

**kpt. mgr inż. Sylwia Boroń**

*Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego*

*Szkoła Główna Służby Pożarniczej*

## **Parametry charakteryzujące zagrożenia związane ze stosowaniem technologii gaszenia gazem**

### **Abstrakt**

W artykule scharakteryzowano parametry opisujące zagrożenia dla zdrowia i życia ludzi oraz środowiska naturalnego, wynikające ze stosowania gazowych środków gaśniczych. Ponadto omówiono metody zmierzające do ograniczenia oraz likwidacji możliwych zagrożeń.

**Słowa kluczowe:** stałe urządzenia gaśnicze gazowe, gazy obojętne, dwutlenek węgla, chlorowcopochodne węglowodorów, potencjał niszczenia warstwy ozonowej, potencjał tworzenia efektu cieplarnianego, czas życia gazu w atmosferze

## **Parameters Characterizing the Hazards Associated with the Use of Gas Extinguishing Technology**

### **Abstract**

The article discusses the parameters describing the threats to the human health and life and to the natural environment, resulting from the use of gaseous extinguishing agents. The methods for the elimination or reduction of the threats, mentioned above, were described.

**Keywords:** fixed gaseous extinguishing system, inert gases, carbon dioxide, halogenated hydrocarbon, Ozone Depletion Potential, Global Warming Potential, Atmospheric Life Time

## 1. Zagrożenia związane z gaszeniem gazem

Gazy gaśnicze wykorzystywane w stałych urządzeniach gaśniczych gazowych (SUG-gazowych) mogą być skutecznie i bezpiecznie stosowane pod warunkiem, że zostaną zidentyfikowane wszystkie możliwe zagrożenia związane z ich użytkowaniem i podjęte odpowiednie środki zapobiegawcze.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie analizy i oceny parametrów kształtujących zagrożenia związane z wykorzystaniem technologii gaszenia gazem oraz omówienie zaleceń techniczno-organizacyjnych podnoszących poziom bezpieczeństwa w pomieszczeniach chronionych.

Główne zagrożenia wynikające ze stosowania gazowych środków gaśniczych to szkodliwe działanie na organizm człowieka przy długiej ekspozycji na gaz, głównie w wyniku inhalacji oraz rozpadu gazów gaśniczych, a także ich niszczący wpływ na środowisko naturalne.

### 1.1. Parametry toksykologiczne

W ochronie przeciwpożarowej pomieszczeń gazowymi środkami gaśniczymi nie stosuje się obecnie gazów gaśniczych wykazujących szkodliwy wpływ na zdrowie i życie ludzi przy stężeniach niższych niż stężenie gaszące. Odstępstwo stanowi dwutlenek węgla, który – ze względu na dobre właściwości gaśnicze i niski koszt wytwarzania – jest często stosowany w stałych urządzeniach gaśniczych. W stężeniu gaszącym ma on toksyczny, wręcz śmiertelny wpływ na organizm człowieka. W związku z tym stosowanie dwutlenku węgla do zabezpieczania pomieszczeń, w których przebywają ludzie, jest niedozwolone [1].

W warunkach naturalnych stężenie dwutlenku węgla w atmosferze wynosi ok. 0,2–0,5% i nie stanowi zagrożenia dla otoczenia. Dwutlenek węgla ma kluczowe znaczenie dla funkcjonowania organizmu człowieka, ponieważ wpływa m.in. na uwalnianie tlenu do tkanek i narządów, równowagę kwasowo-zasadową krwi oraz szybkość pracy serca. Zawartość dwutlenku węgla w organizmie na poziomie 2%, stymuluje ośrodek oddechowy do przyspieszonych oddechów. Dalszy wzrost stężenia (6% – 10%) wywołuje duszność, bóle głowy, niepokój, zmęczenie, zmniejszenie spostrzegawczości, pobudzenie ruchowe i drażliwość. Stężenie dwutlenku węgla w zakresie od 10–20% powoduje zamroczenie, drgawki i zaburzenia rytmu oddechowego, prowadząc w ostateczności do

zgonu na skutek porażenia układu oddechowego. Gwałtowny wzrost stężenia dwutlenku węgla w powietrzu do ponad 30% powoduje śmierć w wyniku porażenia naczyń krwionośnych mózgu i jego obrzęku [2, 3].

Stężenia dwutlenku węgla warunkujące skuteczne ugaszenie pożaru istotnie przekraczają 30%. Czas wyzwolenia wymaganej ilości gazu wynosi około jednej minuty, dlatego dwutlenek węgla jest tak niebezpieczny dla ludzi przebywających w gaszonym pomieszczeniu.

**Tabela 1. Wpływ dwutlenku węgla na organizm ludzki według EPA**

Stężenie	Czas narażenia	Reakcja
2% 3% 4–6%	kilka godzin godzina kilka minut	ból głowy, zmęczenie po małym wysiłku, nadmierne pocenie, wzrost ciśnienia krwi, zawroty głowy, dreszcze
7–10%	kilka minut	przyspieszone tętno, krótki oddech, senność, możliwość utraty przytomności
11–16% 17–30%	kilka minut minuta	utrata przytomności, śpiączka, konwulsje, śmierć

Źródło: [4]

Zważywszy na mechanizm gaśniczy gazów obojętnych, polegający na redukcji stężenia tlenu w strefie spalania, odczuwalne mogą być objawy niedotlenienia organizmu przez osoby przebywające lub będące w trakcie ewakuacji z pomieszczenia, w którym doszło do uwolnienia gazu gaśniczego.

Przy stężeniu tlenu powyżej 16% nie obserwuje się negatywnych skutków dla zdrowia i życia człowieka. W zakresie stężeń od 12–16% zauważalne są trudności z zachowaniem prawidłowej aktywności fizycznej i psychicznej. Dalsze obniżenie stężenia tlenu do poziomu 10% – 12% stwarza zagrożenie utraty przytomności. Poniżej stężenia 10% następuje śmierć organizmu w ciągu kilku minut [5].

W przypadku stosowania zamienników halonów, należy mieć świadomość możliwych, negatywnych skutków zdrowotnych, objawiających się zakłóceniami pracy serca. Podwyższone stężenie gazów chemicznych podnosi poziom adrenaliny we krwi, co może prowadzić do nagłej arytmii serca [6]. Stosując chlorowcopochodne węglowodorów, należy pamiętać, że podczas kontaktu z płomieniami i gorącymi powierzchniami ulegają one rozkładowi

termicznemu. Powstający wówczas fluorowodór (HF) jest silnie toksyczny dla ludzi, jak również przyczynia się do korozji urządzeń elektrycznych. Konieczne jest minimalizowanie szkodliwego wpływu gazów chemicznych poprzez krótki czas wyzwolenia do pomieszczenia chronionego.

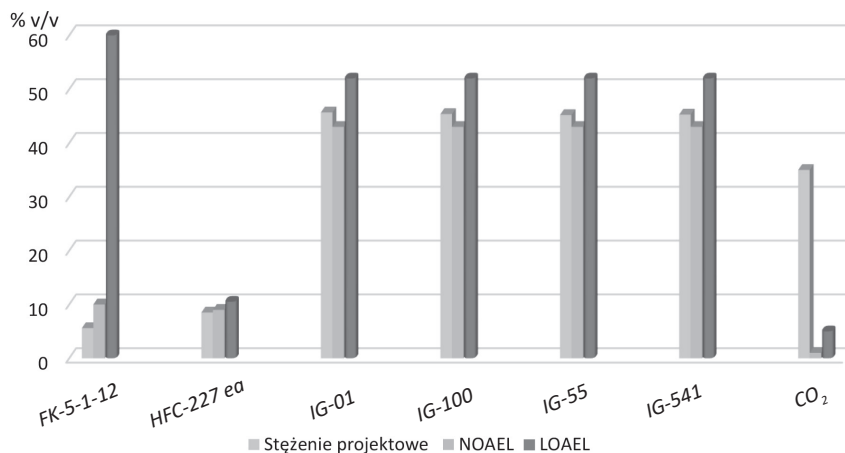
Określając wpływ gazów gaśniczych na zdrowie i życie ludzi, należy posłużyć się następującymi parametrami:

- **NOAEL** (ang. *No Observed Adverse Effect Level*) – najwyższe stężenie środka gaśniczego, dla którego nie zaobserwowano żadnego działania niepożądanego na organizm ludzki;
- **LOAEL** (ang. *Lowest Observed Adverse Effect Level*) – najniższe stężenie środka gaśniczego, przy którym zaobserwowano jakikolwiek niekorzystny wpływ na organizm ludzki.

**Tabela 2. Zestawienie stężenia projektowego oraz wartości NOAEL, LOAEL wybranych gazów gaśniczych.**

Nazwa	Skład	Stężenie projektowe [% v/v]	NOAEL [% v/v]	LOAEL [% v/v]
<i>HFC-227 ea</i>	$C_3HF_7$	8,5	9	10,5
<i>FK-5-1-12</i>	$C_6F_9O$	5,6	10	>10
<i>IG-100</i>	$N_2$	45,7	43	52
<i>IG-01</i>	Ar	45,4	43	52
<i>IG-55</i>	Ar 50% v/v, $N_2$ 50% v/v	45,2	43	52
<i>IG-541</i>	Ar 40% v/v, $N_2$ 52% v/v, $CO_2$ 8% v/v	45,3	43	52
$CO_2$	$CO_2$	35–60	1	5

Źródło: [7, 8]



**Rys. 1. Zestawienie wskaźników toksyczności dla poszczególnych gazów gaśniczych**

Źródło: opracowanie własne

Wyładowaniu gazu gaśniczego towarzyszy okresowe obniżenie temperatury w pomieszczeniu chronionym. W sposób szczególny zjawisko to dotyczy dwutlenku węgla. Jeżeli skroplony dwutlenek węgla zostanie nagle rozprężony do ciśnienia atmosferycznego, powstają wówczas zestalone śnieżnobiałe grudki CO<sub>2</sub> o temperaturze -79°C, które zmieniają się w gaz z pominięciem fazy ciekłej. W wyniku gwałtownego obniżenia temperatury może dojść do odmrożenia części ciała osób znajdujących się w pobliżu dysz wylotowych lub szoku termicznego sprzętu elektronicznego. Obniżenie temperatury powoduje wytrącenie się pary wodnej z powietrza i zamglenie przestrzeni chronionej. Lepszym podejściem wydaje się zastosowanie stałego urządzenia gaśniczego bazującego na gazach obojętnych. Zaletą takiego rozwiązania jest brak utraty przejrzystości powietrza w trakcie wyzwolenia środka gaśniczego, przez co osoby znajdujące się wewnątrz mają szansę na bezpieczną ewakuację.

Wyzwolenie gazu generuje hałas o natężeniu rzędu 100 dB, niepowodującym jednak poważnego zagrożenia uszkodzenia słuchu.

### 1.2. Parametry ekologiczne

Gazy gaśnicze stosowane współcześnie w urządzeniach gaśniczych podlegają szczegółowej weryfikacji pod względem długoterminowego wpływu na środowisko naturalne. Podstawowymi kryteriami oceny w tym zakresie są:

- **Potencjał niszczenia warstwy ozonowej, ODP** (ang. *Ozone Depletion Potential*) – wskaźnik utworzony w celu ilościowej oceny wpływu poszczególnych substancji na warstwę ozonową. Został odniesiony do freonu 11 ( $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ ) uznanego za wartość jednostkową (ODP = 1).
- **Potencjał tworzenia efektu cieplarnianego, GWP** (ang. *Global Warming Potential*) – wskaźnik niszczenia ozonu stratosferycznego. Porównuje ilość ciepła zatrzymanego przez określoną masę gazu do ilości ciepła zatrzymanego przez podobną masę dwutlenku węgla. GWP jest przeliczany dla określonego przedziału czasu, zwykle 100 lat. Wskaźnik wyznaczany względem dwutlenku węgla (dla  $\text{CO}_2$  GWP jest równy 1).
- **Czas życia w atmosferze, ALT** (ang. *Atmospheric Lifetime*) – czas przebywania gazu bez rozkładu w atmosferze wyrażony w latach.

**Tabela 3. Wskaźniki ODP, GWP, ATL dla wybranych gazów gaśniczych**

Nazwa	Skład	ODP	GWP	ALT [lat]
<i>HFC-227 ea</i>	$\text{C}_3\text{HF}_7$	0	3 800	36,5
<i>FK-5-1-12</i>	$\text{C}_6\text{F}_9\text{O}$	0	1	0,014
<i>IG-100</i>	$\text{N}_2$	0	nie dotyczy	nie dotyczy
<i>IG-01</i>	Ar	0	nie dotyczy	nie dotyczy
<i>IG-541</i>	Ar 40% v/v, $\text{N}_2$ 52% v/v, $\text{CO}_2$ 8% v/v	0	nie dotyczy	nie dotyczy
<i>IG-55</i>	Ar 50% v/v, $\text{N}_2$ 50% v/v	0	nie dotyczy	nie dotyczy
$\text{CO}_2$	$\text{CO}_2$	0	1	5–200

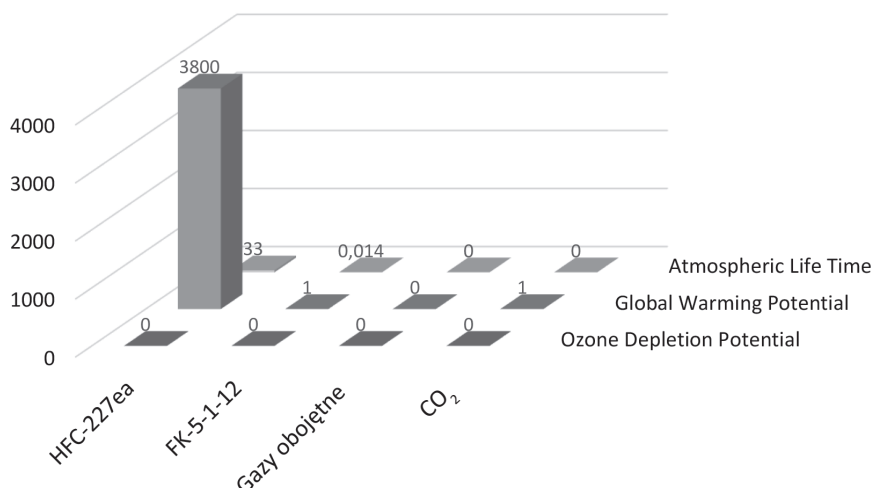
Źródło: [7, 8, 9]

Aby można było uznać gaz gaśniczy za nieszkodliwy dla środowiska naturalnego, powinien on wykazywać zerowy potencjał niszczenia warstwy ozonowej (ODP = 0), nie wpływać na powiększenie efektu cieplarnianego oraz charakteryzować się krótkim czasem życia w atmosferze. Z zestawienia

gazów gaśniczych (tabela 3) wynika, że trudno spełnić jednocześnie wszystkie te warunki. Brak negatywnego wpływu na środowisko cechuje wyłącznie gazy obojętne, występujące w naturalnych warunkach w atmosferze ziemskiej. Obecnie stosowane zamienniki halonów, chociaż nie wywierają niszczącego wpływu na warstwę ozonową, są gazami cieplarnianymi (odznaczają się wysokim współczynnikiem GWP) oraz wykazują długi czas życia w atmosferze. Wyjątek stanowi gaz FK-5-1-12, który przez wprowadzenie do cząsteczki dodatkowej grupy funkcyjnej zwiększa podatność substancji na degradację w atmosferze [10].

Dwutlenek węgla jest składnikiem atmosfery ziemskiej mającym istotny wpływ na magazynowanie ciepła w troposferze. Jego udział w efekcie cieplarnianym wynosi 50%. Wzrost ilości dwutlenku węgla w atmosferze potęgują procesy oddychania oraz spalania paliw kopalnych.

Koncentracja gazów cieplarnianych w powietrzu w wyniku różnorodnej działalności człowieka – ciągle wzrasta. Konsekwencje podwyższenia stężenia gazów cieplarnianych mogą prowadzić do poważnych zmian klimatycznych, środowiskowych i cywilizacyjnych. Aby utrzymać pod kontrolą proces globalnego ocieplenia, należy podejmować działania zmierzające do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych do atmosfery ziemskiej.



**Rys. 2. Zestawienie wskaźników ODP, GWP i ALT dla poszczególnych gazów gaśniczych**

Źródło: opracowanie własne

## **2. Warunki bezpieczeństwa w pomieszczeniach chronionych stałymi urządzeniami gaśniczymi gazowymi**

Zgodnie z rozporządzeniem [11] w strefach pożarowych i pomieszczeniach wyposażonych w stałe urządzenia gaśnicze gazowe powinny być zapewnione odpowiednie warunki bezpieczeństwa, adekwatnie do wymagań norm dotyczących tych urządzeń.

Norma europejska PN EN 15004-1:2008 [9] nakłada obowiązek zapewnienia następujących środków bezpieczeństwa w pomieszczeniach chronionych systemami SUG-gazowych, przeznaczonych na pobyt ludzi:

- samozamykające się drzwi wahadłowe, otwierające się na zewnątrz, które mogą być otwierane od wewnątrz, nawet jeśli są zamknięte z zewnątrz;
- alarmy optyczne i akustyczne nadawane w sposób ciągły, zlokalizowane przy wejściach i wyznaczonych wyjściach wewnątrz chronionych obszarów oraz ciągle alarmy optyczne na zewnątrz chronionego pomieszczenia, działające do momentu osiągnięcia w pomieszczeniu warunków bezpiecznych;

- odpowiednie znaki ostrzegawcze i instruujące.

Zalecenia zwiększające bezpieczeństwo personelu dotyczą:

- zapewnienia i utrzymywania warunków bezpiecznych na drogach, przejściach i dojściach ewakuacyjnych;
- zapewnienia odpowiedniego oświetlenia bezpieczeństwa oraz znaków kierunkowych poprawiających sprawność i bezpieczeństwo ewakuacji;
- zorganizowania systemu poszukiwania i ratowania osób, które mogły stracić przytomność w chronionej przestrzeni; w związku z tym należy zapewnić personel odpowiednio przeszkolony w udzielaniu pierwszej pomocy, wyposażony w sprzęt ochrony dróg oddechowych;
- stosowania drzwi otwierających się na zewnątrz w wyjściach z przestrzeni zagrożonych, z samozamykaczami, a tam, gdzie drzwi wyposażone są w zamki zatraskowe, instalowania zamków przeciwpanicznych;
- zapewnienia wentylacji chronionych przestrzeni, służącej odprowadzeniu gazów po ugaszeniu pożaru i upływie czasu retencji.

Ponadto należy wziąć pod uwagę wszelkie inne przedsięwzięcia i środki zabezpieczające, które mogą poprawić bezpieczeństwo osób narażonych na działanie gazu gaśniczego, takie jak: szkolenie personelu, plany ewakuacyjne i praktyczne ćwiczenia przeciwpożarowe.



Tworząc system bezpieczeństwa pomieszczeń zabezpieczanych SUG-gazowymi, kluczem jest, aby stosować podejście kompleksowe i efektywne, które pozwoli wykazać rzeczywiste zagrożenia oraz zastosować odpowiednie rodzaje zabezpieczeń z uwzględnieniem ich wzajemnej interakcji.

### 3. Podsumowanie

Dobór optymalnego sposobu gaszenia polega na selekcji gazu, który najlepiej spełni swoją rolę podczas gaszenia pożaru w danym pomieszczeniu. Wybór odpowiedniego gazu gaśniczego uwarunkowany jest wieloma czynnikami, cechującymi zarówno obszar chroniony, jak i sam gaz gaśniczy. Wszystkie współcześnie proponowane gazowe środki gaśnicze posiadają pewne ograniczenia. Wynikają one z niekorzystnego wpływu na środowisko oraz zdrowie i życie ludzi przebywających w pomieszczeniach chronionych.

W artykule omówiono źródła zagrożeń generowane przez poszczególne rodzaje gazów gaśniczych. Część z nich można ograniczyć, podejmując odpowiednie działania organizacyjno-techniczne, skutkujące podniesieniem poziomu bezpieczeństwa w pomieszczeniach chronionych. Analizując aspekt bezpieczeństwa środowiska, można spodziewać się w najbliższej przyszłości zmniejszenia atrakcyjności gazów chemicznymi oraz dwutlenku węgla stosowanych w ochronie przeciwpożarowej z racji negatywnego wpływu na efekt cieplarniany.

### Literatura

- [1] Wnęk W., Kubica P., Boroń S., Niedziółka K., Przewietrzanie pomieszczeń po gaszeniu gazem, *Przemysł Chemiczny* 2015, tom 94, nr 5.
- [2] Wilczkowski S., Czym zastąpić halony?, *Przegląd Pożarniczy* 1999, nr 1.
- [3] Banaszewski S., Jędrzejewski P., Ochrona przeciwpożarowa – gaszenie wodą i dwutlenkiem węgla, *Zabezpieczenia* 2010, nr 2.
- [4] Carbon Dioxide as a Fire Suppressant: Examining the Risks. U.S. Environmental Protection Agency, February 2000.
- [5] Gołachowski W. A., Gazy obojętne i ich mieszaniny w zastosowaniu gaśniczym, *Systemy Alarmowe* 1995, nr 5.
- [6] Kucnerowicz-Polak B., Alternatywne technologie gaszenia. Redukcje stosowania halonów. Materiał szkoleniowy, KG PSP, Warszawa 1998.

- [7] NFPA 2001: Standard On Clean Agent Fire Extinguishing Systems Edition: 2012.
- [8] PN-M-51250-01:1993P, Stałe urządzenia gaśnicze – – Urządzenia na dwutlenek węgla – – Zasady projektowania i instalowania.
- [9] PN EN 15004-1:2008 Stałe urządzenia gaśnicze – – Urządzenia gaśnicze gazowe – – Część 1: Ogólne wymagania dotyczące projektowania i instalowania.
- [10] Mizerski A., Sobolewski M., Środki gaśnicze. Ćwiczenia laboratoryjne, SGSP, Warszawa 1997.
- [11] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz.U. nr 109 poz. 719).