



Monika Borucka

# ZWIĄZKI POWSTAJĄCE PODCZAS SPALANIA ŚRODKÓW OGRANICZAJĄCYCH PALNOŚĆ

## Zalecenia prewencyjne

**Monika Borucka**

**ZWIĄZKI POWSTAJĄCE  
PODCZAS SPALANIA ŚRODKÓW  
OGRANICZAJĄCYCH PALNOŚĆ**  
**Zalecenia prewencyjne**

**CIOP**  **PIB** **75** LAT

Warszawa 2025

Zrealizowano na podstawie wyników VI etapu programu wieloletniego pn. „Rządowy Program Poprawy Bezpieczeństwa i Warunków Pracy”, finansowanego w zakresie zadań służb państwowych ze środków Ministerstwa Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej.

Zadanie nr: 3.ZS.09,

pt: Analiza zanieczyszczeń powstających w trakcie spalania tworzyw sztucznych zawierających środki niepalniące.



Koordinator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Autorka: dr inż. Monika Borucka – Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Zdjęcie na okładce: flame retardants/Freepik

Projekt okładki: Jolanta Maj

Opracowanie redakcyjne: Kamil Jach

Opracowanie graficzne: Dorota Marzec



© Copyright by Centralny Instytut Ochrony Pracy  
– Państwowy Instytut Badawczy  
Warszawa 2025

ISBN 978-83-7373-451-7

**CIOP**  **PIB** **75** LAT

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy  
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa  
tel. (22) 623 36 98, fax (22) 623 36 93, 623 36 95, [www.ciop.pl](http://www.ciop.pl)

## Spis treści

Wstęp .....	5
Czym są środki zmniejszające palność?.....	6
Gdzie można znaleźć środki zmniejszające palność?.....	8
Toksyczne produkty spalania środków zmniejszających palność .....	10
Zalecenia prewencyjne.....	18
Bibliografia.....	20



# WSTĘP

**Materiały polimerowe, czyli wielkocząsteczkowe substancje** zbudowane z powtarzających się, połączonych ze sobą jednostek zwanych merami (lub monomerami), ze względu na swoje liczne zalety towarzyszą ludziom w prawie wszystkich dziedzinach życia codziennego. Wyróżnić tu można chociażby takie pozytywne cechy, jak niska gęstość (lekkość), wysoka wytrzymałość mechaniczna w stosunku do masy, odporność na korozję i czynniki chemiczne, a także łatwość formowania w skomplikowane kształty.

Nie wszystko złoto, co się świeci, jak mówi stare przysłowie i tak, obok ww. zalet, polimery mają również wady. Jedną z nich jest fakt, że większość z nich jest jednak łatwopalna, co stwarza poważne zagrożenie pożarowe.



## CZYM SĄ ŚRODKI ZMNIEJSZAJĄCE PALNOŚĆ?

**Środki zmniejszające palność** to substancje chemiczne, które dodaje się do tworzyw sztucznych i innych materiałów (np. tekstyliów czy drewna) w celu zwiększenia ich ognioodporności lub zmodyfikowania zachowania tych materiałów podczas spalania.

**Środki zmniejszające palność** nazywane są również **uniepaliaczami**, **środkami uniepalniającymi**, **antypirenami** lub **inhibitorami spalania** (ang. *flame retardant*).



Fot. Nakładanie na drewno przykładowego środka zmniejszającego palność (IL21/Bigstockphoto)

Głównym zadaniem środków zmniejszających palność jest spowolnienie lub zahamowanie procesu spalania materiału.

Działają one głównie poprzez:

- **utrudnienie zapłonu** (czyli momentu, kiedy materiał zaczyna się palić w przypadku kontaktu z otwartym ogniem, wysoką temperaturą lub iskrą),
- **spowolnienie rozprzestrzeniania się ognia**,
- **zmniejszenie ilości wydzielanego ciepła podczas spalania**,
- **tworzenie ochronnej warstwy** (np. warstwy zwęgliny, która izoluje materiał od płomienia).

Substancje wykorzystywane jako środki opóźniające palność należą do różnych grup substancji chemicznych. Największe zastosowanie znalazły środki opóźniające zapłon należące do grup:

- **związków nieorganicznych** (np. związki metali),
- **związków halogenowych** (zawierające chlor lub brom – bardzo skuteczne substancje, ale często wykazujące się toksycznością),
- **związków fosforowych i azotowo-fosforowych** (pomagają tworzyć grubą warstwę zwęgliny),
- **innowacyjnych nanonapełniaczy** (np. montmorillonit; są skuteczne nawet, gdy stosowane są w małych ilościach, i są potencjalnie mniej szkodliwe dla środowiska).

# GDZIE MOŻNA ZNALEŹĆ ŚRODKI ZMNIEJSZAJĄCE PALNOŚĆ?

W praktyce środki zmniejszające palność są bardzo szeroko stosowane w materiałach i produktach, które wykorzystuje się m.in. w:

- **budownictwie**, np. jako:
  - impregnaty ogniochronne w drewnie konstrukcyjnym (więźby dachowe),
  - dodatki do farb i tynków,
  - dodatki do płyt gipsowo-kartonowych,
  - dodatki do izolacji termicznych (np. pianki poliuretanowe czy pianki poliizocyanurowe);
- **przemśle tekstylnym i meblarskim**, np. jako:
  - tkaniny zasłonowe i obiciowe,
  - dywany i wykładziny,
  - materace,
  - odzież ochronna (np. dla strażaków, spawaczy, pracowników przemysłu chemicznego);
- **elektronice i elektryce**, np. jako:
  - obudowy komputerów, telewizorów, telefonów,
  - izolacje przewodów i kabli,
  - elementy plastikowe w urządzeniach domowych i przemysłowych;
- **transporcie**, np. jako:
  - materiały wewnętrzne w: samochodach, pociągach, samolotach i statkach;
- **innych zastosowaniach**:
  - zabawkach (zgodne z normami bezpieczeństwa),
  - węzłach gaśniczych i innych elementach systemów przeciwpożarowych.

## ŚRODKI OPÓŹNIAJĄCE PALNOŚĆ MOŻNA ZNALEŹĆ W:



Rys. Poglądowe przedstawienie zastosowania środków zmniejszających palność w przedmiotach codziennego użytku (opracowanie własne, grafika inspirowana [1])

# TOKSYCZNE PRODUKTY SPALANIA ŚRODKÓW ZMNIEJSZAJĄCYCH PALNOŚĆ

W przypadku pożaru, szczególnie w obiektach wypełnionych nowoczesnymi materiałami polimerowymi, może dojść do emisji dymów, pyłów oraz toksycznych związków chemicznych [2-6].

Dla strażaków oznacza to **bezpośrednie narażenie na wdychanie toksycznych gazów**, często w stężeniach, które mogą działać natychmiastowo śmiertelnie lub prowadzić do poważnych, długofalowych chorób układu oddechowego, nerwowego i krążenia.



Fot. Strażacy są niezwykle narażeni na kontakt z toksycznymi substancjami (fxquadro/Freepik)

W emitowanej mieszance gazów na szczególną uwagę zasługują **najbardziej toksyczne produkty**, do których można zaliczają się:

**Tlenek węgla (CO)** – jeden z najbardziej niebezpiecznych składników gazów pożarowych i główna przyczyna śmiertelnych zatruc podczas pożarów. Jest bezbarwny, bezwonny, bez smaku – człowiek nie jest w stanie go wyczuć zmysłami. CO wiąże się z hemoglobina w krwi około 200-250 razy silniej niż tlen, tworząc karboksyhemoglobinę (HbCO), blokując transport tlenu do tkanek i narządów, co prowadzi do hipoksji (niedotlenienia). Tlenek węgla łączy się również z mioglobina w komórkach mięśniowych, co zmniejsza dyfuzję tlenu do mięśnia sercowego i mięśni szkieletowych [7].

**Cyjanowódór (HCN)** – silnie trujący gaz, który jest w przybliżeniu dwadzieścia pięć razy bardziej toksyczny od tlenku węgla [7]. Jest bezbarwny, ma lekki zapach gorzkich migdałów, ale wiele osób nie potrafi go zidentyfikować. Działa toksycznie na poziomie komórkowym – blokuje enzymy w mitochondriach odpowiedzialne za wykorzystywanie tlenu (oksydazę cytochromową), co uniemożliwia komórkom oddychanie i powoduje gwałtowne niedotlenienie (hipoksję histotoksyczną), nawet przy prawidłowym poziomie tlenu we krwi [8, 9].

**Ditlenek węgla (CO<sub>2</sub>)** – ilości ditlenku węgla, które mogą powstać w pożarze nie są uważane za inherentnie powodujące znaczną toksyczność, jednakże wdychanie CO<sub>2</sub> w atmosferze pożaru powoduje efekty fizjologiczne, które zwiększają toksyczność innych produktów spalania. Wzrost stężenia CO<sub>2</sub> stymuluje częstość i głębokość oddechu, zwiększając minutową objętość oddechową. Prowadzi to do wzrostu ilości wszelkich obecnych toksyn, które są wdychane w danym okresie. Długotrwałe narażenie na względnie wysokie stężenia CO<sub>2</sub> wynoszące od 7 do 10% i trwające kilka godzin może powodować

wystąpienie silnego stresu, nudności, a nawet utratę przytomności [10].

**Tlenki azotu ( $\text{NO}_x$ )** – tlenek azotu NO i ditlenek azotu  $\text{NO}_2$  to niepalne gazy występujące w środowisku pożaru. W wysokich stężeniach tlenek azotu NO jest szybko utleniany do ditlenku azotu  $\text{NO}_2$ . Jednak w sytuacji pożarowej większość NO pozostaje bez zmian. Wysokie stężenie tych gazów może powodować odmę oraz śmierć [7].

**Chlorowódz (HCl)** – silnie drażniący gaz nawet przy niewielkich stężeniach (ok. 100 ppm). Podczas pożaru chlorowódz jest bardzo niebezpieczny, ponieważ działa żrąco i drażniąco na skórę, oczy i drogi oddechowe, wywołując oparzenia, obrzęk krtani, a nawet płuc. Narażenie na chlorowódz może prowadzić do poważnych obrażeń, utrudnienia oddychania i uduszenie. W przypadku pożaru krytyczny jest również kontakt chlorowodoru z wodą gaśniczą, który powoduje wytworzenie się kwasu solnego, silnie żrącego i korozyjnego, co stwarza zagrożenie również dla sprzętu ratowniczego i konstrukcji [11].

**Bromowódz (HBr)** to kolejny gaz z grupy kwasów halogenowych, który może być produktem spalania, zwłaszcza syntetycznych materiałów polimerowych. Dostępne są jedynie bardzo ograniczone dane dotyczące działania drażniącego HBr, które nie zostało zbadane tak dokładnie jak HCl. Oczekuje się, że skutki będą podobne do tych wywołanych przez HCl w porównywalnych stężeniach [7, 10].

**Pentatlenek difosforu, tlenek fosforu(V) ( $\text{P}_2\text{O}_5$ )** – spalanie związków zawierających fosfor (będący składnikiem wielu substancji niepalniających) może prowadzić do powstania pentatlenku fosforu ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) i kwasu fosforowego. Pięciotlenek fosforu działa żrąco na oczy i górne drogi oddechowe, ponieważ łatwo reaguje z wilgocią w błonach śluzowych, tworząc

kwas ortofosforowy. Wdychanie  $P_2O_5$  może również prowadzić do obrzęku płuc, którego wystąpienie może być opóźnione o kilka godzin po usunięciu z miejsca narażenia [10].

**Akroleina** – jest najsilniejszym z czynników drażniących. Działa silnie drażniąco na drogi oddechowe i oczy oraz jest silnym czynnikiem łzawiącym. Wykazano, że akroleina w stężeniu w zakresie od 0,5 do 5 ppm powoduje łzawienie i podrażnienie oczu u ludzi w ciągu 10 minut ekspozycji. Ekspozycja na akroleinę może spowodować wystąpienie obrzęku płuc, który może się ujawnić dopiero kilka godzin po ekspozycji. Obrzęk płuc jest spowodowany stanem zapalnym błony śluzowej dróg oddechowych wynikającym z denaturacji białek wywołanej przez akroleinę. Wykazano, że narażenie na akroleinę w stężeniach powyżej 10 ppm prowadzi do zgonu w ciągu zaledwie kilku minut [10].

**Formaldehyd** – jest silnym czynnikiem drażniącym. Wdychanie formaldehydu w wysokich stężeniach powoduje wystąpienie obrzęku krtani i płuc, który może być potencjalnie śmiertelny i może wystąpić z opóźnieniem do kilku godzin po narażeniu [10].

**Lotne związki organiczne** (VOC, ang. *Volatile Organic Compounds*) – to toksyczne substancje chemiczne zawierające węgiel, które łatwo parują w temperaturze pokojowej m.in.: benzen, formaldehyd, toluen, aceton. Najczęściej spotykane VOC w dymach pożarowych to: **benzen, toluen, ksyleny, formaldehyd, aceton, styren, chloroform, aldehydy i ketony**. Strażacy są narażeni na wdychanie VOC podczas gaszenia i prac porządkowych po pożarze. Lotne związki organiczne w dymach pożarowych są poważnym zagrożeniem zdrowotnym. Mają działanie drażniące, toksyczne, a wiele z nich jest rakotwórczych [12, 13].

**Średniolotne związki organiczne** (SVOC, ang. *Semi-Volatile Organic Compounds*) – substancje organiczne, które parują

wolniej niż VOC, ale nadal mogą występować w fazie gazowej lub osadzać się na cząstkach dymu i pyłu [14].

W dymach pożarowych obecne są m.in.:

- wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA, np. benzo[a]piren),
- ftalany (stosowane jako plastyfikatory tworzyw),
- polibromowane etery difenyłowe (PBDE, stosowane jako środki ograniczające palność),
- dioksyne i furany,
- polichlorowane bifenyle (PCB, produkty spalania m.in. środków ograniczających palność).

SVOC są **trwałymi zanieczyszczeniami organicznymi** – bardzo powoli się rozkładają. Zanieczyszczają glebę, wodę i powietrze wokół pogorzeliisk. Wykazują **bioakumulację i biomagnifikację** – wchodzi do łańcuchów pokarmowych i kumulują się w organizmach zwierząt i ludzi. Strażacy i mieszkańcy terenów po pożarach są narażeni na te substancje nie tylko podczas samego zdarzenia, ale także **po wielu dniach, a nawet tygodniach**. Badania epidemiologiczne wskazują, że powtarzana ekspozycja na WWA, dioksyne i PCB zwiększa u strażaków ryzyko nowotworów i zaburzeń hormonalnych [10, 12, 13, 15-17].

**Chlorowane i bromowane węglowodory aromatyczne** to jedne z najbardziej toksycznych i trwałych zanieczyszczeń. Działają rakotwórczo, uszkadzają układ hormonalny i odpornościowy, a także kumulują się w środowisku i w organizmach żywych [14].

### **Narażenie na działanie niebezpiecznych substancji chemicznych**

W planach ratowniczych Państwowej Straży Pożarnej znajdują się informacje, że za granicę strefy bezpiecznej w warunkach akcji ratowniczej dla substancji chemicznych przyjmuje się najczęściej wartość **najwyższego dopuszczalnego stężenia – NDS** [18]. Wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń

chemicznych i pyłowych oraz natężeń fizycznych czynników szkodliwych dla zdrowia określa rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. 2018 poz. 1286 z późniejszymi zmianami). W myśl ww. rozporządzenia przez **najwyższe dopuszczalne stężenie (NDS)** należy rozumieć wartość średnią ważoną stężenia, którego oddziaływanie na pracownika w ciągu 8-godzinnego dobowego i przeciętnego tygodniowego wymiaru czasu pracy, przez okres jego aktywności zawodowej nie powinno spowodować ujemnych zmian w jego stanie zdrowia oraz w stanie zdrowia jego potomstwa. **Najwyższe dopuszczalne stężenie chwilowe (NDSch)** to wartość średnia stężenia, które nie powinno spowodować ujemnych zmian w stanie zdrowia pracownika, jeżeli występuje w środowisku pracy nie dłużej niż 15 minut i nie częściej niż 2 razy w czasie zmiany roboczej, w odstępie czasu nie krótszym niż 1 godzina.

Z kolei grupa ds. Szczególnych Interesów Zarządzania Kryzysowego w Stanach Zjednoczonych do oszacowania wystąpienia skutków zdrowotnych u osób narażonych na oddziaływanie substancji toksycznej emitowanych podczas niekontrolowanego rozkładu i spalania materiałów wprowadziła wskaźniki **PAC** (ang. *Protective Action Criteria*). Zbiór danych PAC to skonsolidowana lista 3 rodzajów wytycznych dotyczących narażenia awaryjnego: AEGl (ang. *Acute Exposure Guideline Levels*), ERPG (ang. *Emergency Response Planning Guidelines*) i TEEL (ang. *Threshold Exposure Limit*).

Istnieją trzy poziomy wartości PAC (od 1 do 3). Każda kolejna wartość świadczy o coraz poważniejszych konsekwencjach poziomu ekspozycji.

Kolejne poziomy są definiowane w następujący sposób:

- **PAC-1** – stężenia substancji w powietrzu powodujące łagodne, przemijające skutki zdrowotne (poziom określany na podstawie wartości: AEGL-1, ERPG-1 lub TEEL-1),
- **PAC-2** – stężenia substancji w powietrzu powodujące nieodwracalne lub inne poważne skutki zdrowotne, które mogłyby osłabić zdolność do podjęcia działań ochronnych (poziom określany na podstawie wartości: AEGL-2, ERPG-2 lub TEEL-2),
- **PAC-3** – stężenia substancji w powietrzu powodujące zagrażające życiu skutki zdrowotne (poziom określany na podstawie wartości: AEGL-3, ERPG-3 lub TEEL-3) [22].

Amerykański Narodowy Instytut Bezpieczeństwa i Higieny Pracy (NIOSH) jako narażenie na zanieczyszczenia powietrza, które prawdopodobnie spowodują śmierć lub natychmiastowe lub opóźnione trwale niekorzystne skutki dla zdrowia lub uniemożliwią ucieczkę z takiego środowiska, wprowadził również termin „**bezpośrednio niebezpieczny dla życia lub zdrowia**” (IDLH, ang. *Immediately Dangerous to Life or Health*). Jeśli stężenie substancji szkodliwych wynosi IDLH, pracownik powinien używać najskuteczniejszych respiratorów. W podręczniku NIOSH zaleca się stosowanie w warunkach IDLH wyłącznie autonomicznych aparatów oddechowych z pełną maską lub respiratorów z dopływem powietrza z pełną maską w połączeniu z pomocniczym autonomicznym aparatem oddechowym z pełną maską [20].

W tabeli zamieszczono wartości NDS, NDSch, PAC-1, PAC-2, PAC-3 oraz IDLH w odniesieniu do wybranych substancji toksycznych, emitowanych podczas niekontrolowanego rozkładu i spalania tworzyw sztucznych, również tych zawierających dodatki substancji opóźniających palność.

**Tabela.** Wartości NDS, NDSch, PAC-1, PAC-2, PAC-3 w odniesieniu do wybranych toksycznych produktów emitowanych podczas niekontrolowanego rozkładu i spalania tworzyw sztucznych, również tych zawierających dodatek substancji opóźniających palność [20-22]

Nazwa substancji chemicznej	Numer CAS	NDS (mg/m <sup>3</sup> )	NDSch (mg/m <sup>3</sup> )	PAC-1 (ppm)	PAC -2 (ppm)	PAC-3 (ppm)	IDLH (ppm)
tlenek węgla	630-08-0	23	117	75	83	330	1200
ditlenek węgla	124-38-9	9000	27000	54000	72000	90000	40000
ditlenek azotu	10102-44-0	0,7	1,5	0,5	12	20	20
tlenek azotu	10102-43-9	2	-	0,16	24	92	100
chlorowodór	7647-01-0	5	10	1,8	22	100	50
bromowodór	10035-10-6	-	-	1	40	120	30
cyjanowodór	74-90-8	1	-	2	7,1	15	50
pentatlenek fosforu	1314-56-3	1	2	1	10	50	-
formaldehyd	50-00-0	0,37	0,74	0,9	14	56	20
akroleina	107-02-8	0,05	0,1	0,03	0,1	1,4	2
benzen	71-43-2	1,6	-	50	150	1000	500
acenaftylen	208-96-8	-	-	10	110	660	-
antracen	120-12-7	-	-	48	530	3200	-
fluoren	86-73-7	-	-	6,6	72	430	-
naftalen	91-20-3	20	50	15	83	500	250
styren	100-42-5	50	-	17	320	760	700
toluen	108-88-3	100	200	67	560	3700	500

## ZALECENIA PREWENCYJNE

W związku z tym, że nie ma możliwości całkowitego wyeliminowania toksyczności dymów i gazów pożarowych, kluczowe staje się minimalizowanie ryzyka poprzez kompleksowe działania ochronne i profilaktyczne.

### *Szkolenia z ochrony osobistej*

Strażacy powinni regularnie uczestniczyć w szkoleniach dotyczących właściwego doboru i użytkowania środków ochrony indywidualnej. Równie ważne jest poznanie zasad dekontaminacji sprzętu i odzieży, aby unikać wtórnego skażenia, np. przenoszenia toksyn do pojazdów czy jednostki. Każdy strażak musi znać cały cykl obsługi sprzętu – od przygotowania przed akcją po jego czyszczenie i konserwację po powrocie.

### *Świadomość zagrożeń pożarowych*

Niezbędne są szkolenia edukacyjne pokazujące, jakie toksyczne produkty spalania mogą występować w trakcie różnych pożarów i jakie są ich skutki zdrowotne. Omawianie realnych przykładów i wyników badań podnosi świadomość i ułatwia zrozumienie, że zagrożenie ma charakter zarówno natychmiastowy, jak i długofalowy.

### *Systematyczny monitoring zdrowia*

Długoterminowa kontrola medyczna strażaków, uwzględniająca regularne badania i dokumentację udziału w akcjach, umożliwia szybsze wykrywanie problemów zdrowotnych związanych z ekspozycją na toksyny. Dane te są podstawą do lepszego planowania profilaktyki i działań ochronnych.

### *Badania przesiewowe*

Wczesne wykrywanie chorób jest kluczowe. Badania ukierunkowane na układ oddechowy, sercowo-naczyniowy, nerwowy oraz na nowotwory powinny obejmować zarówno czynnych strażaków, jak i tych, którzy w przeszłości mieli regularny kontakt z produktami spalania.

### *Szybkie reagowanie na objawy*

Każdy niepokojący symptom – kaszel, pieczenie oczu, utrata węchu, zawroty głowy czy obecność sadzy w drogach oddechowych – musi być odnotowany i zgłoszony przełożonym oraz lekarzowi. Wczesna interwencja pozwala nie tylko na podjęcie leczenia, ale także na ocenę warunków akcji i ograniczenie ryzyka w przyszłości [23-25].

### **Zalecenia dla zakładów przemysłowych**

Obecnie w Polsce i wielu innych krajach **nie istnieją przepisy wymagające ani pomiaru, ani określania ilości toksycznych substancji powstających podczas spalania materiałów.**

W trosce o bezpieczeństwo pracowników, społeczności lokalnej oraz użytkowników obiektów przemysłowych warto dążyć do jak najbardziej odpowiedzialnego podejścia do doboru materiałów i technologii. Szczególnie istotne jest zwracanie uwagi na zachowanie materiałów w warunkach pożaru – pod kątem zarówno palności, jak i potencjalnej emisji substancji niebezpiecznych w procesie rozkładu termicznego czy spalania. Konsekwentne uwzględnianie aspektów bezpieczeństwa pożarowego i toksykologicznego już na etapie projektowania materiałów, procesów i instalacji jest inwestycją, która w dłuższej perspektywie może przynieść korzyści przemysłowi, a także całemu społeczeństwu.

Stosowanie rozwiązań ograniczających powstawanie toksycznych związków nie powinno być traktowane jedynie jako spełnianie formalnych wymagań czy norm, lecz jako realny element budowania kultury bezpieczeństwa w zakładzie.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Flame Retardants: Why They're in Our Homes and How To Avoid Them | Environmental Working Group, <https://www.ewg.org/news-insights/news/flame-retardants-why-theyre-our-homes-and-how-avoid-them> (dostęp 22.08.2025).
- [2] M. Borucka, J. Przybysz, K. Mizera, A. Gajek, Products of thermal decomposition of selected polymer flame retardants, pp. 240-241 . In: "Book of Abstracts of the Eleventh International Seminar on Fire and Explosion Hazards (ISFEH11)" 15-20 June 2025, Rome, Italy. DOI:10.5281/zenodo.15697662.
- [3] M. Borucka, K. Mizera, J. Przybysz, A. Gajek, Products of Thermal Decomposition of Brominated Polymer Flame Retardants, Chem Eng Trans 111 (2024) 307–312. DOI:10.3303/CET24111052.
- [4] M. Borucka, K. Mizera, J. Przybysz, P. Kozikowski, A. Gajek, Analysis of Flammability and Smoke Emission of Plastic Materials Used in Construction and Transport, Materials 16 (2023). DOI: 10.3390/MA16062444.
- [5] M. Borucka, K. Mizera, J. Przybysz, A. Gajek, Produkty termicznego rozkładu i spalania eteru diallilowego tetrabromobisfenolu A, bromowego środka ograniczającego palność polimerów, Przemysł Chemiczny T. 103, nr 2 (2024) 136–142. DOI:10.15199/62.2024.2.11.
- [6] M. Borucka, K. Mizera, Substancje niebezpieczne emitowane podczas rozkładu termicznego i spalania chemoutwardzalnych

- tworzyw sztucznych, Materiały Informacyjne, CIOP-PIB, Warszawa 2022.
- [7] R. Porowski, Z. Kuźnicki, D. Małozieć, A. Dziechciarz, Oznażanie toksyczności produktów spalania – przegląd stanu wiedzy, *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza* (2018) 82–98. DOI:10.12845/bitp.52.4.2018.5.
- [8] About National Institute for Occupational Safety and Health | NIOSH . <https://www.cdc.gov/niosh/about/index.html>, (dostęp 22.08.2025).
- [9] National Library of Medicine (NLM), National Center for Biotechnology Information (NCBI). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/home/about/>, (dostęp 22.08.2025).
- [10] J.C. Wakefield, A toxicological review of the products of combustion, Health Protection Agency, Centre for Radiation, Chemical and Environmental Hazards, Chemical Hazards and Poisons Division, 2010.
- [11] PVC - fakty i mity - Wiadomości - Wortal Plastech., <https://www.plastech.pl/wiadomosci/PVC-fakty-i-mity-11374?p=3>, (dostęp 22.08.2025).
- [12] T. Barboni, M. Cannac, V. Pasqualini, A. Simeoni, E. Leoni, N. Chiaramonti, Volatile and semi-volatile organic compounds in smoke exposure of firefighters during prescribed burning in the Mediterranean region, *Int J Wildland Fire* 19 (2010) 606–612. DOI:10.1071/WF08121.
- [13] D.T. Ketcherside, D.D. Miller, D.R. Kenerson, P.S. Scott, J.P. Andrew, M.A.Y. Bakker, B.A. Bundy, B.K. Grimm, J. Li, L.A. Nuñez, D.L. Pittman, R.P. Uhlorn, N.A.C. Johnston, Effects of Wildfire Smoke on Volatile Organic Compound (VOC) and PM2.5 Composition in a United States Intermountain Western Valley and Estimation of Human Health Risk, *Atmosphere* (Basel) 15 (2024). DOI:10.3390/atmos15101172.
- [14] Exposure Assessment Tools by Chemical Classes - Other Organics | US EPA, <https://www.epa.gov/expobox/exposure-as>

essment-tools-chemical-classes-other-organics?utm\_source=chatgpt.com#vocs, (dostęp 22.08.2025).

- [15] F. Hewitt, A. Christou, K. Dickens, R. Walker, A.A. Stec, Release of volatile and semi-volatile toxicants during house fires, *Chemosphere* 173 (2017) 580–593. DOI:10.1016/j.chemosphere.2016.12.079.
- [16] Y. Liang, R.A. Wernis, K. Kristensen, N.M. Kreisberg, P.L. Croteau, S.C. Herndon, A.W.H. Chan, N.L. Ng, A.H. Goldstein, Gas-particle partitioning of semivolatile organic compounds when wildfire smoke comes to town, *Atmos Chem Phys* 23 (2023) 12441–12454. DOI:10.5194/acp-23-12441-2023.
- [17] O. Adetona, TOXICITY OF WILDLAND FIRE SMOKE EVIDENCE AND RESEARCH GAPS Inhalation and Respiratory Specialty Section Society of Toxicology, 2022.
- [18] P. Guzewski, D. Wróblewski, D. Małozieżć, Czerwona księga pożarów, Wybrane problemy pożarów oraz ich skutków, Józefów 2014.
- [19] Protective Action Criteria (PAC) with AEGLs, ERPGs, & TEELs | Department of Energy, <https://www.energy.gov/nnsa/protective-action-criteria-pac-aegls-erpgs-teels>, (dostęp 22.08.2025).
- [20] Immediately Dangerous To Life or Health (IDLH) Values, <https://www.cdc.gov/niosh/> (dostęp 29.08.2025).
- [21] Baza CHEMPYŁ, CIOP-PIB. [https://www.ciop.pl/CIOPPortalWAR/appmanager/ciop/pl?\\_nfpb=true&\\_pageLabel=P13800141641345795944292&gad\\_source=1&gad\\_campaignid=14070976&gbraid=0AAAAAD82CPQXmTS52sn3d-2NwK2-Twq38&gclid=CjwKCAjwtrXFBhBiEiwAEKen13FJVRnYdZd-ZowiiFFQqfBog0vHI6ycxuD-hbrB2\\_rXEHy1bMAPxoCzKQQA\\_vD\\_BwE](https://www.ciop.pl/CIOPPortalWAR/appmanager/ciop/pl?_nfpb=true&_pageLabel=P13800141641345795944292&gad_source=1&gad_campaignid=14070976&gbraid=0AAAAAD82CPQXmTS52sn3d-2NwK2-Twq38&gclid=CjwKCAjwtrXFBhBiEiwAEKen13FJVRnYdZd-ZowiiFFQqfBog0vHI6ycxuD-hbrB2_rXEHy1bMAPxoCzKQQA_vD_BwE), (dostęp 22.08.2025).
- [22] CAMEO Chemicals | NOAA, (n.d.). <https://cameochemicals.noaa.gov/search/results>, (dostęp 22.08.2025).

- [23] S. Krzezińska, M. Szewczyńska, A. Jachowicz, Narażenie strażaków na substancje chemiczne podczas pożaru, *Bezpieczeństwo Pracy: nauka i praktyka* 5 (2024) 12-15 DOI: 10.54215/BP.2024.5.11.Krzeminska.
- [24] S. Kokot, M. Maliga, Aby zminimalizować ryzyko, *Przegląd Pożarniczy – PP KGPSP*, <https://www.ppoz.pl/czytelnia/ratownictwo-i-ochrona-ludnosci/Aby-zminimalizowac-ryzyko/id-n%3A3143?>, (dostęp 22.08.2025).
- [25] Minimalizacja narażenia strażaków na toksyczne produkty pożarowe. Okresowy Raport Najlepszych Praktyk. Niezależny raport autorstwa z przedmową Sekretarza Generalnego FBU Matka Wracka, 2023, [https://iwop.wp.mil.pl/u/articles/atts/2023/4/bRaport\\_FBU\\_polskie\\_tumaczenie\\_raportu\\_rak\\_u\\_strazakow.pdf](https://iwop.wp.mil.pl/u/articles/atts/2023/4/bRaport_FBU_polskie_tumaczenie_raportu_rak_u_strazakow.pdf), (dostęp 22.08.2025).



ISBN 978-83-7373-451-7