

dr inż. **Stefan WILCZKOWSKI**

**CNBOP**

**DZIAŁANIA INHIBICYJNE WYBRANYCH  
ZWIĄZKÓW CHEMICZNYCH STOSOWANYCH  
W ŚRODKACH GAŚNICZYCH**

**Inhibition effect of chemical compounds in selected  
extinguishing agents**

**Streszczenie**

W artykule przedstawiony został w zarysie aktualny stan wiedzy dotyczący procesów spalania materiałów palnych i mechanizmy procesów przeciwstawnych. Procesy przeciwstawne to oczywiście sposoby wygaszania płomieni. Omawianie tych procesów ograniczono do strefy spalania, ale ze szczególnym uwzględnieniem działań inhibicyjnych. Omówione zostały właściwości inhibicyjne wybranych soli i związków chemicznych.

**Summary**

The article outlines the current state of knowledge about combustion processes of inflammable materials and mechanisms of opposing processes. Obviously, the opposing processes are the ways of extinguishing flames. Describing these processes was limited to the combustion area but specially taking into consideration the inhibition effect.

The inhibition properties of several salts and chemical compounds were discussed.

**Słowa kluczowe:** procesy spalania, procesy gaszenia, rodniki, inhibicja, efektywność gaśnicza, mechanizmy gaszenia, związki chemiczne, środki gaśnicze;

**Key words:** combustion, extinguishing, radical, inhibition, extinguishing efficiency, chemical compounds, extinguishing agents;

### **Wstęp**

Poszukiwanie nowych, skuteczniejszych sposobów zwalczania pożarów jest przedmiotem ustawicznego zainteresowania ochrony przeciwpożarowej. Ważnym elementem tych poszukiwań są środki gaśnicze o lepszej skuteczności i szerszym zakresie stosowania.

Efektywność gaśnicza środków gaśniczych jest natomiast głównym elementem dynamizującym rozwój badań zmierzających do tego celu. Warunkiem niezbędnym do uzyskania postępu w tych badaniach jest pogłębianie wiedzy o mechanizmach spalania i inhibicji. Mimo prawie stuletnich prac, badacze i naukowcy odkrywają w tej dziedzinie wciąż nowe możliwości. Jest to, zatem proces ciągły, tak jak procesem ciągłym jest udoskonalanie i unowocześnianie całej ochrony przeciwpożarowej.

Badania nad poprawą efektywności gaśniczej środków gaśniczych są tylko jedną z wielu dróg prowadzących do lepszej ochrony ludności i ich mienia, nie mniej ważną.

### **Spalanie**

Nie można próbować opisywać mechanizmów gaszenia inhibicyjnymi środkami gaśniczymi bez omówienia, chociażby w zarysie, samych procesów spalania.

Palenie i pożary były w zakresie zainteresowania ludzkości od zarania dziejów, a badacze i naukowcy zajmowali się tą problematyką od dawna i zajmują do dnia dzisiejszego.

Ci dawniejsi to: R. Boyle, J. Dalton J. Rey, A.S. Margraf, J. Priestley, M. W. Łomonosow, L.B. Guyton de Moreau, A. Fourcroy.

Już w 1772 r. Francuz Antoine Laurent Lavoisier prowadził laboratoryjne badania nad spalaniem. Udowodnił swoimi doświadczeniami, że tlen łączy się ze spalającymi się substancjami. W 1777 roku ogłosił własną teorię spalania, w której sformułował twierdzenie, że „przyroda nie tworzy nic z niczego i materia nie może ginąć” znane jako zasada zachowania masy.

Kolejny badacz, Rosjanin Nikołaj Siemionow, znacznie później bo już w XX wieku, zajmując się procesami spalania, opracował znaczącą w tym czasie, teorię, zgodnie z którą „proces palenia polega na reakcjach łańcuchowych palnych reagentów”. Za te i inne naukowe prace Siemionow w 1957 otrzymał, wraz z innym badaczem, naukową nagrodę Nobla.

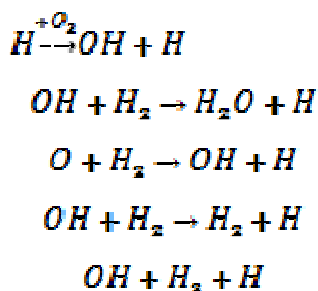
To zaledwie kilka nazwisk z ogromnej listy historii nauki o próbach dogłębnego poznania procesów spalania i gaszenia. Dzisiaj na ten temat wiemy znacznie więcej, chociaż nie wszystko. Wiemy, że znajdujące się w strefie spalania reagenty w postaci mieszaniny palnych gazów i par związków organicznych, a także wielu związków nieorganicznych, zmieszanych z tlenem

z powietrza, po zainicjowaniu odpowiedniej wartości zapłonem, wywołują powstanie płomieni i w konsekwencji kolejne fazy rozwojowe pożaru.

Zachodzące w płomieniu chemiczne reakcje typu osydoredukcyjnego powodują wytworzenie specyficznych dla pożarów warunków ekstremalnych. W tych ekstremalnych, zwłaszcza energetycznie, warunkach powstają rodniki, a wysoka temperatura jest tym elementem, który w sposób istotny sprzyja ich powstawaniu.

Dobrym przykładem przebiegu procesu spalania jest proces spalania wodoru.

Po zapoczątkowaniu reakcji przez impuls energetyczny przebieg tej reakcji jest następujący:



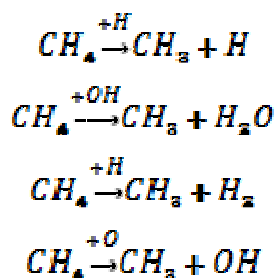
Reasumując:



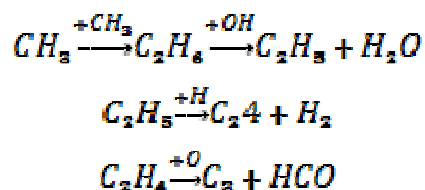
Jeden rodnik wodorowy po cyklu reakcji daje w końcowej fazie aż trzy nowe rodniki wodorowe zdolne do aktywnego oddziaływania na kolejne cząsteczki, w tym obojętne, co stanowi kolejny etap w łańcuchowym procesie spalania.

Kolejnym przykładem łańcuchowej reakcji spalania jest spalanie metanu. W wysokiej temperaturze płomieni metan ulega częściowemu rozkładowi z wydzieleniem rodnika wodorowego, a jednocześnie jest atakowany przez znajdujące się w jego otoczeniu inne również agresywne rodniki.

Proces ten można zapisać w sposób następujący:



I dalsze reakcje:



Proces spalania toczy się dalej.

## Rodniki

Rodniki, albo wolne rodniki, występują w strefie spalania i są produktami pośrednimi między kolejnymi reakcjami chemicznymi. Są to albo wolne atomy, albo fragmenty cząsteczek i są z reguły wynikiem długiego szeregu przemian w procesie o charakterze endotermicznym.

Bardzo dobrą, zdaniem wielu badaczy, jest współczesna dość precyzyjna definicja rodników, która mówi, że wolny rodnik to atom lub grupa atomów dysponujących jednym elektronem o nieskompensowanym spinie elektronowym.

Można też w uzupełnieniu tej definicji podać, że rodniki z reguły dysponują jedną nienasyconą wartością chemiczną, a ponadto zdarza się też, że cząsteczka zawiera dwa niesparowane elektrony.

Rodniki z uwagi na swą dużą aktywność są tworami bardzo nietrwałymi i natychmiast wchodzi w kolejne reakcje z innymi podobnymi cząsteczkami, ale też mogą reagować z obojętnymi cząsteczkami chemicznymi, rozrywając je.

Warunkiem powstawania nowych rodników jest więc odpowiednia energia zdolna do rozrywania wiązań chemicznych.

Podwyższenie średniej energii cząsteczek przez podgrzanie strefy spalania od kilkuset do 1000°C i więcej jest wystarczającym warunkiem, by w wielu cząsteczkach popękały wiązania, zwłaszcza wiązania słabe, a cząsteczki przekształcone zostały w wolne rodniki lub wolne atomy. W kolejności wolne rodniki przekształcają się w cząsteczki wieloatomowe, a wolne atomy w cząsteczki dwuatomowe i większe. Rodniki mogą też z powrotem rekombinować na nowe cząsteczki.

Z tego wynika, że spalanie, co należy podkreślić, przebiega etapami, w których udział biorą wysoko energetyczne atomy i mniejsze lub większe fragmenty cząsteczek chemicznych.

Spalanie można też zdefiniować jako „proces fizyko-chemiczny przebiegający z wydzielaniem ciepła i światła”, stąd widoczny płomień.

Szybkość spalania uzależniona jest od warunków panujących w strefie spalania,

a zwłaszcza uzależniona jest od temperatury.

Zależność szybkości spalania od temperatury podał Arrhenius i jest ona zgodna jego równaniem:

$$k = k_0 \times e^{-E_a/RT}$$

Gdzie:

$E_a$  - energia aktywacji (J/mol),

R - stała gazowa (8,314 J/K x mol),

T - temperatura (K),

$k_0$  stała szybkości (s<sup>-1</sup>)

W płomieniach, w wyniku zachodzących reakcji, mogą znajdować się bardzo różne rodniki, na co oczywiście ma wpływ skład wyjściowy materiału palnego. Przykładowo w płomieniach palących się węglowodorów występują takie rodniki jak: H, O, OH, HC<sub>2</sub>, CH czy CH<sub>3</sub>.

Podane wyżej informacje dotyczące procesów spalania uwzględniały sytuację, w której wszystkie składniki biorące udział w spalaniu występują w tej samej postaci, w postaci gazowej, a więc były to układy homogeniczne.

Do tej postaci materiały palne, w zależności od stanu skupienia, są doprowadzane w różny sposób: stałe materiały palne poprzez rozkład pirolityczny, ciekłe przez odparowanie, a gazowe ten stan już posiadają.

## Inhibicja

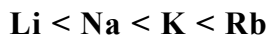
Poważne prace badawcze dotyczące poznawania mechanizmów oddziaływania proszków i halonów gaśniczych na procesy spalania prowadzone były (i są nadal) od lat sześćdziesiątych ubiegłego stulecia. Z licznych publikacji na ten temat wynika, że proszki gaśnicze i halony są bardzo efektywnymi środkami gaśniczymi. Te dobre efekty gaśnicze proszki i halony, a obecnie zamienniki halonów, zawdzięczają właściwościom inhibicyjnym.

**Inhibitorami procesów spalania w proszkach gaśniczych są rozdrobnione sole nieorganiczne zawierające w swym składzie odpowiednie metale alkaliczne.**

Wracając do proszków gaśniczych należy podkreślić, iż z wielu różnych soli posiadających właściwości inhibicyjne jest tylko kilka, w których te właściwości są szczególnie mocno zaznaczone, a mianowicie są to: kwaśny węgiel sodowy (NaHCO<sub>3</sub>), kwaśny węgiel

potasowy (KHCO<sub>3</sub>) i szczawian potasowy (K<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>).

Badania porównawcze wskazują, że efektywność gaśnicza soli określonych metali z tym samym anionem jest różna i rośnie w następującej kolejności:



Stwierdzono również, że skuteczność gaśnicza związków tego samego metalu związanego z różnymi anionami też jest różna i zmniejsza się w sposób następujący:

**szczawian > cyjan > węglan > jodek > bromek > chlorek > siarczan > fosforan**

Z powyższych zestawień wysnuć można szereg interesujących spostrzeżeń i wniosków. Między innymi także ten, że najbardziej skutecznym proszkiem gaśniczym byłby proszek zawierający w swym składzie szczawiany.

Wysoka skuteczność gaśnicza szczawianów wynika z faktu, że związek ten w wysokiej temperaturze płomieni ulega rozkładowi wydzielając duże ilości dwutlenku węgla, który rozcieńcza strefę spalania, przy jednoczesnym oddzieleniu się dwóch aktywnych atomów metalu, które przecież również biorą udział w wychwytywaniu rodników i hamowaniu procesów spalania.

Przebieg tej reakcji jest następujący:



Z uwagi jednak na bardzo silne właściwości toksyczne, szczawiany nie mogą być stosowane do produkcji proszków gaśniczych.

Bardzo skutecznym proszkiem gaśniczym, to kolejny wniosek, byłby proszek zawierający w swym składzie rubid (Rb). Jednak ten metal, z uwagi na bardzo wysoką cenę, też nie znalazł się wśród surowców stosowanych przy produkcji proszków przeznaczonych do gaszenia pożarów.

Kolejny wniosek to ten, że proszek gaśniczy zawierający w swym składzie potas (K), w połączeniu z kwaśnym węglanem powinien być bardzo skuteczny przy gaszeniu ognia i tak właśnie jest.

Proszek zawierający kwaśny węglan potasu (KHCO<sub>3</sub>) jest jednym z najbardziej efektywnych i skutecznych proszków gaśniczych. Na skuteczność gaśniczą proszku ma wpływ

jego rozdrobnienie. Logicznie dedukując, im proszek jest bardziej rozdrobniony, tym jego efektywność gaśnicza powinna być wyższa. Zjawisko to można byłoby wytłumaczyć w następujący sposób: im proszek jest bardziej rozdrobniony, tym jego ogólna, sumaryczna powierzchnia wszystkich ziarenek jest znacznie większa, a tym samym powierzchnia kontaktu między proszkiem a wolnymi rodnikami w płomieniu jest bardziej ułatwiona. Ponadto mniejsze ziarenka proszku w wysokiej temperaturze płomieni powinny rozpadać się szybciej i szybciej odparowywać, a tym samym łatwiej uwalniać wolne metale co powinno skuteczniej neutralizować większą liczbę wolnych rodników. Proces spalania zostałby skutecznie wyhamowywany.

Jednak w praktyce okazuje się, że zbyt daleko posunięte rozdrobnienie ziarenek nie sprzyja dobremu gaszeniu. Zbyt małe ziarenka proszku są porywane przez wznoszące się gorące strumienie rozgrzanych gazów, unoszone na zewnątrz i nie biorą udziału w procesie gaszenia. Musi więc być zachowany pewien kompromis, proszek powinien być rozdrobniony ale do pewnej granicy. Dalsze jego rozdrobnienie spowoduje mniejszą penetrację w głąb strefy spalania.

Badania eksperymentalne wykazały, że najskuteczniej gaszą proszki, oczywiście o tym samym składzie chemicznym, które posiadają dużą frakcję ziaren o wielkości od 15 do 35 mikrometrów.

Powyższe uwagi dotyczą rozdrobnienia proszku, wielkości ziaren i ich wpływu na skuteczność gaśniczą proszków przeznaczonych do gaszenia pożarów grupy „B” i „C”.

W przypadku proszków przeznaczonych do gaszenia pożarów grupy „A” i „D” wielkość ziaren nie odgrywa tak znaczącej roli, gdyż wpływ inhibicji w procesie gaszenia tych grup pożarów jest znikomy.

W produkcji proszków gaśniczych bardzo interesującym, innowacyjnym przedsięwzięciem mających na celu przede wszystkim zwiększenie ich skuteczności gaśniczej, było opracowanie i wdrożenie do praktyki przemysłowej produkcji proszku mocznikowo węglanowego. Istotą pomysłu była kondensacja kwaśnego węglanu potasowego z mocznikiem w podwyższonej temperaturze i przy znacznie podwyższonym ciśnieniu. Tak powstały półprodukt, po ostudzeniu, mielono i wraz z dodatkami, nadającymi stosowne dla proszków gaśniczych właściwości, jak płynność, odporność na zawilgocenie i zbrylanie, powstawał odpowiedni produkt.

Proszki mocznikowo-węglanowe przeznaczone są do gaszenia pożarów grupy „B” i „C”. Ich struktura rozdrobnienia i dyspersja różni się jednak znacząco od pozostałych proszków węglanowych. Ziarenka proszków mocznikowo-węglanowych są znacznie większe. Dlatego też posiadają większą energię kinetyczną nadawaną im przez czynnik generujący strumień proszku. Dzięki takiemu układowi szybciej i głębiej przedostają się do strefy spalania. W strefie spalania proszek mocznikowo-węglanowy w bardzo krótkim czasie ulega przeobrażeniu. Przeobrażenie to

polega na tym, że w sposób błyskawiczny odbywa się proces przeciwny do procesu wytwarzania proszku. Przy ciśnieniu atmosferycznym panującym w momencie gaszenia ognia, a więc niskim w porównaniu z wysokim ciśnieniem panującym w autoklawie w momencie jego wytwarzania, i w wysokiej temperaturze płomieni, ziarenka proszku węglanowo - mocznikowego błyskawicznie rozpadają się na znacznie drobniejsze, co znacząco zwiększa powierzchnię kontaktu między reagentami, a dzięki posiadanemu w swym składzie bardzo aktywnemu potasowi skutecznie atakują znajdujące się w strefie spalania rodniki. Proces spalania ulega gwałtownemu zahamowaniu, płomień zanika i pożar zostaje ugaszony.

Interesujące jest zestawienie skuteczności gaśniczej trzech węglanowych proszków gaśniczych posiadających różne bazy chemiczne, z których są zbudowane i przeznaczonych do gaszenia pożarów grupy „B” i „C”.

Za wartość skuteczności gaśniczej przyjęto ilość proszku gaśniczego w kilogramach zużytego na ugaszenie testowego pożaru o wymiarach jednego metra kwadratowego i wysokości również jednego metra.

Na ugaszenie wyżej opisanego testowego pożaru zużyto:

- proszku zawierającego kwaśny węglan sodowy - 2,5 — 3,0 kg
- proszku zawierającego kwaśny węglan potasowy - 1,5 - 2,0 kg
- proszku mocznikowo-węglanowy (z kw. węglanem potasowym) - 0,5 - 1,0 kg

Zatem skuteczność gaśnicza proszku mocznikowo-węglanowego potasowego jest dwukrotnie wyższa od skuteczności proszku węglanowo-potasowego i aż trzykrotnie wyższa od skuteczności proszku węglanowego sodowego.

W procesie gaszenia pożarów proszkami gaśniczymi wyróżnić można wiele elementów hamujących procesy spalania. Są to między innymi:

- schładzanie strefy spalania przez strumień podawanego proszku;
- częściowy rozkład składników proszku;
- częściowe odparowanie składników proszku;
- rozcieńczanie strefy spalania przez powstający dwutlenek węgla i parę wodną;
- inhibicja procesów spalania przez alkaliczne atomy metalu.

Na podstawie dotychczasowych badań nie ustalono precyzyjnie, który z tych wymienionych elementów, w ujęciu procentowym, oddziałuje na proces gaszenia.



W procesie gaszenia pożarów chlorowcopochodnymi (halonami i zamiennikami halonów) głównymi elementami gaśniczymi są:

- schładzanie strefy spalania przez strumień podawanego halonu;
- rozcieńczanie strefy spalania wprowadzonym halonem;
- inhibicja procesów spalania przez atomy chlorowców.

Analogicznie, jak w przypadku gaszenia ognia proszkami gaśniczymi tak i w przypadku gaszenia halonami, efekt schładzania płomieni przez wprowadzenie strumienia halonu jest niewielki i nie odgrywa większej roli w tym procesie.

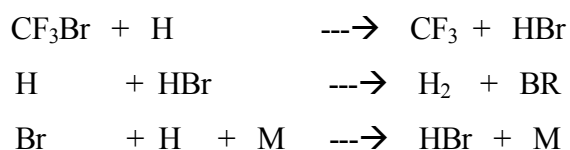
Inhibitorami procesów spalania halonów i zamienników halonów są poszczególne chlorowce. Przy czym efektywność gaśnicza poszczególnych halonów jest różna i uzależniona od występującego w nim chlorowca. Przy tym samym ułamku molowym halonu skuteczność ta układa się w następujący szereg:

**fluorki << chlorki < bromki << jodki**

Właściwości gaśnicze halonów zależą od składu i budowy strukturalnej, a w szczególności od doboru chlorowców. Wprowadzone w strefę spalania halony szybko reagują z wolnymi rodnikami.

Przykładem tego stwierdzenia może być proces gaszenia płomieni przy pomocy halonu o nazwie bromotrójfluorometan (halon 1301).

Reakcja przebiega następująco:



Na podstawie odpowiednich pomiarów stwierdzono, że poszczególne atomy chlorowców są połączone z atomami węgla stosunkowo słabymi wiązaniami. Jednocześnie stwierdzono, że wartości liczbowe tych wiązań są zróżnicowane i wahają się w granicach od 0,16 MJ/mol dla wiązania między atomem węgla a atomem jody do 0,43 MJ/mol dla wiązania między atomem węgla a atomem fluoru.

Pełen zestaw energii wiązań między poszczególnymi atomami wchodzącymi w skład halonów przedstawia się następująco dla wartości określonych w temperaturze 25° C.

<b>Wiązanie:</b>	<b>Wartość:</b>
C - F	0,43 MJ/mol
C - Cl	0,25 MJ/mol
C - Br	0,22 MJ/mol
C - J	0,16 MJ/mol

Jest więc pewna korelacja między energią wiązań między chlorowcami i atomami węgla, a skutecznością gaśniczą halonów.

Natomiast obserwacje makroskopowe gaszenia pożarów halonami pozwoliły na sformułowanie szeregu następujących stwierdzeń:

- efektywność halonów i ich zamienników zależy od występującego w nim atomu chlorowca;
- w obecności halonowych inhibitorów wzrost temperatury płomieni rozpoczyna się później w stosunku do płomieni nie inhibitowanych;
- inhibitory halonowe są bardziej efektywne w płomieniach bogatych w paliwo;
- efektywność inhibitora halonowego rośnie wraz z ilością wprowadzanych atomów bromu w chlorowodorach zawierających brom i w halonach zawierających atomy fluoru;
- przy zawartości halonu w mieszaninie paliwo-halon powyżej 70% wagowych mieszanina staje się niepalna;
- trójfluorobromometan jest skutecznym inhibitorem tylko w obecności tlenu jako utleniacza;
- halony, chlorowce i halogenowodory obniżają szybkość spalania;
- ostatecznymi produktami rozkładu halonów w gazach spalonych mogą być HX i X, gdzie X to atom chlorowca;
- istnieją zwolennicy wyłącznie fizycznego mechanizmu działania halonów, ale też rozważane są dwie inne opcje – mechanizmu mieszanego chemicznego i fizycznego z przewagą efektu fizycznego i mechanizmu chemicznego, że halony działają przez wychwytywanie wolnych rodników oraz katalizowanie ich rekombinacji.

Opisy prawdopodobnych mechanizmów inhibicji uzyskano poprzez badania spektrometrii masowej, pomiary szybkości spalania, badania profilów temperaturowych w płomieniach, po przez badania składu gazów spalinowych i wiele innych.

Podsumowując rozważania na temat mechanizmów inhibicji płomieni halonami, należy zauważyć, że zmniejszenie któregokolwiek z rodników: H, OH czy O zawsze będzie działało na rozgałęzienie łańcucha reakcji spalania.

Nie można też zapominać o efektach fizycznych, które również towarzyszą zjawiskom chemicznym.

Halony gaśnicze typu 1211 i 1301 były szeroko i chętnie stosowane w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych ubiegłego stulecia z uwagi na swe doskonałe właściwości fizyczne, a zwłaszcza wysoką skuteczność gaśniczą i niską toksyczność. Stosowane były w gaśnicach, agregatach, stałych urządzeniach gaśniczych, a nawet do zabezpieczania potężnych portowych zbiorników na ropę z dachami pływającymi.

W 1974 r. S. Rowland i M. Molina opublikowali teorię, w myśl której halony gaśnicze w stratosferze, pod wpływem działania promieni ultrafioletowych ulegają rozpadowi. Konsekwencją rozpadu halonów jest powstawanie wolnych atomów chlorowców, które agresywnie atakują ozon. Wykazano, że jeden atom chloru może zniszczyć sto tysięcy cząsteczek ozonu w cennej dla życia biologicznego na ziemi warstwie ochronnej.

Ubytek warstwy ozonowej mógłby mieć istotny, destrukcyjny wpływ na życie ryb i planktonu w płytkich wodach, a u ludzi powodowałby wzrost zachorowań na złośliwe postacie raka skóry.

W tej sytuacji, na konferencji wiedeńskiej w 1985 roku przedstawiciele 46 państw podpisali stosowny protokół, w myśl którego zobowiązali się do radykalnego obniżenia produkcji i stosowania halonów, w tym halonów gaśniczych. W sprawie dalszych ograniczeń produkcji i stosowania halonów przedstawiciele potęg przemysłowych, ale i innych państw, spotykali się jeszcze wielokrotnie na różnych kontynentach.

W miejsce klasycznych halonów gaśniczych do stosowania w pożarnictwie dopuszczone zostały między innymi takie zamienniki jak: dziesięciofluorobutan, siedmiofluoropropan, trójfluorometan, sześćfluoropropan, czterofluorochloroetan czy pięćfluoroetan.

## Literatura

1. Bulewicz E.M., Piechocińska I., *Badanie mechanizmów gaszenia płomieni proszkami gaśniczymi i halonami*, Sprawozdanie dla CNBOP, Kraków 1982;
2. Chomiak J., *Podstawowe problemy spalania PWN*, Warszawa 1977;
3. Grynczel Z., Wilczkowski S., *Nowoczesne środki gaśnicze* Instytut Wydawniczy CRZZ, Warszawa 1976;
4. ISO 14520 – 8, 2006;
5. ISO 14520 – 9 2006;
6. ISO 14528 – 10, 2005;
7. Kordylewski W., *Spalanie i paliwa*, Wyd. II, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1999;
8. Kordylewski W., *Spalanie i paliwa*, Wyd. IV, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2005;
9. Kucnerowicz – Polak B. J., *Alternatywne technologie gaszenia*, Materiał szkoleniowy KG PSP, Warszawa 1998;
10. Łudzik M., *Gaśnice. Badania wybranych parametrów techniczno-użytkowych.*, Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza nr 18/2/10, Józefów 2010;
11. Mizerski A., Sokołowski M., *Środki gaśnicze*, Ćwiczenia laboratoryjne, Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Warszawa 1997;
12. Nagrodzka M., Małozieć D., *Znaczenie środków ogniochronnych w tworzywach sztucznych*, Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza nr 18/2/10, Józefów 2010;
13. PN- EN 15004 – 2, 2008;
14. PN – EN 15004 – 5, 2008;
15. Pofit – Szczepańska M., *Wybrane zagadnienia z chemii ogólnej, fizykochemii spalania i rozwoju pożaru*, Wyd. Szkoły Aspirantów PSP, Kraków 1994;
16. Sobolewski M., *Skuteczność i bezpieczne zastosowanie środków gaśniczych*, Materiały do wykładu Środki gaśnicze USM 20, Warszawa 2010;
17. Sowa T., *Analiza porównawcza stałych urządzeń gaśniczych cz. I*, Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza nr 17/1/10, Józefów 2010;
18. Stolarczyk L., Stolarczyk U., *Wolne rodniki*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1973;
19. Świetnicki J., *Stale urządzenia gaśnicze dziś i jutro*, Materiał na sympozjum CNBOP Józefów 1994;
20. Wilczkowski S., *Środki gaśnicze*, Wyd. I, Szkoła Aspirantów PSP, Kraków 1995;

21. Wilczkowski S., *Środki gaśnicze*, Wyd. II, Szkoła Aspirantów PSP, Kraków 1999;
22. Zbrożek P., Prasula J., *Zagrożenia dla ludzi związane z działaniem stałych urządzeń gaśniczych (SUG)*, Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza nr 18/2/10, Józefów 2010.