łudzik A., Gaśnice: badania wybranych parametrów techniczno-użytkowych. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza, Józefów 2010, 41-50.
10. PN-EN 3-7: 2004 + A1: 2008 Gaśnice przenośne -- Część 7: Charakterystyki, wymagania eksploatacyjne i metody badań.
11. Kielbasa, T., Aerozole gaśnicze i ich generatory. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza, Józefów 2010, s. 73-91.
12. Zbrożek, P., Generatory aerozoli gaśniczych wytwarzanych pirotechnicznie. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza 2/4 Józefów 2006, s. 227-237.
13. Roguski J., Zbrożek P., Czerwieńko D., Wybrane aspekty stosowania w obiektach budowlanych urządzeń gaśniczych na mgłę wodną, Józefów 2012.
14. Barbagli M. "Theoretical and Practical Perspectives of Application of High Pressure Water Mist Systems for Railway Vehicles." Problemy Kolejnictwa 160, Warszawa 2013, s. 7-27.
15. [https://ddtorun.pl/pl/15\\_fotorelacje/475\\_wypadki/3947\\_srodowy\\_pozar\\_autobusu\\_mzk\\_w\\_lubiczu.html](https://ddtorun.pl/pl/15_fotorelacje/475_wypadki/3947_srodowy_pozar_autobusu_mzk_w_lubiczu.html) (dostęp: 22.11.2018)
16. <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/12392> (dostęp: 22.11.2018)
17. <http://czysteogrzewanie.pl/technika/spalanie-wegla-i-drewna-od-kuchni/> (dostęp: 24.11.2018)

---

### Methods of extinguishing plastics used in the construction of means of public transport - factors affecting fire extinguishing efficiency.

The article analyzes the methods of extinguishing plastic materials, mainly polymer ones, occurring in the construction of means of public transport, i.e. buses, trams, trains, metro etc. The characteristics of flammability and decomposition reactions were discussed and this was confronted with the characteristics of wood decomposition as an interchangeable material in extinguishing tests according to the Polish standard PN-EN 3-7 "Portable fire extinguishers - Part 7: Characteristics, performance requirements and test methods" due to the common occurrence of these firefighting devices in both buses and other public transport. In addition, other methods of extinguishing means of public transport resulting from current trends, i.e. aerosol systems and water mist, have been indicated. The extinguishing methods were confronted, indicating their advantages, disadvantages and application possibilities in means of public transport, including buses.

---

**Keywords:** traffic safety, extinguishing systems, polymers, high-pressure water fog, aerosol generators, fire extinguishers.

#### Autorzy:

mgr inż. **Dariusz Pietrzela** - Centrum Naukowo Badawcze Ochrony Przeciwożarowej – Państwowy Instytut Badawczy.

mgr **Katarzyna Skorupka**: Centrum Naukowo Badawcze Ochrony Przeciwożarowej – Państwowy Instytut Badawczy.

inż. **Daria Kubis**: Centrum Naukowo Badawcze Ochrony Przeciwożarowej – Państwowy Instytut Badawczy.