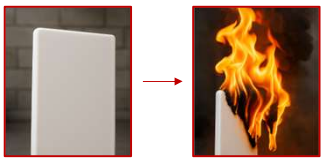
Środki ograniczające palność dodawane do tworzyw (powodujące powstawanie niebezpiecznych produktów podczas pożaru)

Nieoczywiste zagrożenia palne i wybuchowe

Monika Borucka, *Kamila Mizera*

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

monika.borucka@ciop.pl



CIOP PIB 75 LAT

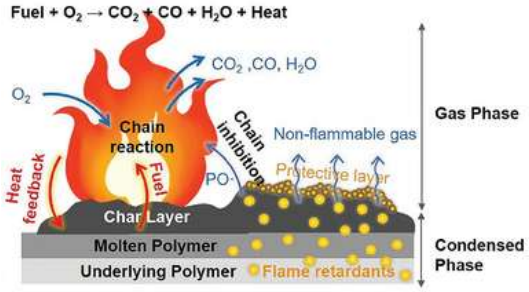
Środki ograniczające palność

Środki ograniczające palność to substancje chemiczne, które dodaje się do tworzyw sztucznych i innych materiałów, w celu zwiększenia ognioodporności tych materiałów lub zmodyfikowaniu ich zachowania podczas spalania.

Nazywa się je również: **uniepalniaczami, środkami uniepalniającymi, antypirenami lub inhibitorami spalania (ang. flame retardant)**.

Główne zadanie środków ograniczających palność to:

- **utrudnienie zapłonu** (w kontakcie z otwartym płomieniem, wysoką temperaturą, iskrą),
- **spowolnienie rozprzestrzeniania ognia**,
- **zmniejszenie wydzielania ciepła**,
- **tworzenie ochronnej warstwy**, która izoluje materiał od płomienia.



Przebieg procesu spalania tworzyw sztucznych zawierających środki opóźniające zapłon

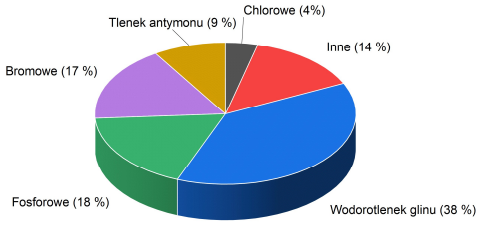
Feng Jiabing i wsp. Advanced Materials 2024

CIOP PIB 75 LAT

Środki ograniczające palność

Wyróżnia się różne rodzaje środków ograniczających palność, m.in.:

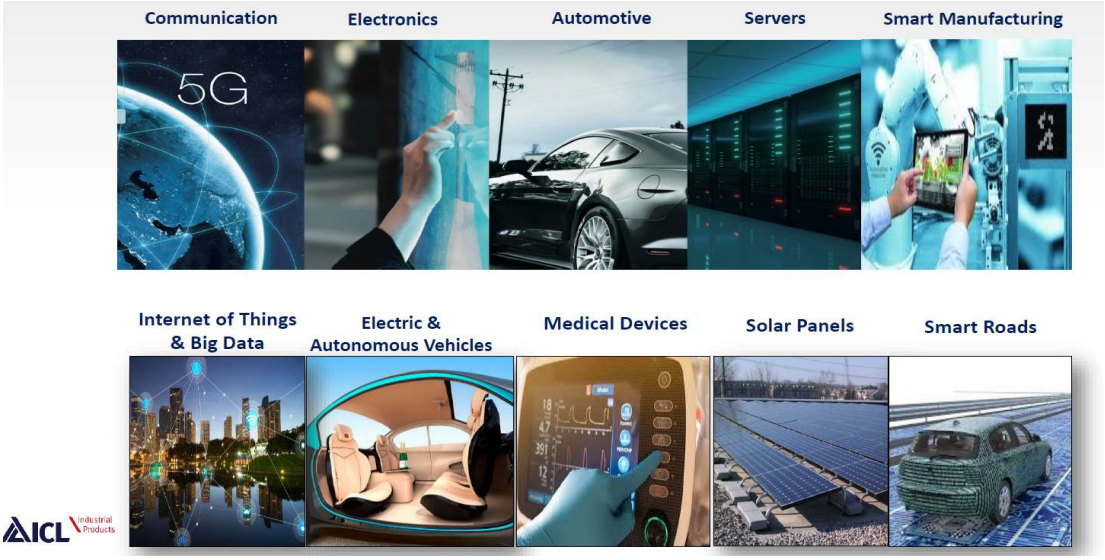
- **nieorganiczne** (np. związki metali),
- **halogenowe** (zawierające chlor lub brom – bardzo skuteczne, ale często toksyczne),
- **fosforowe** i **azotowo-fosforowe** (pomagają tworzyć grubą warstwę zwęgliny),
- **innowacyjne nanonapełniacze** (np. montmorillonit), które działają skutecznie w małych ilościach i są mniej szkodliwe dla środowiska.



Światowe zużycie antypirenów w 2019 r. z podziałem na typy, %

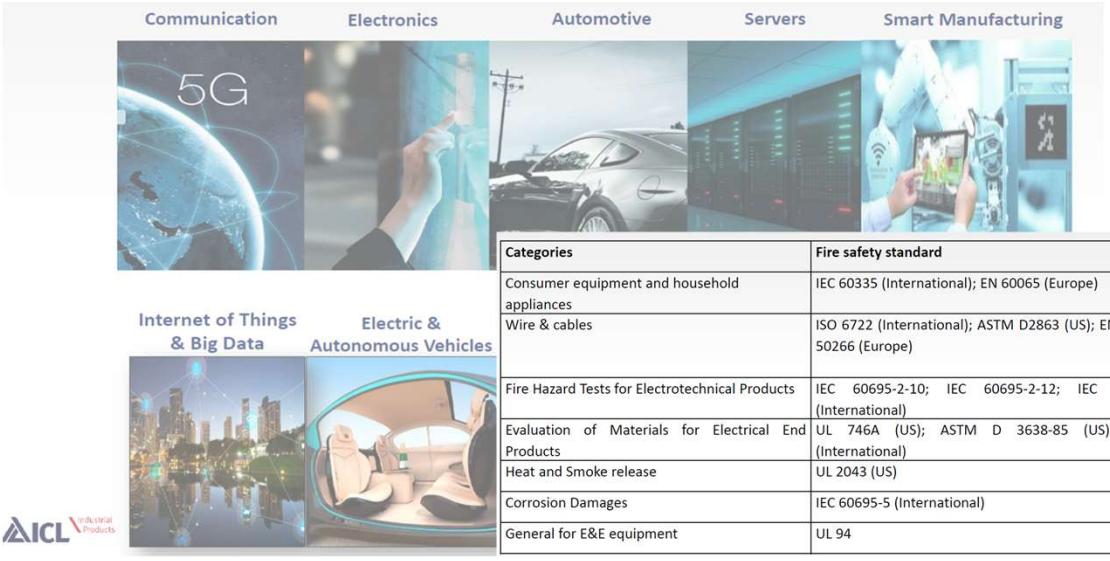
CIOP PIB 75 LAT

Halogenowe środki ograniczające palność



CIOP PIB 75 LAT

Halogenowe środki ograniczające palność

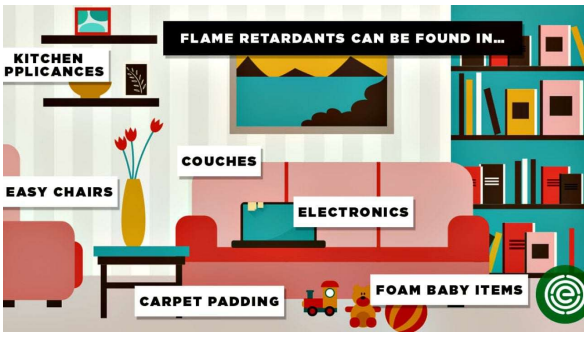


Categories	Fire safety standard
Consumer equipment and household appliances	IEC 60335 (International); EN 60065 (Europe)
Wire & cables	ISO 6722 (International); ASTM D2863 (US); EN 50265; EN 50266 (Europe)
Fire Hazard Tests for Electrotechnical Products	IEC 60695-2-10; IEC 60695-2-12; IEC 60695-2-13 (International)
Evaluation of Materials for Electrical End Products	UL 746A (US); ASTM D 3638-85 (US); IEC 112 (International)
Heat and Smoke release	UL 2043 (US)
Corrosion Damages	IEC 60695-5 (International)
General for E&E equipment	UL 94

CIOP PIB 75 LAT

W praktyce środki ograniczające palność są bardzo szeroko stosowane w materiałach i produktach:

- **Budownictwo infrastruktura**
  - Impregnaty ogniochronne w drewnie konstrukcyjnym (więźby dachowe).
  - Dodatki do farb i tynków.
  - Płyty gipsowo-kartonowe.
  - Izolacje termiczne (np. pianki PUR, wełna mineralna).
  - Rury, panele itp.
- **Przemysł tekstylny i meblarski**
  - Tkaniny zasłonowe, obiciowe, dywany i wykładziny.
  - Materace, koce.
  - Odzież ochronna (np. dla strażaków, spawaczy, pracowników przemysłu chemicznego).
- **Elektronika i elektryka**
  - Obudowy komputerów, telewizorów, telefonów.
  - Izolacje przewodów i kabli.
  - Elementy plastikowe w urządzeniach domowych i przemysłowych.
- **Transport**
  - Materiały wewnętrzne w samochodach, pociągach, samolotach i statkach.
  - Pianki w siedzeniach i panele wykończeniowe.
- **Inne**
  - Zabawki (zgodne z normami bezpieczeństwa).
  - Węże gaśnicze i inne elementy systemów przeciwpożarowych.



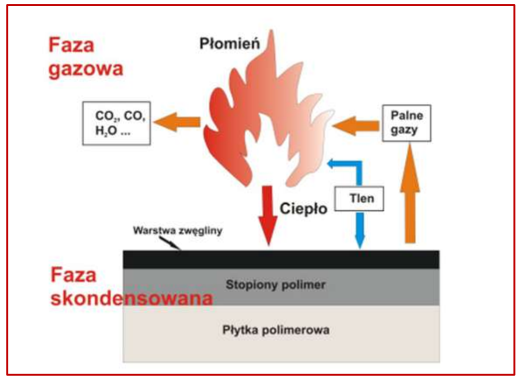
Fotografia przedstawiająca poglądowo zastosowanie środków zmniejszających palność w przedmiotach codziennego użytku

https://www.ewg.org/news-insights/news/flame-retardants-why-theyre-our-homes-and-how-avoid-them

CIOP PIB 75 LAT

Zagrożenia pożarowe tworzyw sztucznych

Powszechne stosowanie tworzyw sztucznych powoduje, że prawie każdy pożar w dzisiejszych czasach to pożar z ich udziałem.



Spośród wszystkich zgonów w wyniku pożarów:

- 51 % jest spowodowana wyłącznie toksycznym oddziaływaniem produktów rozkładu i spalania,
- 23 % umiera w wyniku poparzeń i zatrucia dymem,
- 25 % z powodu poparzeń odniesionych w wyniku pożaru

https://pracodawcyrolni.pl/zalaczniki/Obowiazki_i_nowe_uwarunkowania_prawne_w_zakresie_zabezpieczenia_przeciwpozarowego.pdf;
A.A. Stec, T.R. Hull, Building and Energy, 2010

Pożary z udziałem tworzyw sztucznych

Pożar wieżowca Grenfell Tower w Londynie 14 lipca 2017 r.

https://en.wikipedia.org/wiki/Grenfell_Tower_fire

- wieżowiec palił się ponad 60 h;
- zginęły 72 osoby, ponad 70 rannych;
- ponad 250 strażaków i 70 wozów strażackich;
- 21 września 2018 r. koroner zaniepokojena stanem zdrowia ofiar i pracowników służb ratowniczych narażonych na dym i pył podczas pożaru i późniejszego sprzątania. *Osoby mogą być bardziej narażone na choroby, takie jak: rak, pylica azbestowa , POChP i astma*;
- 2019 r. – A. Stec i wsp., *Chemosphere*, znaczące skażenie środowiska, w glebie i budynkach w okolicy wykryto: znaczne stężenia benzenu, benzo(a)pirenu, fosforu i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych;
- 4 września 2024 r. – Końcowy raport z dochodzenia w sprawie pożaru, medyczna przyczyna śmierci większości ofiar: *Wdychanie dymów pożarowych* (duszące gazy: CO i HCN).

Pożary z udziałem tworzyw sztucznych

Pożar w kopalni Knurów-Szczygłowice
15 październik 2018 r. Knurów

Pożar w kopalni Budryk
17 maj 2019 r. Ornontowice

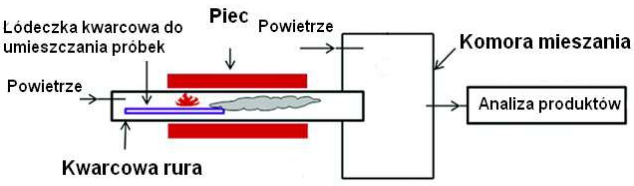
Pożar w kopalni Staszic
18 luty 2020 r. Katowice

Pożar w kopalni Staszic
22 listopad 2024 r. Katowice

CIOP PIB 75 LAT

Metoda analiza substancji niebezpiecznych podczas spalania

Ta metoda umożliwia zastosowanie różnych warunków temperatury i dostępności tlenu w różnych stadiach rozwoju pożaru, co pozwala na wygenerowanie próbek gazów i dymów pożarowych odpowiadających rzeczywistym warunkom spalania.



Schemat ideowy stacjonarnego pieca rurowego
ISO/TS 19700:2007

Zdjęcie stacjonarnego pieca rurowego (tzw. Piec Pursera)

CIOP PIB 75 LAT

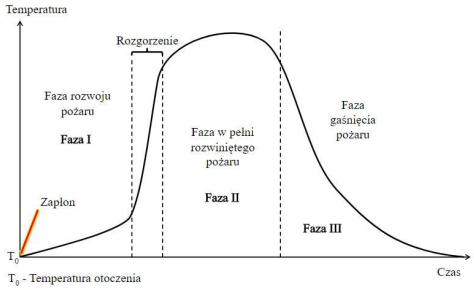
Metoda analiza substancji niebezpiecznych podczas spalania

Ilość i skład chemiczny produktów rozkładu termicznego i spalania tworzyw sztucznych zależą od:

- właściwości fizycznych i chemicznych materiału,
- warunków w jakich przebiega pożar (rodzaj spalania, wentylacja, geometria pomieszczenia).

Ogólna klasyfikacja pożaru na podstawie PN-EN 60695-7-1

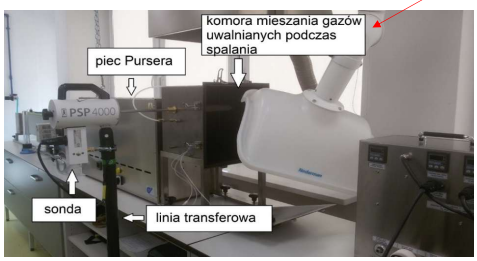
Faza pożaru		Tlen %	Stosunek CO/CO_2	Temp. °C	Natężenie promieniowania kW/m²
FAZA 1	Rozkład bezpłomieniowy				
	Tlenie (samopodtrzymujące)	21	Nie dotyczy	< 100	Nie dotyczy
	Bezpłomieniowy utleniający	5 do 10	Nie dotyczy	< 500	< 25
	Bezpłomieniowy (pirolityczny)	< 5	Nie dotyczy	< 1000	Nie dotyczy
FAZA 2	Pożar rozwijający się (palący się płomieniem)	10 do 15	100 do 200	400 do 600	20 do 40
FAZA 3	Pożar całkowicie rozwinięty (palący się płomieniem)				
	Względnie małe przewietrzenie	1 do 5	< 10	600 do 900	40 do 70
	Względnie duże przewietrzenie	5 do 10	< 100	600 do 1200	50 do 150

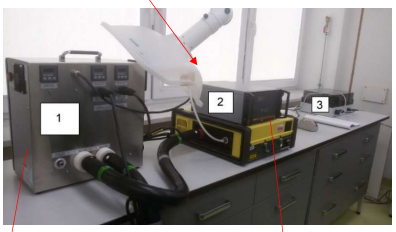


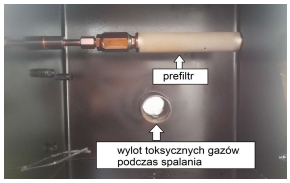
Model rozwoju pożaru pomieszczenia według PN-EN 60695-7-1

CIOP PIB 75 LAT

Metoda analizy gazów duszących i drażniących

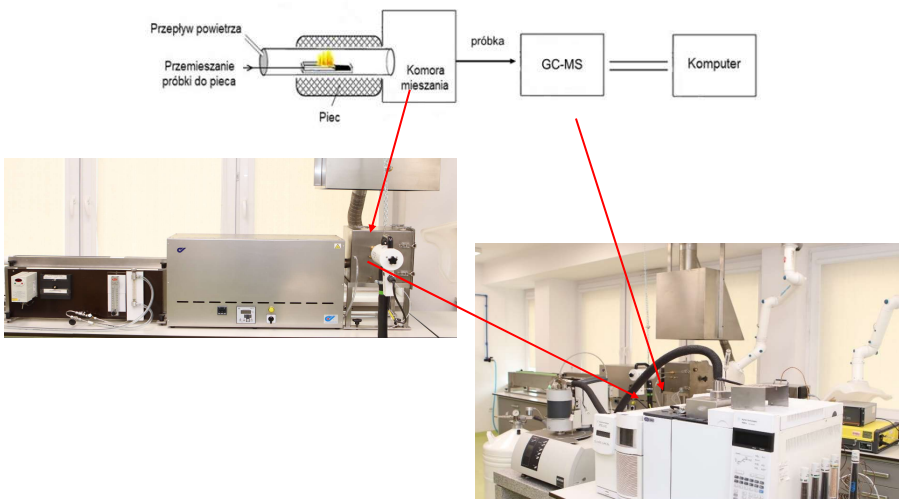






CIOP PIB 75 LAT

Metoda analizy lotnych związków organicznych



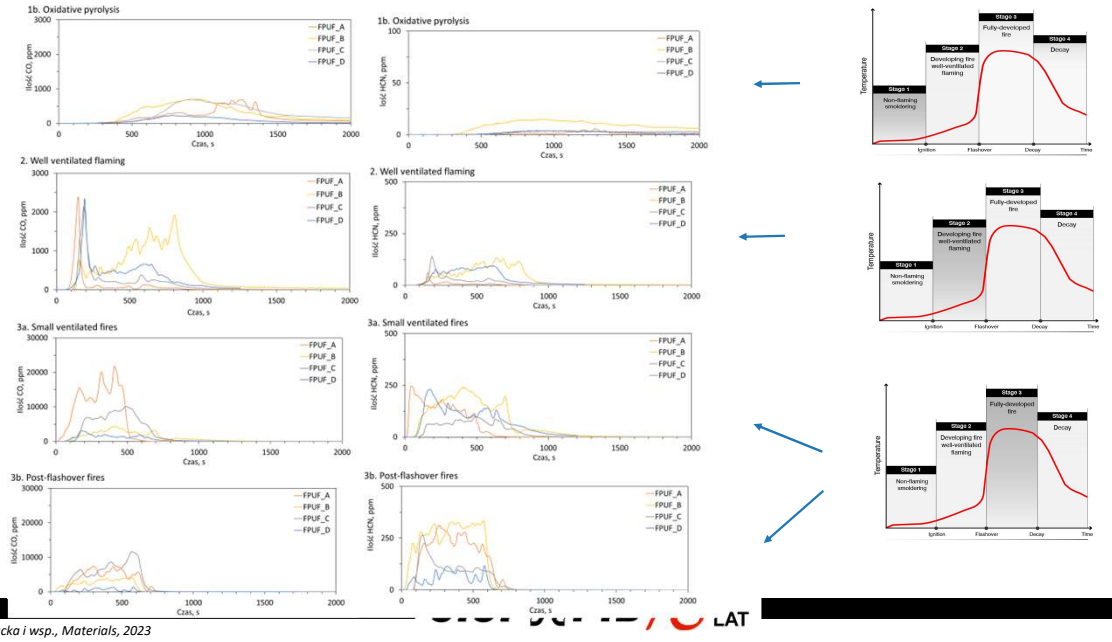
Przykładowe wyniki

Elastyczne pianki poliuretanowe

- Elastyczna pianka poliuretanowa (Typ T) – kolor biały, gęstość ok. 23 kg/m^3 **(FPUF_A)**
- Elastyczna pianka poliuretanowa (Typ T) – kolor czarny, trudnopalna, gęstość ok. 26 kg/m^3 **(FPUF_D)**
- Elastyczna pianka poliuretanowa wtórnie spieniona (Typ R) – kolor szary, gęstość ok. 81 kg/m^3 **(FPUF_B)**
- Elastyczna pianka poliuretanowa wtórnie spieniona (Typ R) – kolor mieszany, gęstość ok. 108 kg/m^3 **(FPUF_C)**

M.Borucka i wsp., Materials, 2023

Elastyczne pianki poliuretanowe – emisja gazów duszących i drażnicych



M.Borucka i wsp., Materials, 2023

Elastyczne pianki poliuretanowe –

Tlenek węgla (CO) – jeden z najbardziej niebezpiecznych składników gazów pożarowych i główna przyczyna śmiertelnych zatruć podczas pożarów.

- Jest bezbarwny, bezwonny, bez smaku – człowiek nie jest w stanie go wyczuć zmysłami.
- Wiąże się z hemoglobiną w krwi około 200–250 razy silniej niż tlen, tworząc karboksyhemoglobinę (HbCO), blokując transport tlenu do tkanek i narządów, co prowadzi do hipoksji (niedotlenienia).

Stężenie [ppm]	Czas wdychania i rozwój objawów
35	Maksymalne dopuszczalne stężenie przy ciągłym narażeniu przez okres 8 h zgodnie z OSHA
150	Lekki ból głowy po 1,5 h
200	Lekki ból głowy, zmęczenie, zawroty głowy, nudności po 2-3 h
400	Ból z przodu głowy po 1-2 h, zagrożenie życia po 3 h
800	Zawroty głowy, nudności i konwulsje po 45 min. Utrata przytomności w ciągu 2 h. Śmierć w ciągu 2-3 h
1 600	Ból głowy, zawroty głowy i nudności w ciągu 20 min. Śmierć w ciągu 1 h
3 200	Ból głowy, zawroty głowy i nudności w ciągu 5-10 min. Śmierć w ciągu 25-30 min
6 400	Ból głowy, zawroty głowy i nudności w ciągu 1-2 min. Śmierć w ciągu 10-15 min
12 800	Śmierć w ciągu 1-3 min

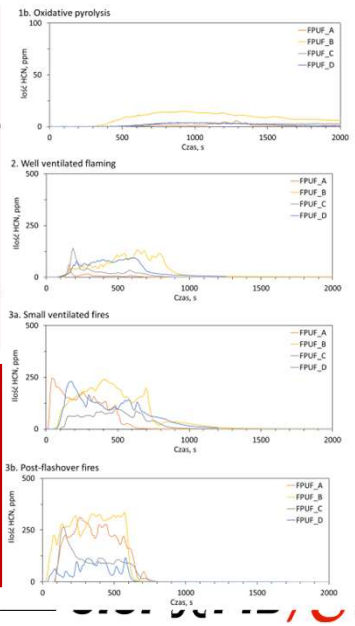
M.Borucka i wsp., Materials, 2023

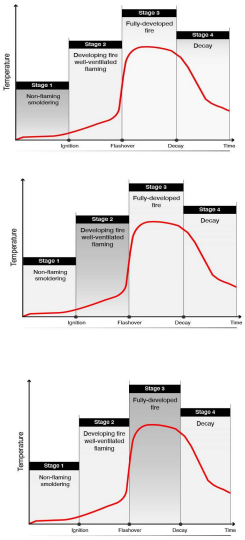
Elastyczne pianki poliuretanowe – emisja gazów duszących i drażnicych

Cyjanowodór (HCN) – silnie trujący gaz, jest w przybliżeniu dwadzieścia pięć razy bardziej toksyczny od tlenku węgla.

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.

Stężenie [ppm]	Czas wdychania i rozwój objawów
20-40	Ból głowy, senność, zawroty głowy, słaby i szybki puls, przyspieszony oddech
100	Śmierć w przeciągu 1 h
135	Śmierć w przeciągu 30 min
180	Śmierć w przeciągu 10 min
270	Natychmiastowa śmierć

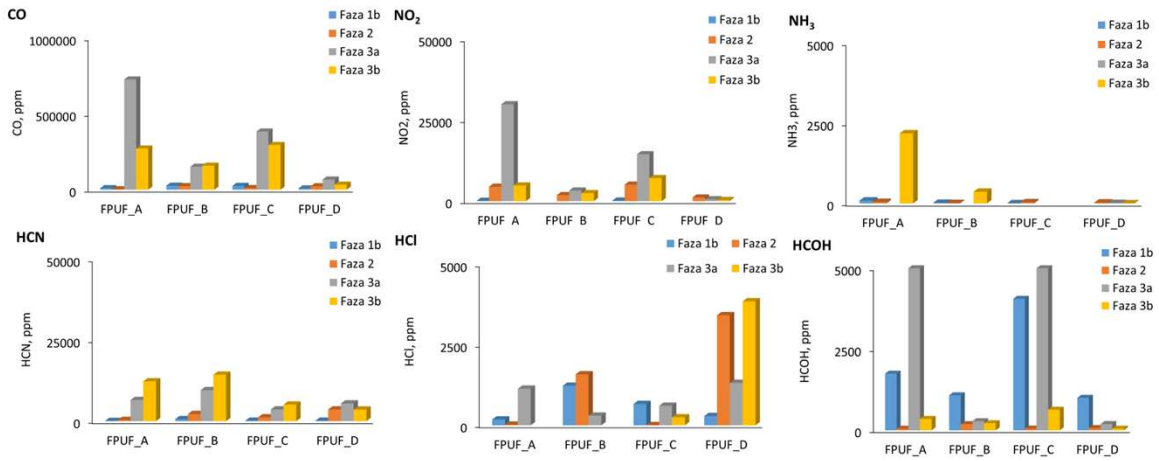




M.Borucka i wsp., Materials, 2023

CIOP PIB 75 LAT

Elastyczne pianki poliuretanowe – emisja gazów duszących i drażnicych

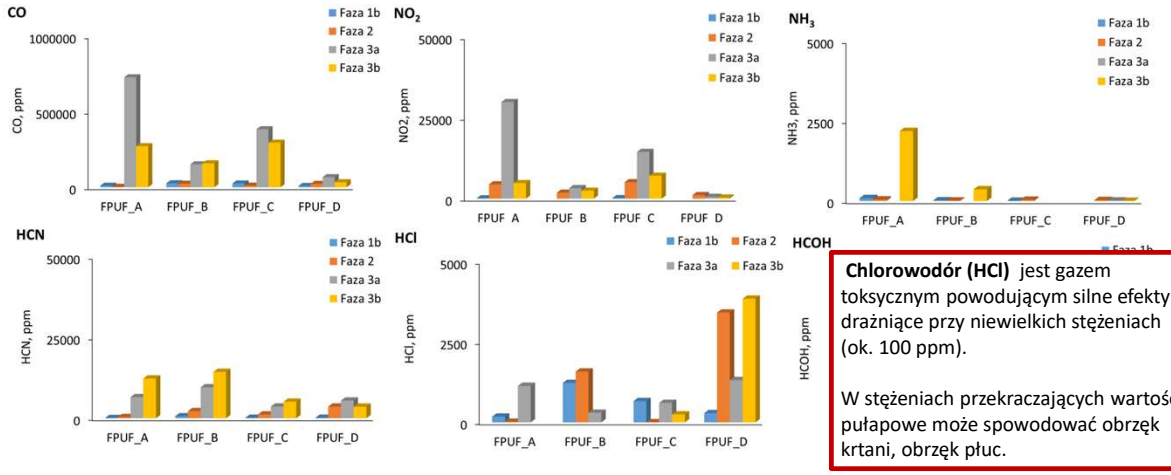


Zestawienie ilości substancji duszących i drażniących emitowanych podczas stabilnego przebiegu procesu termicznego rozkładu i spalania (w czasie 5 min)

CIOP PIB 75 LAT

M.Borucka i wsp., Materials, 2023

Elastyczne pianki poliuretanowe – emisja gazów duszących i drażnicych



Chlorowodór (HCl) jest gazem toksycznym powodującym silne efekty drażniące przy niewielkich stężeniach (ok. 100 ppm).

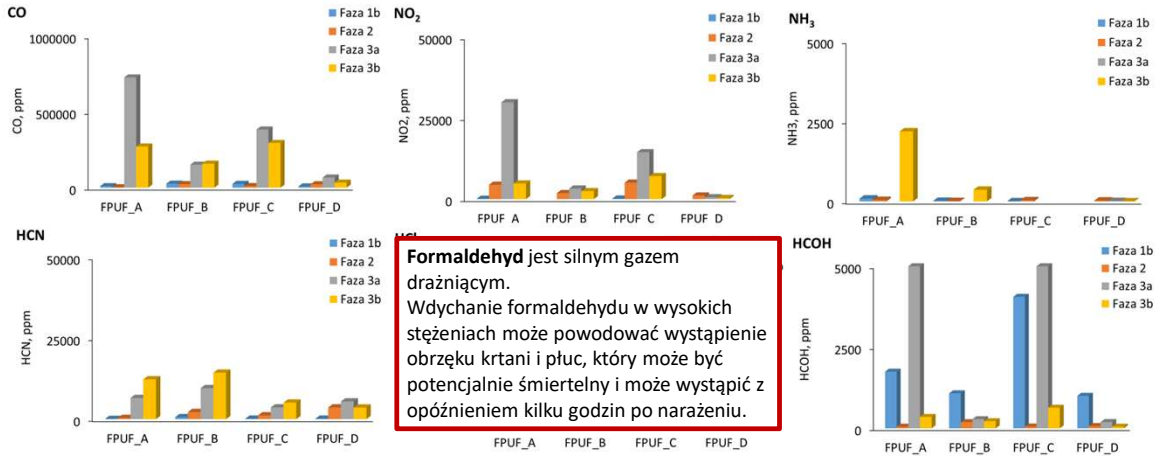
W stężeniach przekraczających wartości pułapowe może spowodować obrzęk krtani, obrzęk płuc.

Zestawienie ilości substancji duszących i drażniących emitowanych podczas stabilnego przebiegu procesu termicznego rozkładu i spalania (w czasie 5 min)

CIOP PIB 75 LAT

M.Borucka i wsp., Materials, 2023

Elastyczne pianki poliuretanowe – emisja gazów duszących i drażnicych



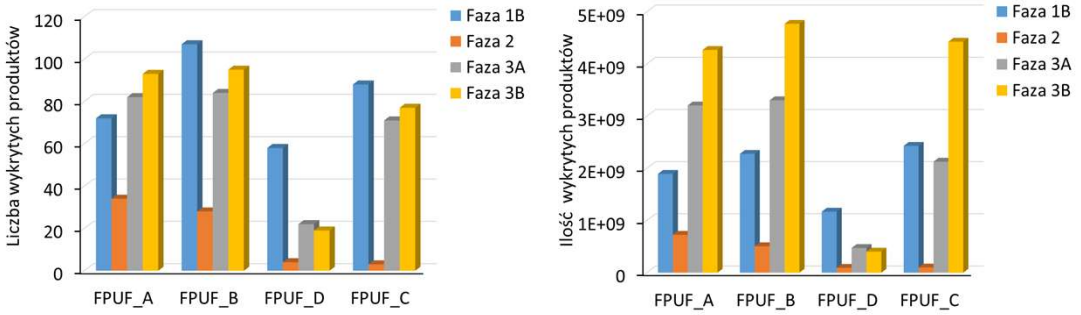
Formaldehyd jest silnym gazem drażniącym.
Wdychanie formaldehydu w wysokich stężeniach może powodować wystąpienie obrzęku krtani i płuc, który może być potencjalnie śmiertelny i może wystąpić z opóźnieniem kilku godzin po narażeniu.

Zestawienie ilości substancji duszących i drażniących emitowanych podczas stabilnego przebiegu procesu termicznego rozkładu i spalania (w czasie 5 min)

CIOP PIB 75 LAT

M.Borucka i wsp., Materials, 2023

Elastyczne pianki poliuretanowe – lotne związki organiczne



Zestawienie liczby i ilości średnio lotnych substancji organicznych emitowanych podczas stabilnego przebiegu procesu termicznego rozkładu i spalania (w czasie 5 min)

CIOP PIB 75 LAT

M.Borucka i wsp., Materials, 2023

Elastyczne pianki poliuretanowe – lotne związki organiczne

Substancja chemiczna	Zawartość (%)							
	FPUF_A				FPUF_B			
	Faza 1b.	Faza 2.	Faza 3a.	Faza 3b.	Faza 1b.	Faza 2.	Faza 3a.	Faza 3b.
Akrylonitryl	0.79		0.89	0.39	1.58	1.40	1.09	0.74
Kwas octowy	7.07		1.11		2.02		1.12	
Benzen	3.28	5.93	1.26	0.59	1.01		1.07	0.68
Toluen		2.58	0.45	0.27			0.64	0.28
Fenyloacetylen	5.89	1.87					0.34	0.24
Styren		4.75	0.59	0.77	3.53	1.38	3.93	1.03
Izocyjanian fenylu			2.13	0.88	1.72	0.88	1.29	0.75
Benzaldehyd		0.61	1.19		3.06	0.97	1.33	
Benzonitryl		3.94	21.31	5.16	0.32	13.29	10.79	
Fenol		1.47			0.62	3.35		5.59
Metylenobis (fenyloisocyjanian)		0.70	5.64	0.62			2.03	
4-metylofenylo izocyjanian		0.54	5.42	0.90		0.63	2.18	0.67
Naftalen	2.79	23.22	6.15	4.60		10.61	11.72	8.84
4-Aminostyren				0.11	3.36			
Chinolina	0.79	2.53	2.31	3.18	1.43			0.15
m-fenyleno diisocyjanian					1.04	0.46	2.44	6.77
2,4-diisocyjan metylenodifenylu (TDI)	11.97	2.12	8.38	0.80	7.79	2.65	3.24	1.87
Bifenyl		1.54	0.46	1.28	1.04	1.48	2.34	2.95
1-izocyjano naftalen		2.28	1.06	7.10	0.47	9.23	3.80	5.58

M.Borucka i wsp., Materials, 2023

Elastyczne pianki poliuretanowe – lotne związki organiczne

Substancja chemiczna	Zawartość (%)							
	Faza							za 3b.
Akrylonitryl	0.7							0.74
Kwas octowy	7.0							
Benzen	3.2							0.68
Toluen								0.28
Fenyloacetylen	5.89	1.87					0.34	0.24
Styren								1.03
Izocyjanian fenylu								0.75
Benzaldehyd								
Benzonitryl								
Fenol								5.59
Metylenobis (fenyloisocyjanian)								
4-metylofenylo izocyjanian								0.67
Naftalen	2.7							8.84
4-Aminostyren								
Chinolina	0.79	2.53	2.31	3.18	1.43			0.15
m-fenyleno diisocyjanian								6.77
2,4-diisocyjan metylenodifenylu (TDI)	11.9							1.87
Bifenyl		1.54	0.46	1.28	1.04	1.48	2.34	2.95
1-izocyjano naftalen		2.28	1.06	7.10	0.47	9.23	3.80	5.58

Lotne związki organiczne w dymach pożarowych są poważnym zagrożeniem zdrowotnym. Mają działanie drażniące, toksyczne, a wiele z nich jest rakotwórczych. Najbardziej niebezpieczne są benzen, formaldehyd i styren

Średniolotne związki organiczne są niebezpieczne zarówno dla zdrowia ludzi, jak i dla środowiska).
W dymach pożarowych są **szczególnie niebezpieczne**, ponieważ:

- łączą w sobie toksyczność ostrą i przewlekłą,
- wykazują działanie rakotwórcze, mutagenne i teratogenne,
- odkładają się w środowisku i organizmach żywych,
- mogą działać wiele lat po pożarze.

Izocyjaniany są szkodliwe dla żywych tkanek. Są trujące i wywołują alergiczne zapalenie pęcherzyków płucnych oraz tzw. astmę zawodową

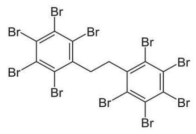
M.Borucka i wsp., Materials, 2023

CIOP PIB 75 LAT

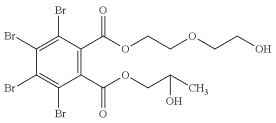
Materiały polimerowe zawierające dodatek halogenowych substancji uniepalniających

Charakterystyka środków opóźniających zapłon zawierające podstawniki halogenowe

Lp.	Nazwa chemiczna/ Akronim	CAS	Liczba zidentyfikowanych produktów rozkładu	Wykryte gazy duszące i drażniące	Główne zidentyfikowane produkty rozkładu
1	1,2-bis (pentabromo-fenylo)etan/ DBDPE	84852-53-9	16	CO, N_2O, NO, NO_2	C_2H_4, Br_2, HBr, bromowane węglowodory (aromatyczne i alifatyczne)
2	Diol tetrabromo-ftalanu/ PHT4-DIOL	77098-07-8	57	CO, N_2O, NO, NO_2, NH_3, CHOH, HCN	CH_4, C_2H_8, C_2H_4, C_3H_8, HBr, węglowodory (aromatyczne i alifatyczne), wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, bromowane węglowodory (aromatyczne i alifatyczne), bromowane wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, fenol, bromowane fenole



DBDPE
(1,2-bis(pentabromofenylo)etan)



PHT4-DIOL
Tetrabromophthalate Diol

CIOP PIB 75 LAT

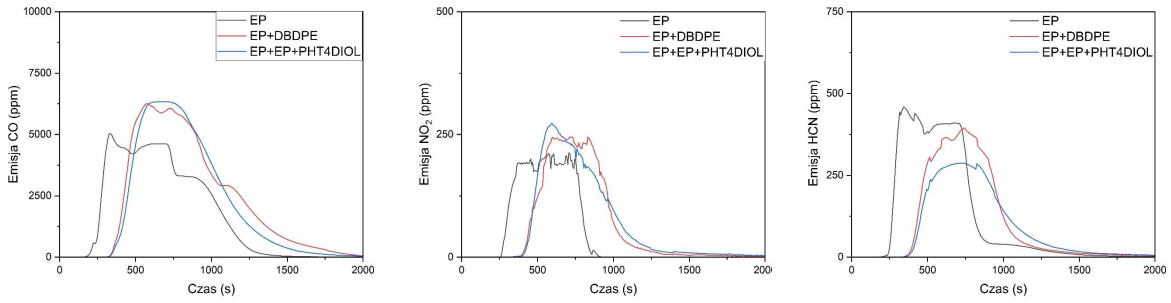
Materiały polimerowe zawierające dodatek halogenowych substancji uniepalniających

Charakterystyka próbek i przebiegu procesu spalania materiałów polimerowych zawierających halogenowe środki opóźniające palność

Nazwa robocza próbki	Faza rozwoju pożaru	Temperatura spalania [°C]	Natężenie przepływu powietrza [L/min]	Masa próbki [g]	Masa pozostałości [g]	Obserwacje podczas procesu spalania
EP	FAZA 2	650	10/40	39.4	0.5	Spalanie płomieniowe D_{O2}=3.07 %
EP+DPDPE	FAZA 2	650	10/40	46.6	0.5	Spalanie płomieniowe D_{O2}=2.77 %
EP+PH4-DIOL	FAZA 2	650	10/40	35.75	-	Spalanie płomieniowe D_{O2}=2.77 %

CIOP PIB 75 LAT

Materiały polimerowe zawierające dodatek halogenowych substancji uniepalniających – Emisja gazów duszących i drażniących



Przykładowy przebieg emisji wybranych gazów duszących i drażniących podczas spalania żywicy epoksydowej EP oraz żywic z dodatkiem diolu tetrabromoftalanu (EP+PH4DIOL) i 1,2-bis(pentabromofenylo)etanu (EP+DPDPE) w temperaturze 650 °C

CIOP PIB 75 LAT

Materiały polimerowe zawierające dodatek halogenowych substancji uniepalniających – Emisja gazów duszących i drażniących

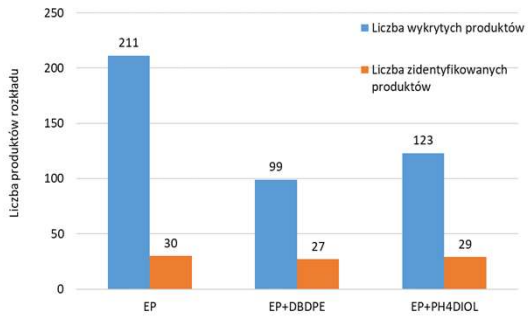
Zestawienie łącznych ilości substancji emitowanych podczas spalania materiałów polimerowych zarejestrowane w czasie 5 min stabilnego rozkładu płomieniowego odzwierciedlającego fazę 2 rozwoju pożaru

Nazwa próbki	Emisja produktów rozkładu [ppm]								
	CO_2	CO	N_2O	NO	NO_2	NH_3	HCl	CH_2O	HCN
EP	1906	4645	1,86	84,5	150	0	8,43	27,9	307
EP+DPDPE	64330	3368	1,44	21,5	85,3	0	0,02	6,32	163
EP+PH4DIOL	74930	6275	2,2	61	237	0	0	12,7	274

Nazwa próbki	Produkty termicznego rozkładu i spalania [ppm]				
	CH_4	C_2H_6	C_2H_4	C_3H_8	C_6H_{14}
EP	1935	756	313	0	0
EP+DPDPE	913	305	96,2	0	0
EP+PH4DIOL	1788	633	312	0	0

CIOP PIB 75 LAT

Materiały polimerowe zawierające dodatek halogenowych substancji uniepalniających – lotne związki organiczne



Zestawienie liczby produktów spalania żywicy epoksydowej w temperaturze 650°C przy zastosowaniu metody GC-MS

Nazwa produktu	CAS	Obecność w dymach emitowanych podczas spalania:		
		EP	EP+DBDPE	EP+PH4DIOL
Benzen	71-43-2	+	+	+
Toluen	108-88-3	+	+	+
2,4-Pentadienonitril	1615-70-9	+	+	+
3-Metylopirydyna	108-99-6	+	-	-
Styren	100-42-5	+	+	+
Bromobenzen	**108-86-1**	-	-	+
Benzaldehyd	100-52-7	+	-	+
Benzonitryl	100-47-0	+	+	+
Fenol	108-95-2	+	+	+
Alkohol benzylowy	100-51-6	+	-	-
p-kresol	106-44-5	+	+	+
Naftalen	91-20-3	+	+	+
1,2-Dibromobenzen	**583-53-9**	-	-	+
4,7-Dimetylobenzofuran	28715-26-6	+	+	+
2-Etenylobenzofuran	7522-79-4	+	+	+
2,3-Dihydrobenzofuran	496-16-2	+	-	-
Bifenyl	92-52-4	+	+	+
Acenaftylen	208-96-8	+	+	+
1,2,4-Tribromobenzen	**615-54-3**	-	+	+
2-Bromonaftalen	**580-13-2**	-	+	+
1-Izocyjanonaftalen	09-04-1984	+	+	+
Dibenzofuran	132-64-9	+	+	+
1,2,4-Tribromo-5-metylobenzen	**3278-88-4**	-	+	+
Fluoren	86-73-7	+	+	+
5-Bromo-1,2-dihydro-acenaftylen	**2051-98-1**	-	+	+
1,2,4,5-Tetrabromobenzen	**636-28-2**	-	+	+
Fenantren	85-01-8	+	+	+
2,4,4'-Tribromodifenylo eter	**41318-75-6**	-	+	+
Fluoranten	206-44-0	+	+	+

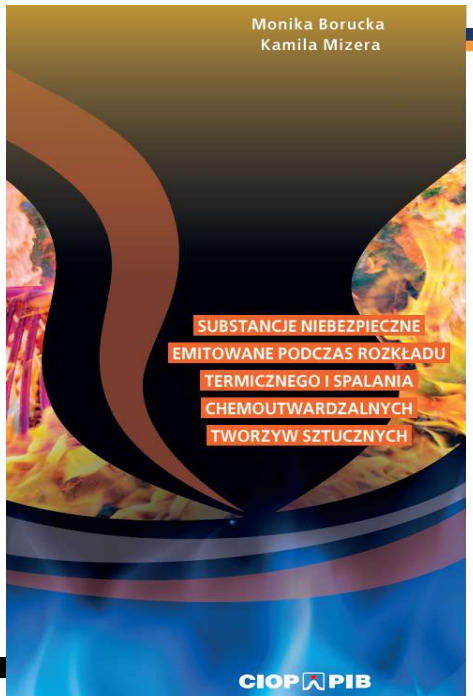
CIOP

Materiały polimerowe zawierające dodatek halogenowych substancji uniepalniających – lotne związki organiczne

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.

Nazwa produktu	CAS	Obecność w dymach emitowanych podczas spalania:		
		EP	EP+DBDPE	EP+PH4DIOL
Benzen	71-43-2	+	+	+
Toluen	108-88-3	+	+	+
2,4-Pentadienonitril	1615-70-9	+	+	+
3-Metylopirydyna	108-99-6	+	-	-
Styren	100-42-5	+	+	+
Bromobenzen	**108-86-1**	-	-	+
Benzaldehyd	100-52-7	+	-	+
Benzonitryl	100-47-0	+	+	+
Fenol	108-95-2	+	+	+
Alkohol benzylowy	100-51-6	+	-	-
p-kresol	106-44-5	+	+	+
Naftalen	91-20-3	+	+	+
1,2-Dibromobenzen	**583-53-9**	-	-	+
4,7-Dimetylobenzofuran	28715-26-6	+	+	+
2-Etenylobenzofuran	7522-79-4	+	+	+
2,3-Dihydrobenzofuran	496-16-2	+	-	-
Bifenyl	92-52-4	+	+	+
Acenaftylen	208-96-8	+	+	+
1,2,4-Tribromobenzen	**615-54-3**	-	+	+
2-Bromonaftalen	**580-13-2**	-	+	+
1-Izocyjanonaftalen	09-04-1984	+	+	+
Dibenzofuran	132-64-9	+	+	+
1,2,4-Tribromo-5-metylobenzen	**3278-88-4**	-	+	+
Fluoren	86-73-7	+	+	+
5-Bromo-1,2-dihydro-acenaftylen	**2051-98-1**	-	+	+
1,2,4,5-Tetrabromobenzen	**636-28-2**	-	+	+
Fenantren	85-01-8	+	+	+
2,4,4'-Tribromodifenylo eter	**41318-75-6**	-	+	+
Fluoranten	206-44-0	+	+	+

CIOP



Monika Borucka, Kamila Mizera

Substancje niebezpieczne emitowane podczas rozkładu termicznego i spalania chemoutwardzalnych tworzyw sztucznych

Warszawa 2022

CIOP PIB

Opracowano na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy", finansowanego w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

Projekt nr II.PB.05 pt. *Określenie substancji niebezpiecznych emitowanych podczas rozkładu termicznego i spalania chemoutwardzalnych tworzyw sztucznych stosowanych w budownictwie i transporcie*

Koordynator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Skład tworzywa	Produktu rozkładu/ spalania	
	Gazy duszące i drażniące	Pozostałe produkty rozkładu
PIR **PUR**	CO, CO_2, HCN, HCl	Izocyjaniany, poliole (żółte dymy), organo-nitryle diizocyjanian tolilenu, alkilowane benzeny i alkohole alifatyczne chlorowane zwiazki fosforoorganiczne anilina, benzonitryl 2-metoksy-4-winylofenol, podstawione fenole, styren
Elastyczne PUR	CO, CO_2, HCN, NO_x	metan, etylen, acetylene, etan, propylen, etanol, acetaldehyd, propanol, 2,4-diisocyjano-metylenodifenylu , propanonitryl, dicyjanobenzen, styren, benzonitryl, propanonitryl, metylopirydyna, inden,
Komercyjne elastyczne PUR (pianka trudnopalna)	CO, CO_2, HCN, NO_2, CHOH, HCl	formaldehyd, benzen, toluen, styren, etylobenzen, acetofenon, akrylonitryl, kwas octowy, benzaldehyd, izocyjanian fenylu, benzonitryl, fenol, izocyjanian 4-metylofenylu, 2,4-diisocyjano- metylenodifenylu (TDI), chinolina, bifenyl, naftalen, 1-izocyjanonaftalen, fosforan 1-chloro-2-propylu (TCPP)
Żywice poliestrowe	CO, CO_2, NO_2, HCN, HCl	metan, etan, etylen, propan, heksan, formaldehyde, 2,3-butanodion, kwas fenylopropionowy, benzaldehyd
Bisfelon A z melaminą	-	bisfenol A, 4,4'-(cyklopropano-1,1-diyl)difenol, 4-izopropylofenol, 4-izopropenylofenol, fenol, benzofuran
Bisfenol A	CO, CO_2	fenol, p-izopropylofenol, p-benzochinon, hydrochinon
Bromowane żywice epoksydowe (BER)	CO, CO_2,HBr	bromek metylu, akroleina, aceton, propen-1-ol, fenol, bromopropen, (metyloetenylo) fenol, bromoaceton, bezwodnik ftalowy, 2-bromofenol, izopropenylfenylowy eter glicydylowy, bisfenol A, 2,6-dibromofenol, dibromo(etylometylo)fenol, tribromobisfenol A
Żywice epoksydowe	CO, CO_2, HCN, HCl	metan, etan, heksan, formaldehyd

CIOP PIB 75 LAT

Opracowano na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego
„Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”,
finansowanego w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

Projekt nr II.PB.05 pt. *Określenie substancji niebezpiecznych emitowanych podczas rozkładu termicznego i spalania chemoutwardzalnych tworzyw sztucznych stosowanych w budownictwie i transporcie*

Koordynator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Opracowano i wydano 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 i Polityki Społecznej.

Zadanie nr 3.ZS.09, pt. *Analiza zanieczyszczeń powstających w trakcie spalania tworzyw sztucznych zawierających środki uniepalniające*

Koordynator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

CIOP PIB 75 LAT