

mgr inż. Waldemar Wnęk
mgr inż. Przemysław Kubica
Szkoła Główna Służby Pożarniczej
Zakład Technicznych Systemów Zabezpieczeń
Warszawa

Czy dwutlenek węgla jako środek gaśniczy powinien odejść do lamusa?

Od kilku lat w kraju podejmuje się skuteczne działania mające na celu zamianę halonowych środków gaśniczych niszczących warstwę ozonową oraz intensyfikujących efekt cieplarniany. Środkami zamiennymi są chlorowcopochodne węglowodorów i gazy obojętne – skuteczne ale bardzo drogie. Dwutlenek węgla, mimo skuteczności wielokrotnie potwierdzonej w praktyce, wydaje się być pomijany.

Porównanie parametrów dwutlenku węgla i innych gazów gaśniczych

Gazy gaśnicze obecnie stosowane w stałych urządzeniach gaśniczych można podzielić na trzy grupy: dwutlenek węgla, chlorowcopochodne węglowodorów i gazy obojętne. Zgodnie z nomenklaturą wprowadzoną przez NFPA (*National Fire Protection Association*) chlorowcopochodne węglowodorów i gazy obojętne noszą nazwę „czyste środki gaśnicze”.

Dwutlenek węgla jest gazem, którego historia zastosowań w ochronie przeciwpożarowej sięga, podobnie jak w przypadku halonów, początku XX wieku. Skuteczność gaśnicza urządzeń na dwutlenek węgla była wielokrotnie potwierdzona w rzeczywistych sytuacjach, niestety potwierdzony jest również jego szkodliwy, często zabójczy, wpływ na człowieka.

Chlorowcopochodne węglowodorów nazywane są również zamiennikami halonów, ponieważ posiadają szereg cech wspólnych z halonami. Zbudowane są najczęściej na bazie metanu CH_4 lub etanu C_2H_6 , w których jeden lub wszystkie atomy wodoru zastąpione zostały atomami chloru, fluoru, jodu lub odpowiednimi kombinacjami.

Gazy obojętne stosowane do celów gaśniczych to azot, argon ich mieszaniny, w jednym przypadku z niewielką domieszką CO_2 . Gazy obojętne posiadają cechy zdecydowanie różne od halonów. Ich działanie gaśnicze polega na obniżeniu stężenia tlenu w zabezpieczonym pomieszczeniu.

Tabela 1. Gazy gaśnicze

	nazwa handlowa	nazwa według NFPA	skład chemiczny	gęstość gazu w warunkach normalnych [kg/m ³]
	dwutlenek węgla	Carbon dioxide	CO ₂	1,83
ZAMIENNIKI HALONÓW	CEA 308	FC-2-1-8	C ₃ F ₈	7,905
	CEA 410	FC-3-1-10	C ₄ F ₁₀	9,85
	S III	HCFC Blend A	CHCl ₂ CF ₃ (4,75%) CHClF ₂ (82%) CHClF ₂ CF ₃ (3,75%)	3,84
	FM 200			
	FE 227	HFC-227 ea	CF ₃ CHFCF ₃	7,260
	FE 241	HCFC-124	CHClF ₂ CF ₃	5,83
	FE 25	HFC-125	CHF ₂ CF ₃	5,06
	FE 13	HFC-23	CHF ₃	2,915
	FE 36	HFC-236 fa	CF ₃ CH ₂ CF ₃	6,545
	FIC 1311	FIC-1311	CF ₃ I	8,051
	NOVEC 1230		CF ₃ CF ₂ C(O)CF ₂ (CF ₃) ₂	18,4
GAZY OBOJĘTNE	Argon	IG-01	Ar	1,7
	Nitrogen	IG-100	N ₂	1,165
	Inergen	IG-541	N ₂ (52%) Ar (40%) CO ₂ (8%)	1,430
	Argonit	IG-55	N ₂ (50%) Ar (50%)	1,41

Stężenia projektowe

Stężenie projektowe (*ang. design concentration*) to stężenie objętościowe gazu gaśniczego w powietrzu, które powinno osiągnięte w zabezpieczonym pomieszczeniu po wyładowaniu. W przypadku czystych środków gaśniczych wartość stężenia projektowego jest równa stężeniu gaszącemu, pomnożonemu przez współczynnik bezpieczeństwa, wynoszący 1,3; w pewnych przypadkach dopuszcza się współczynnik 1,2. Dla dwutlenku węgla przyjmuje się współczynnik bezpieczeństwa o wartości 1,7.

Stężenie gaszące (*ang. extinguishing concentration*) to najniższe stężenie gazu gaśniczego, przy którym gasną płomienie. Stężenia gaszące wyznaczane są indywidualnie dla każdego gazu gaśniczego w drodze badań eksperymentalnych, przy czym określone są stężenia względem poszczególnych grup materiałów. Dla cieczy gazów stężenia gaszące wyznaczane są metodą palnika tyglowego.

Najczęściej spotykanym materiałem względem, którego podawane są stężenia projektowe jest n – heptan, dlatego też w tabeli 2 podano wartości stężeń poszczególnych gazów gaśniczych względem n – heptanu.

Tabela 2. Stężenia projektowe gazów względem n – heptanu¹

	Nazwa gazu	Stężenie [%]
ZA- MIEN- NIKI HALO- NÓW	FIC 13I1	3,9
	HFC 236fa (FE 36)	6,9
	FC 3-1-10 (CEA 410)	7,7
	HFC-227ea (FM 200)	8,6
	HCFC-124	8,7
	FC 2-8-1	9,5
	HFC-125	10,5
	HCFC BLEND A	12,9
	HFC 23	15,6
	NOVEC	3,5 (paliwo propanowe)
	dwutlenek węgla	35
GAZY OBOJĘTNE	IG-541 (INERGEN)	37,8
	IG-55 (ARGONIT)	42,0
	IG-100	43,7
	IG-01 (ARGON)	48,8

Oddziaływanie na człowieka

Wpływ dwutlenku węgla na człowieka jest podstawową przyczyną niechęci inwestorów do tego gazu. Jego szkodliwe, często zabójcze, działania zostało niejednokrotnie potwierdzone w praktyce. Zgodnie z danymi EPA (*Environmental Protection Agency*)², wskutek zadziałania urzędów gaśniczych na dwutlenek węgla lub ich nieprawidłowej konserwacji, w latach 1945 do 2000 zanotowano 119 ofiar śmiertelnych. Przy czym są to ofiary udokumentowane, rzeczywista ilość może być większa od tej liczby. Ponadto bezpośrednie narażenie skóry lub oczu na wypływający dwutlenek węgla (-79 °C) może powodować bolesne, trudne do wygojenia odmrożenia, a nawet utratę wzroku.

Oddziaływanie czystych środków gaśniczych na człowieka charakteryzowane jest poprzez najwyższe stężenia, przy których jeszcze nie obserwuje się negatywnego skutku – NOAEL (*No Observed Adverse Level*) oraz najniższe stężenia, przy których stwierdzono niekorzystny skutek toksyczny – LOAEL (*Lowest Observed Adverse Level*). Gazy obojętne oraz większość zamienników posiada stężenia projektowe poniżej NOAEL.

¹ Dane dotyczące czystych środków gaśniczych na podstawie ISO 14520, dwutlenek węgla na podstawie PN-93 / M51250/01

² Carbon Dioxide as a Fire Suppressant: Examining the Risks. U.S. Environmental Protection Agency. February 2000

Tabela 3. NOAEL i LOAEL czystych środków gaśniczych³

	nazwa	NOAEL	LOAEL
ZA- MIEN- NIKI HA- LO- NÓW	FC-2-1-8 (CEA 308)	30	>30
	FC-3-1-10 (CEA 410)	40	>40
	HCFC Blend A (S III)	10	>10
	HFC-227 ea (FM 200)	9	10,5
	HCFC-124	1	2,5
	HFC-125	4,5	10
	HFC-23	50	>50
	HFC-236 fa	10	15
	FIC-1311	0,2	0,4
	NOVEC	10	>10
GAZY OBOJ ĘTNE	Argon	43	52
	Nitrogen	43	52
	Inergen	43	52
	Argonit	43	52

W normie dotyczącej dwutlenku węgla nie sprecyzowano wartości NOAEL i LOAEL, ale zgodnie z rozporządzeniem Ministra Pracy i Polityki Socjalnej⁴ stężenie CO₂, które nie powinno spowodować ujemnych zmian w stanie zdrowia, jeżeli utrzymuje nie dłużej niż 30 minut wynosi 27000 mg/m³ (około 1,5% obj.). Według danych EPA stężenia dwutlenku węgla powyżej 17 % powodują utratę przytomności i śmierć w przeciągu jednej minuty inhalowania gazu. Najniższe stężenia gaśnicze w urządzeniach działających przez całkowite wypełnienie wynosi dwukrotnie więcej. Z powyższego wynika, że w pomieszczeniu nie mogą przebywać ludzie w momencie wyładowania dwutlenku węgla oraz w czasie utrzymywania stężenia gaśniczego.

Tabela 4. Wpływ dwutlenku węgla na organizm ludzki wg EPA

Stężenie	Czas narażenia	Reakcja
2%	kilka godzin	ból głowy, zmęczenie po małym wysiłku, nadmierne pocenie wzrost ciśnienia krwi, zawroty głowy, dreszcze
3%	godzina	
4-6%	kilka minut	przyspieszone tętno, krótki oddech, senność, możliwość utraty przytomności
7-10%	kilka minut	
11-16%	kilka minut	utrata przytomności, śpiączka, konwulsje, śmierć
17-30%	1 minuta	

³ NFPA 2001 Standard for Clean Agent Fire Extinguishing Systems. 2000 Edition

⁴ Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 17 czerwca 1998 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy

Oddziaływanie na środowisko

Wpływ gazów gaśniczych na środowisko naturalne oceniany jest za pomocą trzech wskaźników: ODP, GWP, ALT. ODP (*Ozone Depletion Potential*) – wskaźnik określający zdolność danego gazu do niszczenia warstwy ozonowej. Maksymalna wartość akceptowalna przez EPA wynosi 0,2. Wskaźnik ten decyduje o dopuszczeniu gazu gaśniczego do użytku, pozostałe dwa mają, jak dotąd, charakter informacyjny. GWP (*Global Warming Potential*) – wskaźnik określający wpływ danego gazu na ocieplenie klimatu. Wartość GWP zależy od zdolności danego gazu do absorpcji promieniowania podczerwonego oraz czasu życia w atmosferze. GWP poszczególnych gazów wyznacza się w określonym przedziale czasu, względem dwutlenku węgla, dla którego przyjęto wartość GWP=1. ALT (*Atmospheric Life Time*) – wskaźnik określający czas życia gazu w atmosferze. Długi czas rozkładu danego związku jest niekorzystny, nawet jeżeli nie stwierdzono żadnych niekorzystnych skutków, powodowanych jego istnieniem. Naukowcy mając świadomość własnej niedoskonałości i przyjęli, że to czego nie stwierdzono dzisiaj, może zostać stwierdzone jutro.

Tabela 5. Wskaźniki ODP, GWP, ALT wybranych gazów gaśniczych⁵

Gaz gaśniczy	ODP	GWP okres 100 lat	ALT
HCFC 124	0,02	620	6,1
FM 200	0	3 800	36,5
CEA 410	0	8 600	2 600
FIC 1311	0,0001	<1	0,005
NOVEC	0	1	0,014
dwutlenek węgla	0	1	5-200
Azot	0	nie dotyczy	nie dotyczy
Argon	0	nie dotyczy	nie dotyczy
Inergen	0	nie dotyczy	nie dotyczy
Argonit	0	nie dotyczy	nie dotyczy

Ponieważ gazy obojętne składają się ze związków lub ich mieszanin, które stanowią naturalny składnik atmosfery, dlatego nie posiadają wskaźników GWP i ALT.

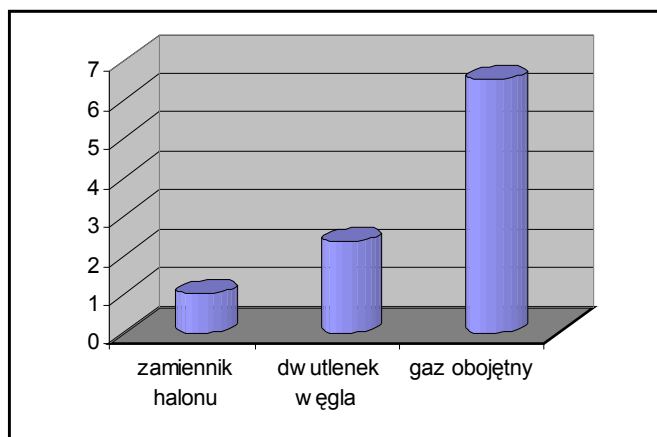
Oddziaływanie gazu na środowisko jest czynnikiem, którego nie można zbagatelizować. Popularne w XX wieku halony zostały wycofane z użycia ze względu na zbyt wysoki potencjał niszczenia ozonu (halon 1301 ODP=10, GWP=6900, ALT=65). Użytkownicy urządzeń gaśniczych na halony mają nie lada problem, ponieważ zgodnie z dyrektywami UE, do końca 2003 roku, halony powinny zostać utylizowane. Wprawdzie dyrektywa dopuszcza tzw. krytyczne wyjątki, ale większości użytkowników to nie dotyczy i będą zmuszeni ponieść koszty utylizacji halonu oraz zabezpieczania alternatywnym środkiem gaśniczym.

Powierzchnia składowania

Gazy które w temperaturach otoczenia ulegają skropleniu pod odpowiednim ciśnieniem zajmują zdecydowanie mniejszą powierzchnię magazynowania, niż gazy które przechowywane są w gazowym stanie skupienia. Zarówno dwutlenek węgla, jak i zamienniki halonów skraplają się w ciśnieniach niewiększych niż 52 bar. Gaz obojętne nie posiadają tej właściwości, w związku z czym magazynowane są przy znacznie wyższych ciśnieniach rzędu 150 – 300 bar, pozostając przy tym w stanie gazowym. Ponadto ze względu na większe stęże-

⁵ Halons Technical Options Committee "Technical Note #1 – Revision 2"; 14 March 1999

nia projektowe, wymagają większej ilości środka. Powyższe czynniki powodują, że powierzchnia magazynowa jest stosunkowo największa w przypadku gazów obojętnych.



Rys. 1. Wymagana objętość zbiorników magazynowych do zabezpieczenia tej samej kubatury

Szok termiczny

Wyładowanie gazu gaśniczego do pomieszczenie powoduje obniżenie temperatury. Spadek temperatury gazów obojętnych, przechowywanych w postaci gazowej, związany jest jedynie z procesem rozprężania gazu. Natomiast w przypadku dwutlenku węgla i zamienników halonów dodatkowo występuje przemiana fazowa ze stanu ciekłego w stan gazowy, która związana jest z pobraniem dużej ilości ciepła z otoczenia, do którego wyładowywany jest gaz. Dlatego szczególnie podczas wyładowania dwutlenku węgla, gdzie stężenia projektowe są kilkakrotnie wyższe w porównaniu do zamienników halonów, występuje intensywne chłodzenie otoczenia. Przy odpowiednio dużym stężeniu dwutlenku węgla, temperatury w pomieszczeniu mogą zbliżać się do temperatury wrzenia dwutlenku węgla wynoszącej – 79 °C.

Ograniczenie widoczności

Gazy gaśnicze są bezbarwne, ale gwałtowne obniżenie temperatury powoduje wytrącenie wilgoci znajdującej się w powietrzu. Stąd zarówno w przypadku dwutlenku węgla, jak i zamienników halonów, podczas wyładowania pojawia się charakterystyczne zamglenie, które na pewien czas ogranicza widoczność praktycznie do zera.

Powierzchnie odciążające

Wyładowanie jakiegokolwiek gazu gaśniczego do pomieszczenia powoduje zmianę ciśnienia panującego w tym pomieszczeniu. Nadmierny wzrost lub spadek ciśnienia może doprowadzić do nawet do całkowitego zniszczenia pomieszczenia. Wielkość przyrostu ciśnienia, jak również czas jego trwania zależy od szczelności pomieszczenia, szybkości wyładowania oraz gęstości gazu gaśniczego. Stąd też obowiązkiem projektanta urządzenia gaśniczego jest przeprowadzenie analizy, która pozwoli na dobór odpowiedniej powierzchni odciążającej. Zamienniki halonów wyładowywane są do pomieszczenia w czasie nie dłuższym niż 10 sekund, gazy obojętne i dwutlenek węgla w czasie sześciokrotnie dłuższym. Dlatego mimo, że ilości gazu są znacznie mniejsze w przypadku zamienników, to natężenie wypływu jest na tego samego rzędu we wszystkich przypadkach. Ponadto gęstości zamienników przewyższają gęstości pozostałych gazów gaśniczych, więc problem przyrostu ciśnienia dotyczy tej grupy w sposób szczególny. W praktyce otwory odciążające posiadają podobne wymiary bez względu na rodzaj gazu gaśniczego.

Ilość wykonanych instalacji

Podstawowym atutem dwutlenku węgla jest niska cena, która powoduje, ciągle przybywa urządzeń wykorzystujących ten gaz. Pobieżna analiza list referencyjnych firm instalujących stałe urządzenia gaśnicze gazowe pozwala stwierdzić, że ponad połowa wykonanych urządzeń to urządzenia na dwutlenek węgla.

Badanie wybranych parametrów gazowych urządzeń gaśniczych

Zabezpieczanie pomieszczeń gazowymi środkami gaśniczymi wymaga odpowiedniego przygotowania personelu, jak również samego pomieszczenia. Biorąc pod uwagę mało przyjemny efekt działania gazów podczas wyładowania, nie uwzględniając toksyczności, która powoduje jednoznaczny powód ewakuacji ludzi z takich pomieszczeń, należy liczyć się z wymaganiami ewakuacji także w przypadku gazów nie toksycznych.

W obu przypadkach mamy do czynienia przy wylocie gazu przez dysze z ograniczeniem widzialności w pomieszczeniu zabezpieczanym. Jednym z problemów w przypadku urządzeń gaśniczych na dwutlenek węgla, jak to było omawiane wcześniej jest osiągana temperatura podczas wyładowania. Temperatura osiągana podczas wyładowania wynosi około -79°C , co może mieć wpływ na urządzenia znajdujące się w pomieszczeniu chronionym.

W Zakładzie Technicznych Systemów Zabezpieczeń Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie podjęto próbę zbadania ujemnego wpływu temperatury dwutlenku węgla na urządzenia elektroniczne codziennego użytku w tym komputery wraz z monitorami, zasilacze.

Badania wykonano w szczelnej komorze badawczej ze szkła i stali o wymiarach 5m x 5m i wysokości 2,8m (foto. 2)

Dla wykonania pomiarów, należało zaprojektować układ stałego urządzenia gaśniczego biorąc pod uwagę wymagane stężenie gaśnicze dla urządzeń komputerowych, które wg PN-93/M.-51250/01:1993 *Stale urządzenia gaśnicze. Urządzenia na dwutlenek węgla. Zasady projektowania i instalowania* wynosi 62% i należy je utrzymywać przez okres 20min. W czasie wyładowania wyłączona jest wentylacja i zamknięte wszystkie otwory poza odciążeniem. Parametry przyjęte do obliczeń $K_B = 2,25$; $V=70 \text{ m}^3$; $A=106 \text{ m}^2$, przyrost ciśnienia 500 Pa. Obliczona masa gazu wynosi 158kg (6 butli 30kg), a powierzchnia odciążająca - $S = 54079 \text{ mm}^2$. Z uwagi na możliwość dokonywania innych pomiarów powierzchnia odciążająca w komorze wynosi 40x40 cm.

Do badań wykorzystano systemy komputerowe składające się z:

- komputer wraz z monitorem, drukarką i klawiaturą (umieszczony bezpośrednio pod dyszą) – foto 3,
- komputer z monitorem (umieszczony ok.1 m. od osi dyszy) – foto 3,
- komputer z monitorem bez obudowy (umieszczony ok.2 m. od osi dyszy) – foto 4,



Foto. 2 Widok komory badawczej z przodu i z boku z widocznym kanałem

oraz

- zasilacz w obudowie metalowej (postawiony na podłodze ok. 1.5m od osi dyszy) – foto 5.

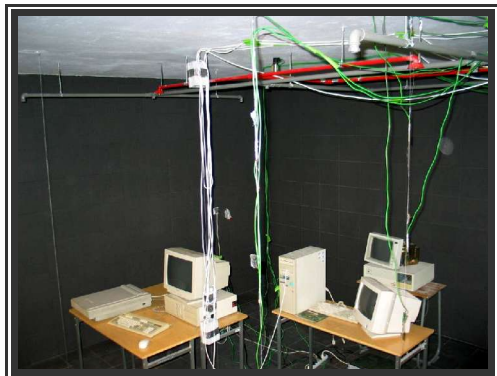


Foto. 3.
Widok rozmieszczenia urządzeń komputerowych.

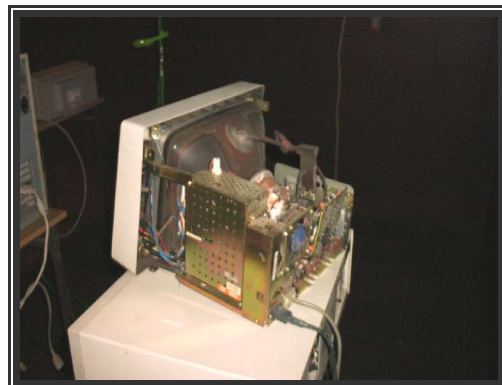


Foto. 4.
Widok komputera z monitorem bez obudowy.



Foto.5. Widok umiejscowienia na podłodze zasilacza.

W trakcie pomiarów wszystkie elementy badane zostały podłączone do zasilania i były sprawne technicznie.

Na fotografii 6 przedstawiono proces wyładowania baterii butli.

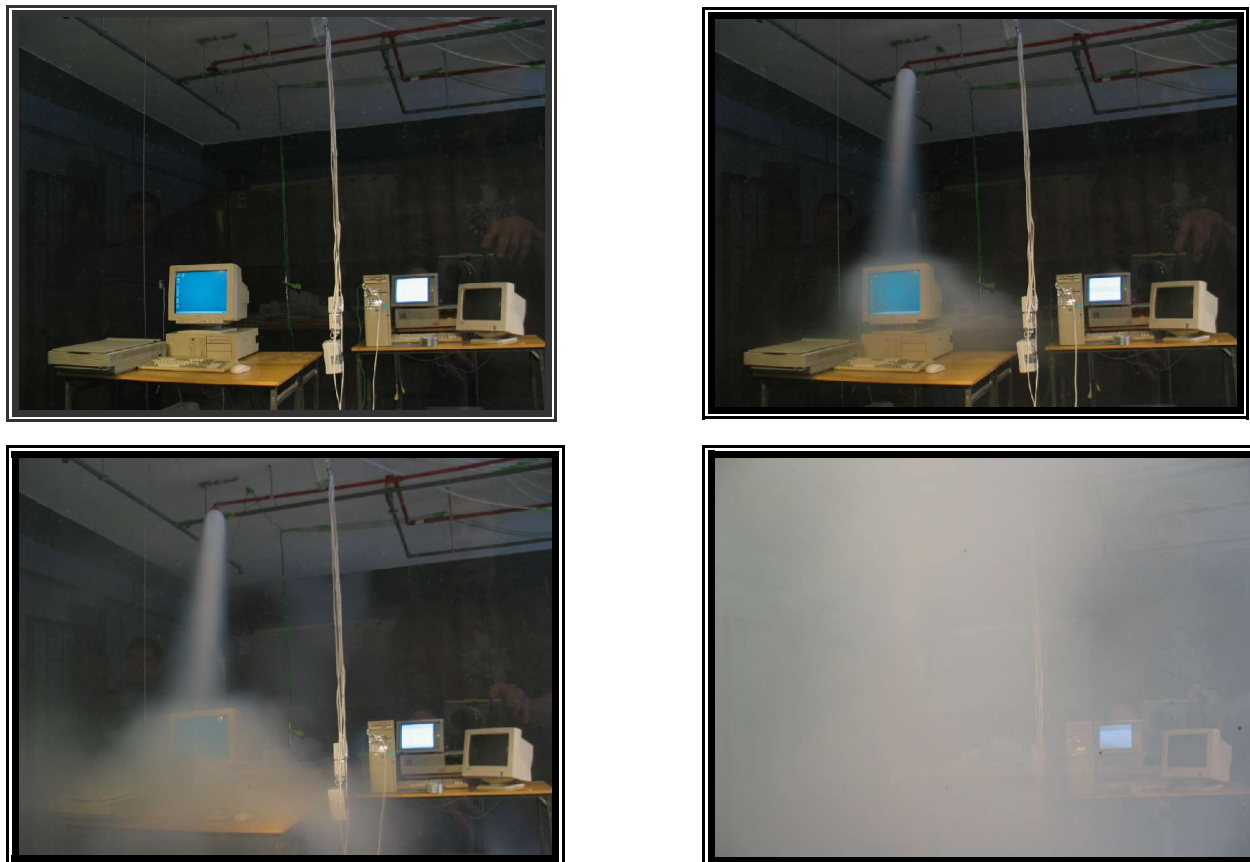


Foto. 6. Fazy wyładowania urządzenia gaśniczego w ciągu 4 sek.

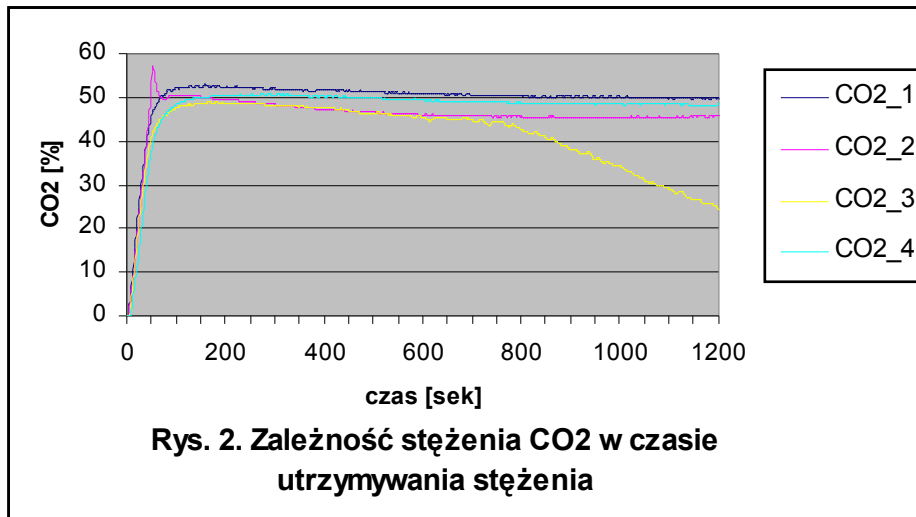
Na ostatniej fotografii widoczne jest całkowita utrata widoczności, która jest utrzymywana przeszło minutę w pomieszczeniu.

Podczas wyładowania zmierzono stężenie dwutlenku węgla na różnych wysokościach (CO2_1 – wysokość 30cm, CO2_2 – 80cm, CO2_3 – 2,7m, CO2_4 w komputerze na wys. 80cm licząc każdorazowo od podłogi komory), tlenu (wysokość 80cm), temperaturę (na wysokościach od podłogi 80cm; 1,3m; 1,8m; 2,3m) w odległości 0,5 i 1 m licząc od osi dyszy gazowej, CO (wysokość 80cm) oraz ciśnienie panujące w komorze.

Na rys 2. przedstawiono rozkład stężenia dwutlenku węgla w komorze pomiarowej. Osiągnięte stężenie gazu odczytywane z czterech czujników CO2 wykazują podobny charakter zmian.

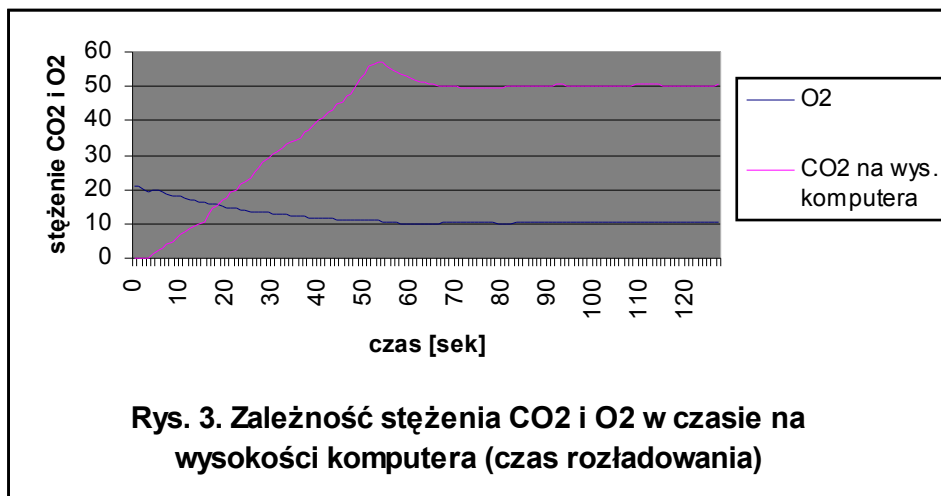
Dla nas ważne są spostrzeżenia:

- nie osiągnięto stężenia 62% , jak zakładano – przyczyna za duży otwór odciążający,
- stężenie gazu w komputerze (CO2_4) nie wykazuje dużej różnicy w stosunku do pozostałych – bardzo dobre wnikanie gazu,
- CO2_3 – detektor na wys.2,7m – wykazuje spadek po ok. 750 sek. ze względu na efekt opadania gazu cięższego od powietrza, ale i nie zatkany otwór przewodu wentylacyjnego w komorze (grawitacyjna),
- po ok. 70 sek widać brak zwiększania się stężenia gazu – choć wyładowanie jeszcze trwało (układ pomiarowy zaopatrzone w znacznik zakończenia wyładowania – 125sek.).

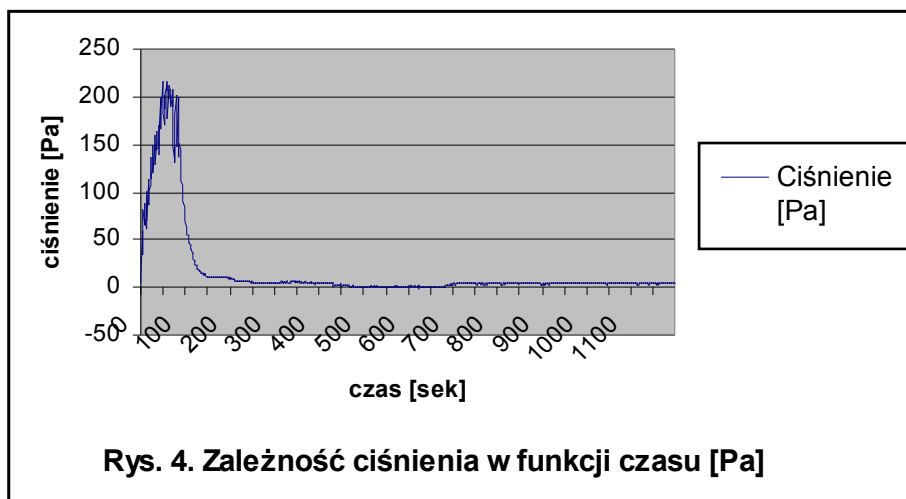


Na rys.3 przedstawiono zależność zawartości tlenu w funkcji stężenia dwutlenku węgla w pomieszczeniu badawczym.

Zawartość dwutlenku węgla spowodowała zmniejszenia stężenia O2 do 10%, efekt gaśniczy otrzymujemy przy ok.15% oczywiście przy przedłużonym działaniu gazu. Z wykresu szacując ten efekt wystąpił po 19 sek przy ok. 16%CO2.



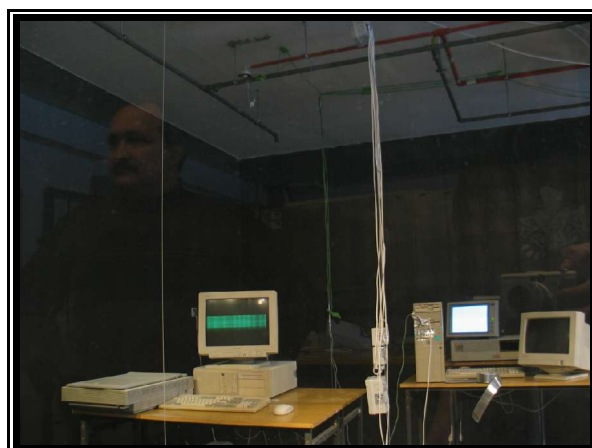
Temperatura w pomieszczeniu spada do ok.80 °C w ciągu ok.45 sek., potem następuje wzrost temperatury w kierunku dodatnich wartości. Po ok. 8 minutach otrzymano dodatnią temperaturę w komorze. Równomierność rozkładu temperatury w pomieszczeniu, komputerach jest o podobnym charakterze zmian, jak w przypadku stężenia dwutlenku. Na rys. 4 przedstawiono zmiany ciśnienia w pomieszczeniu w trakcie wyładowania. Jak widać ciśnienie nie przekroczyło 220Pa, przy założonym 500Pa. Jest to efektem zbyt dużej powierzchni odciążającej w stosunku do powierzchni obliczonej.



W trakcie wyładowania dwutlenku węgla tylko uszkodzeniu uległ monitor komputera bezpośrednio stojącego pod dyszą urządzenia gaśniczego. Komputery wszystkie, inne monitory, zasilacz stojący na podłodze nie uległy uszkodzeniu.



po 24 sek



po 35 sek

Foto. 6. Efekt uszkodzenia monitora narażonego na działanie bezpośrednio dwutlenku węgla.

Wnioski z przeprowadzonych pomiarów:

- ❑ podczas wyładowania brak jest widoczności,
- ❑ widoczność jest przywracana po określonym czasie przy określonym stężeniu (dla potrzeb ewakuacji nie ma to znaczenia ze względu na toksyczność gazu),
- ❑ temperatura i stężenie CO₂ równomiernie rozkładają się w całym pomieszczeniu, co powoduje jednakowy wpływ w całym pomieszczeniu badawczym,
- ❑ nie powinno umieszczać się urządzeń elektronicznych bezpośrednio pod dyszą urządzenia gaśniczego, ze względu na bezpośrednie zmrażanie układów elektronicznych.

W trakcie badań nie badano wpływu chemicznego oddziaływania dwutlenku węgla, jak również wpływu zmrożenia układów elektronicznych na sposób przetwarzania danych w komputerach.