

st. kpt. dr inż. Anna Prędecka\*  
 mł. bryg. mgr inż. Robert Piec\*  
 mł. kpt. mgr inż. Michał Sowa\*  
 bryg. mgr inż. Przemysław Wysoczyński\*\*

# Neutralizacja czynników szkodliwych oraz uciążliwych dla mieszkańców powstałych w pomieszczeniach mieszkalnych w wyniku pożaru

## *Neutralization of damaging and troublesome factors for occupants rooms occurs due to fire*

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono skuteczność działania atmosfery wzbogaconej w ozon neutralizującej czynniki szkodliwe oraz uciążliwe powstałe w wyniku pożaru. Uwalniane w środowisku pożaru produkty spalania i rozkładu termicznego tworzą mieszaninę gazów i zawieszonych cząstek stałych, stwarzających poważne zagrożenie dla mieszkańców, a także dla strażaków. Substancje takie jak tlenki siarki, fosforu, azotu, pary chlorowodoru i siarkowodoru wnikają przez układ oddechowy do organizmu człowieka wywołując zatrucia, a przy większym stężeniu w powietrzu nawet prowadzą do śmierci. Badania zostały przeprowadzone w Przeciwpożarowej Bazie Leśnej w Zamczysku Nowym w październiku 2013 r. Określanie składu atmosfery w pomieszczeniu bezpośrednio po pożarze, jak i po dezynfekcji ozonem zostało wykonane za pomocą przenośnego analizatora gazów GASMET DX-4000. Ponadto przeprowadzono weryfikację organoleptyczną, zarówno w warunkach bezpośrednio po pożarze, jak i po zastosowaniu ozonu, która potwierdziła jego neutralizujące działanie.

**Słowa kluczowe:** ozon, neutralizacja, pożar, czynniki szkodliwe.

**Abstract.** The article presents effectiveness of an activity ozone-enriched atmosphere neutralizing harmful and troublesome factors created as a result of fire. The combustion products and pyrolysis released in fire environment creates mixtures of gases and particulates which offers a serious threat to the occupants as well as firefighters. Substances such as oxides of sulfur, phosphorus, nitrogen, hydrogen chloride vapor and hydrogen sulfide penetrates into the respiratory system of the human organism and are the cause of poisoning and at higher concentrations in the air they can contribute to death. The research have been carried out in the Fire Protection Forest Base in Zamczysko Nowe in October 2013. Determining of the composition of the atmosphere immediately after the fire and after ozone disinfection in the room was performed using a portable gas analyzer Gasmert DX-4000. Additionally it was also carried an organoleptic verification, both immediately after the fire and after the application of ozone, which confirmed the neutralizing action of ozone.

**Keywords:** ozone, neutralization, fire, damaging factors.

Pożary mieszkań stanowią bardzo duże zagrożenie życia i zdrowia ludzi. Szczególnie niebezpieczne są dymy i toksyczne gazy uwalniane podczas pożaru. Przyczyniają się one do ograniczenia widoczności i powodują zatrucia, które są przyczyną ok. 75% zgonów. Jak wynika z danych statystycznych, w pożarach w Polsce ginie rocznie ok. 1,41 osoby na 100 tys. mieszkańców [1]. Analizując środowisko pożaru, można wyróżnić następujące czynniki zagrażające bezpieczeństwu mieszkańców i strażaków w warunkach pożaru: podwyższona temperatura, promieniowanie cieplne, toksyczne produkty spalania, zadymienie, niedobór tlenu oraz uszkodzenie ciała spowodowane obniżeniem

parametrów konstrukcyjnych obiektów mieszkalnych.

Produkty toksyczne wydzielające się w warunkach pożaru można podzielić na dwa rodzaje. Pierwsza grupa (np. dwutlenek węgla, tlenek węgla, cyjanowodor itp.) ma działanie narkotyczne i powoduje senność, a w konsekwencji śmierć. W skład drugiej grupy wchodzi produkty o działaniu drażniącym układ oddechowy i oczy oraz utrudniającym ewakuację, takie jak m.in.: HCl; HBr; aldehydy, np. akroleina, formaldehyd [2].

Występujące w środowisku pożaru produkty spalania i rozkładu termicznego tworzą złożoną mieszaninę gazów i zawieszonych cząstek stałych. Substancje takie jak tlenki siarki, fosforu, azotu, pary chlorowodoru i siarkowodoru wnikają przez układ oddechowy do organizmu człowieka i wywołują zatrucia, a przy większych stężeniach w powietrzu prowadzą nawet do

śmierci (np. cyjanowodor przy 0,02% w wydychanym powietrzu; dwutlenek siarki przy 0,3%; tlenek azotu przy 0,05%). Niektóre z tych substancji powodują zatrucia ostre, inne zaś mogą mieć charakter truciu podostrych, objawiających się z kilkugodzinnym opóźnieniem [3, 4].

Wśród czynników uciążliwych związanych z pożarem mieszkań i domów należy wymienić przykre zapachy, które wyczuwa się na pogorzeliisku oraz w trakcie i po zakończeniu akcji ratowniczo-gaśniczej.

### Dezynfekcja ozonem

Jednym ze sposobów usuwania zapachów stęchlizny i brzydkiej woni po pożarze jest użycie ozonu, który osłabia intensywność spaleniwny pogorzeliiska poniżej progu percepcji (skuteczność ok. 99%). Ozon jest trójatomową cząsteczką tlenu. Wiązanie trzeciego atomu tlenu jest wyjątkowo

\* Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Cywilnego

\*\* Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego

kowo nietrwałe i w krótkim czasie od wytworzenia ozon ulega rozpadowi na obojętną cząsteczkę tlenu ( $O_2$ ) i bardzo aktywny wolny atom tlenu. W procesie rozkładu do aktywnych rodników nadtlenkowych trzeci atom tlenu wchodzi w reakcję z otoczeniem. Rodniki te wykazują bardzo silne właściwości bakterio- i grzybobójcze oraz eliminują przykre, uciążliwe zapachy, pochodzenia zarówno organicznego, jak i nieorganicznego.

## Metodyka badań

Badania nad oceną skuteczności działania atmosfery wzbogaconej w ozon neutralizującej czynniki szkodliwe i uciążliwe powstałe w wyniku pożaru zostały przeprowadzone w Przeciwożarowej Bazie Leśnej w Zamczysku Nowym 19 października 2013 r. (fotografia). Badanie wykonano w kilku etapach – pierwszy sprowadził się do zbadania atmosfery w pomieszczeniu po pożarze, a następnie użyto atmosfery wzbogaconej w ozon i zmierzono ilościowo oraz jakościowo jej parametry.



**Stanowisko badawcze w Przeciwożarowej Bazie Leśnej w Zamczysku Nowym**

[Fot. P. Wysoczyński]

Określanie składu atmosfery w pomieszczeniu po pożarze zostało wykonane za pomocą metody FT-IR (Fourier Transform Infrared – Transformata Fouriera w podczerwieni) przenośnym analizatorem gazów GASMET DX-4000. Metoda bazuje na zdolności wieloatomowych cząstek gazu do pochłaniania promieniowania podczerwonego. Każdy gaz absorbuje promieniowanie o charakterystycznej długości fali, co umożliwia identyfikację poszczególnych związków w mieszaninie.

W celu określenia rozkładu ozonu w pomieszczeniu, którego atmosfera została wzbogacona w ozon, zmierzono jego stężenie za pomocą zaprojektowanego przez zespół badawczy wielosensorowego czujnika ozonu. Miernik ten umożliwia pomiar ciągły stężenia procentowego ozonu w mieszaninie gazowej za pomocą modułów pomiarowych wykorzystujących 1 – 6 sensorów MQ131, z częstotliwością po-

miarów 1 s. Wartości analogowe pochodzące z układu pomiarowego są próbkowane cyfrowo i zamieniane na wartość napięcia. Pomiaru są pobierane ze wszystkich podłączonych modułów i przesyłane bezprzewodowo do urządzenia rejestrującego.

Stanowisko badawcze zostało przygotowane w czystym metalowym kontenerze o wymiarach (szer. x dł. x wys.) 2,5 m x 6 m x 2,5 m. Następnie, aby stworzyć atmosferę zbliżoną do atmosfery po pożarze, zapalono w pomieszczeniu następujące materiały: drewno konstrukcyjne; płyta OSB; tworzywo sztuczne ABS; tkanina tapicerska. Symulowany pożar ugaszono wodą. Resztki po pożarze wyniesiono w celu stworzenia warunków zbliżonych do pożaru w pomieszczeniu mieszkalnym, a po ugaszeniu spalone elementy wyposażenia zostały sprzątnięte. W pomieszczeniu wyczuwalna była uciążliwa dla mieszkańców atmosfera. W celu weryfikacji organoleptycznej zostało wytypowanych 5 osób. Każda z nich weszła do badanego pomieszczenia na ok. 5 s. Po wyjściu przekazała swoje odczucia zespołowi badawczemu. Następnie zamknięto wszystkie otwory i uruchomiono wewnątrz generator ozonu. Czas pracy urządzenia wynosił 20 min. Stężenie chwilowe ozonu w badanym pomieszczeniu po 4 min pracy ozonatora przekroczyło zakres pomiarowy miernika i wynosiło powyżej 10 ppm. Po ozonowaniu pomieszczenia otworzono okna oraz drzwi w celu przewietrzenia oraz obniżenia stężenia ozonu w atmosferze do wartości bezpiecznych dla człowieka wynoszących poniżej 0,1 ppm. Po osiągnięciu stężenia bezpiecznego, każda badająca osoba ponownie weszła do kontenera na 5 – 10 s, a po wyjściu przekazała swoje spostrzeżenia zespołowi badawczemu.

Przeprowadzono analizę: czystej atmosfery otoczenia przed sztucznym stworzeniem pożaru; atmosfery w badanym pomieszczeniu po ugaszeniu pożaru; atmosfery wzbogaconej w ozon w pierwszej fazie ozonowania; atmosfery wzbogaconej w ozon po zakończeniu ozonowania; atmosfery po przewietrzeniu pomieszczenia. Analizie poddano następujące substancje: 001 Water vapor  $H_2O$ ; 002 Carbon dioxide  $CO_2$ ; 003 Carbon monoxide  $CO$ ; 004 Nitrous oxide  $N_2O$ ; 005 Nitric oxide  $NO$ ; 006 Nitrogen dioxide  $NO_2$ ; 007 Sulfur dioxide  $SO_2$ ; 008 Carbonylsulfide  $COS$ ; 009 Ammonia  $NH_3$ ; 010 Hydrogenchloride  $HCl$ ; 011 Hydrogencyanide  $HCN$ ; 012 Hydrogenfluoride  $HF$ ; 013 Methane  $CH_4$ ; 014 Ethane  $C_2H_6$ ; 015 Propane  $C_3H_8$ ;

016 Butane  $C_4H_{10}$ ; 017 Pentane  $C_5H_{12}$ ; 018 Hexane  $C_6H_{14}$ ; 019 Heptane  $C_7H_{16}$ ; 020 Octane  $C_8H_{18}$ ; 021 Acetylene  $C_2H_2$ ; 022 Ethylene  $C_2H_4$ ; 023 Propene  $C_3H_6$ ; 024 1-Butene  $C_4H_8$ ; 025 1,3-Butadiene  $C_4H_6$ ; 026 Cyclohexane  $C_6H_{12}$ ; 027 Benzene  $C_6H_6$ ; 028 Toluene  $C_7H_8$ ; 029 Styrene  $C_8H_8$ ; 030 m-Xylene  $C_8H_{10}$ ; 031 o-Xylene  $C_8H_{10}$ ; 032 p-Xylene  $C_8H_{10}$ ; 033 1,2,3-Trimethylbenzene  $C_9H_{12}$ ; 034 1,2,4-Trimethylbenzene  $C_9H_{12}$ ; 035 1,3,5-Trimethylbenzene  $C_9H_{12}$ ; 036 Formic acid  $CH_2O$ ; 037 Acetic acid  $C_2H_4O_2$ ; 038 Formaldehyde  $CHOH$ ; 039 Acetaldehyde  $C_2H_4O$ ; 040 Acetone  $C_3H_6O$ ; 041 Methanol  $CH_4O$ ; 042 Ethanol  $C_2H_6O$ ; 043 Propanol  $C_3H_8O$ ; 044 Isopropanol  $C_3H_8O$ ; 045 Butanol  $C_4H_{10}O$ .

## Wyniki badań

Pierwsze badania jakościowe przeprowadzone w pomieszczeniu metodą organoleptyczną po ugaszeniu symulowanego pożaru dały wyniki jednoznacznie negatywne: wszyscy oceniający atmosferę w pomieszczeniu stwierdzili, że nie da się przebywać w takim otoczeniu. Zapach utrzymujący się w pomieszczeniu pomimo wietrzenia, otwartego okna oraz drzwi był tak uciążliwy, że wszyscy badani zgodnie ocenili, iż atmosfera jest bardzo uciążliwa i wykluczyła normalne funkcjonowanie w pomieszczeniu w analogicznej atmosferze.

Drugie badania przeprowadzone po wzbogaceniu atmosfery w ozon, a następnie przewietrzeniu pomieszczenia dały jednoznacznie pozytywne wyniki: wszyscy oceniający atmosferę w pomieszczeniu stwierdzili, że uciążliwe zapachy są niewyczuwalne. Odczucia zapachowe są neutralne lub pozytywne. Wszyscy badający stwierdzili, że atmosfera umożliwia normalne funkcjonowanie w pomieszczeniu.

Badania ilościowe wykonane za pomocą metody FT-IR (Fourier Transform Infrared – Transformata Fouriera w podczerwieni) przenośnym analizatorem gazów GASMET DX-4000 pozwoliły ocenić, które gazy reagowały z wprowadzonym ozonem (tabela). Wykonano 40 pomiarów stężenia badanych gazów. W przypadku wody  $H_2O$  rejestrowano wartości w [vol-%], a pozostałych gazów w [ppm].

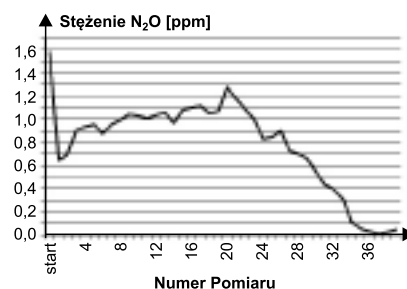
Podczas przeprowadzonej analizy zauważono, że następujące gazy nie weszły w reakcję z ozonem: *Watervapor*  $H_2O$ , *Nitric oxide*  $NO$ , *Nitrogen dioxide*  $NO_2$ , *Hydrogencyanide*  $HCN$ , *Acetylene*  $C_2H_2$ , *1-Butene*  $C_4H_8$ , *Toluene*  $C_7H_8$ , *Formaldehyde*  $CHOH$ , *Butanol*  $C_4H_8O$ . Pozostałe badane gazy zmieniały swoje właściwości,

## Wyniki pomiarów wybranych gazów

Badany gaz	Numer pomiaru					
	start	1	10	20	30	39
001 Water vapor H <sub>2</sub> O	0,0000	0	0	0	0	0
002 Carbon dioxide CO <sub>2</sub>	2651,721	1074,312	494,0292	641,0488	508,0266	491,8782
003 Carbon monoxide CO	1,3969	0	0	0	0	0,7035
004 Nitrousoxide N <sub>2</sub> O	1,5733	0,6482	1,0275	1,2763	0,5395	0,041
005 Nitricoxide NO	0,0000	0	0	0	0	0
006 Nitrogendioxide NO <sub>2</sub>	0,0000	0	0	0	0	0
007 Sulfurdioxide SO <sub>2</sub>	1,2157	0,2709	0,0796	0,4327	0,4466	0,4243
008 Carbonylsulfide COS	0,0000	0,1041	0,0182	0,1404	0,1524	0
009 Ammonia NH <sub>3</sub>	0,0000	0,256	0,8467	0,4079	0,1924	0,2181
010 Hydrogenchloride HCl	0,5775	0,0139	0,6951	0,4081	0,8252	0,7438
011 Hydrogencyanide HCN	0,0000	0	0	0	0	0
012 Hydrogenfluoride HF	0,0771	0,2887	0,359	0,2057	0,1294	0,1523
013 Methane CH <sub>4</sub>	1,1786	2,1213	2,3068	2,1901	1,3521	1,5957
014 Ethane C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	4,3679	0	4,0563	0,7905	0,6337	1,2338
015 Propane C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,8812	0	0	0	0,1175	1,1831
016 Butane C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,0000	1,7105	0	0,2836	0	0
017 Pentane C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	1,4273	3,1218	1,5763	2,061	4,3935	0,0885
018 Hexane C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,0000	0	0	0	0	0
019 Heptane C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	0,0000	1,344	0,2889	0,085	0	0,162
020 Octane C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0,1968	0	0	0,5138	0,3914	0
021 Acetylene C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0,0000	0	0	0	0	0
022 Ethylene C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,3016	2,1346	1,6702	1,9483	2,2077	2,2136
023 Propene C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	3,9574	2,7973	2,2813	8,52	2,7414	2,5112
024 1-Butene C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	0,0000	0	0	0	0	0
025 1,3-Butadiene C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	1,7209	2,1798	2,1223	0,9253	3,3175	2,1606
026 Cyclohexane C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	0,0000	0,099	0	0	0	0,0355
027 Benzene C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	5,8306	3,9242	8,0587	8,8781	4,6047	6,8385
028 Toluene C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	0,0000	0	0	0	0	0
038 Formaldehyde CHOH	0,0000	0	0	0	0	0
039 Acetaldehyde C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	0,0000	0,0391	0,018	0,2189	0	0,395
040 Acetone C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	1,1439	1,6388	1,4851	1,9137	1,6454	1,9478
041 Methanol CH <sub>4</sub> O	0,0000	0,4006	0	0,8343	0,3191	0
042 Ethanol C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	2,8708	1,3956	0,5209	2,0965	3,8837	2,1869
043 Propanol C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O	0,025	0	0	0	1,2998	0
044 Isopropanol C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O	1,0589	1,3846	1,6606	1,4567	0,921	2,7622
045 Butanol C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	0,0000	0	0	0	0	0

[Źródło: opracowanie własne]

gdą atmosferę wzbogacono w ozon. Analiza stężeń gazów w atmosferze w pomieszczeniu po pożarze oraz po ozonowaniu nie jest jednoznaczna. Na rysunku przedstawiono stężenie gazu Nitrousoxide N<sub>2</sub>O, którego wartość w atmosferze wzbogaconej w ozon maleje.

Stężenie Nitrousoxide N<sub>2</sub>O

[Źródło: opracowanie własne]

## Podsumowanie i wnioski

Przedstawione wyniki badań są wstępem do szerszej analizy wpływu ozonu na czynniki szkodliwe oraz uciążliwe dla mieszkańców w pomieszczeniach mieszkalnych powstałe w wyniku pożaru. Są one prowadzone obecnie w Szkole Głównej Służby Pożarnej w ramach pracy statutowej przez autorów artykułu. Pozytywne wyniki, przede wszystkim badań jakościowych, pozwalają już teraz pozytywnie odnieść się do metody wzbogacania atmosfery w ozon jako skutecznego sposobu neutralizacji czynników uciążliwych. Po wzbogaceniu atmosfery w ozon wszyscy oceniający stwierdzili, że w badanym pomieszczeniu nie jest wyczuwalny zapach spalenizny (atmosfera wzbogacona w ozon zneutralizowała czynniki uciążliwe powstałe w wyniku pożaru).

Należy jednak pamiętać, że atmosfera w pomieszczeniu po pożarze jest wynikiem rozkładu termicznego materiałów palnych oraz reakcją na środek gaśniczy, zatem skuteczność przedstawionej metody może się różnić w zależności od tego, jaki produkt uległ spalaniu.

## Literatura

- [1] Półka M., Konecki M.: Parametry krytyczne pożaru jako wyznaczniki bezpieczeństwa pożarowego. *Polski Przegląd Medycyny Lotniczej* nr 4 tom 14, październik – grudzień 2008.
- [2] Toxicity testing of fire effluents-part 1 ISO/IEC TR 9122-1, 1989.
- [3] Trietman R. D., Burgess W. A., Gold A.: Air contaminants encountered by firefighters. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 41, 1980.
- [4] Statheropoulos M., Karma S.: Complexity and origin of the smoke components as measured near the flame-front of a real forest fire incident: A case study. *ScienceDirect. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Volume 78, Issue 2, 2007.