



PFGT

Dokument PFGT 04/18

Rewizja dokumentu EIGA Doc 04/09

**ZAGROŻENIA POŻAROWE STWARZANE
PRZEZ TLEN I ATMOSFERY
WZBOGACONE W TLEN**

PFGT

Oparto na dokumencie EIGA Doc 04/18

Polska Fundacja Gazów Technicznych
ul. Komitetu Obrony Robotników 48, 02-146 Warszawa
Tel. 0 22 4403290 • Fax 0 22 4403291 • e-mail: biuro@pfgt.org.pl
Internet: www.pfgt.org.pl

ZAGROŻENIA POŻAROWE STWARZANE PRZEZ TLEN I ATMOSFERY WZBOGAZONE W TLEN

W ramach programu harmonizacji standardów przemysłowych, jako podstawy dla międzynarodowo zharmonizowanej publikacji stowarzyszenia gazowego na ten temat użyto publikacji Europejskiego Stowarzyszenia Gazów Technicznych (EIGA) EIGA Doc 04, *Zagrożenia pożarowe stwarzane przez tlen i atmosfery wzbogacone w tlen*.

Niniejsza publikacja ma służyć jako międzynarodowa zharmonizowana publikacja do użytku na całym świecie i stosowania przez wszystkich członków Azjatyckiego Stowarzyszenia Gazów Technicznych (AIGA), Stowarzyszenia Gazów Sprężonych (CGA), Europejskiego Stowarzyszenia Gazów Technicznych (EIGA) oraz Japońskiego Stowarzyszenia Gazów Technicznych i Medycznych (JIMGA). Regionalne wydania mają taką samą techniczną treść, jak wydanie EIGA; jednakże są zmiany redakcyjne, głównie w zakresie formatowania, użytych jednostek i pisowni. Wymaganiami stosującymi się do Europy są regionalne wymagania prawne.

Zastrzeżenie prawne

Wszystkie techniczne publikacje PFGT lub powołujące się na PFGT, włącznie z zasadami technicznymi, procedurami bezpieczeństwa i innymi informacjami technicznymi zawartymi w takich publikacjach pochodzą ze źródeł uważanych za wiarygodne i są oparte na informacjach technicznych i doświadczeniu posiadanym przez członków PFGT i innych w czasie ich publikacji.

Chociaż PFGT zaleca powoływanie lub stosowanie swoich publikacji przez swoich członków, takie powołanie się lub stosowanie publikacji PFGT przez jej członków lub inne firmy jest całkowicie dobrowolne i nie zobowiązujące.

Dlatego ani PFGT ani jej członkowie nie dają żadnej gwarancji wyników ani nie ponoszą żadnej odpowiedzialności w związku z powołaniem się lub stosowaniem informacji lub zaleceń zawartych w publikacjach PFGT.

PFGT nie ma żadnej kontroli nad efektami lub brakiem efektów, błędną interpretacją, prawidłowym lub nieprawidłowym stosowaniem żadnych informacji lub zaleceń zawartych w swoich publikacjach u żadnej osoby lub firmy (włącznie z członkami PFGT) i w związku z tym PFGT zdecydowanie nie ponosi żadnej odpowiedzialności.

Publikacje PFGT podlegają okresowym rewizjom i użytkownicy powinni korzystać z ostatniego wydania.

Spis treści

1	WSTĘP	1
2	ZAKRES I CEL	1
3	DEFINICJE	1
3.1	Terminologia użyta w publikacji	1
3.2	Określenia techniczne	2
4	OGÓLNE WŁASNOŚCI	2
4.1	Tlen podtrzymuje i przyspiesza spalanie	2
4.2	Tlen nie daje ostrzeżenia	2
4.3	Tlen jest cięższy od powietrza	2
5	ZAGROŻENIA POŻAROWE STWARZANE PRZEZ TLEN	2
5.1	Warunki konieczne dla pożaru	2
5.2	Tlen	3
5.3	Materiał palny	7
5.4	źródła zapłonu	8
6	ZAPOBIEGANIE POŻAROM W INSTALACJACH TLENOWYCH	8
6.1	Informowanie/szkolenie	8
6.2	Projektowanie	9
6.3	Zapobieganie wzbogaceniu atmosfery w tlen	10
6.4	Czystość do kontaktu z tlenem	11
6.5	Kontrola prac pożarowo niebezpiecznych	11
7	METODY WYKRYWANIA TLENU	11
8	OCHRONA OSÓB	12
8.1	Odzież	12
8.2	Analiza	12
8.3	Sprzęt przeciwpożarowy	12
8.4	Palenie tytoniu	13
8.5	Reagowanie w sytuacjach awaryjnych i ratownictwo	13

9	PODSUMOWANIE ZALECEŃ	13
10	DOKUMENTY ŹRÓDŁOWE.....	14
11	DODATKOWE DOKUMENTY ŹRÓDŁOWE.....	15
	ZAŁĄCZNIK A — Broszura poświęcona codziennym czynnościom z udziałem tlenu	16
	ZAŁĄCZNIK B — Przykłady zagrożeń stwarzanych przez tlen i atmosfery wzbogacone w tlen	28
B1	Przykłady incydentów związanych ze wzbogaceniem atmosfery w tlen	28
B2	Przykłady niewłaściwego stosowania tlenu	29
B3	Przykłady niepoprawnego projektowania instalacji tlenowych	29
B4	Przykłady niewłaściwej eksploatacji i konserwacji urządzeń tlenowych	30
B5	Przykłady użycia niewłaściwych materiałów do pracy z tlenem	32

Zmiany w stosunku do 04/09

Rozdział	Zmiana
	Redakcyjna w celu dostosowania stylu do instrukcji stylów Stowarzyszeń IHC
3	Dodano określenia
5.2.5	Rozszerzono podrozdział dotyczący stosowania niewłaściwych materiałów.
5.3.2	Ujęto dodatkowe informacje na temat układów chłodzenia.
7	Dodano nowy rozdział.
8.1	Zmieniono wymagania dotyczące odzieży.
8.5	Dodano podrozdział dotyczący reagowania w sytuacjach awaryjnych i ratownictwa.

Uwaga: Podkreślono zmiany techniczne w stosunku do poprzedniego wydania.

1 Wstęp

Niniejsza publikacja wyjaśnia zagrożenia pożarowe wynikające z obchodzenia się z tlenem oraz przedstawia stosowne środki zabezpieczające, jakie należy podjąć.

2 Zakres i cel

Celem niniejszej publikacji jest wytworzenie u personelu pracującego z tlenem lub potencjalnie w pobliżu lub wewnątrz atmosfer wzbogaconych w tlen wysokiego poziomu świadomości zagrożeń pożarowych i wybuchowych związanych z tymi warunkami. Zawartości tlenu poniżej 19,5% stwarzają atmosferę zubożoną w tlen, do której można wchodzić wyłącznie przy użyciu specjalnych środków ostrożności. Patrz: CGA SB-2, Atmosfery z niedoborem tlenu, lub ELGA Doc 44, Zagrożenia stwarzane przez gazy obojętne i atmosferę zubożoną w tlen [1, 2].¹

Załącznik A stanowi podsumowanie informacji zawartych w niniejszej publikacji w formie odpowiedniej do opracowania broszurki przeznaczonej dla wszystkich uczestniczących w wykonywaniu codziennych czynności związanych z tlenem, lub do wykorzystania jako uzupełnienie prezentacji na temat bezpieczeństwa.

W załączniku B przedstawiono wykaz niektórych incydentów, które miały miejsce w ostatnich latach, i które można wykorzystać jako przykłady podkreślające zagrożenia stwarzane przez tlen i atmosfery wzbogacone w tlen.

3 Definicje

Do celów niniejszej publikacji stosują się następujące definicje:

3.1 **Terminologia użyta w publikacji**

3.1.1 **Winien, musi, należy** (*ang.: shall*)

Oznacza, że procedura jest obowiązkowa. Używa się wtedy, gdy kryterium zgodności z określonymi zaleceniami nie dopuszcza odstępstwa.

3.1.2 **Powinien** (*ang. should*)

Oznacza, że procedura jest zalecana.

3.1.3 **Może** (*ang.: may*)

Oznacza, że procedura jest opcjonalna.

3.1.4 **Będzie** (*ang. will*)

Forma czasu przyszłego używana będzie tylko do wskazania przyszłości, a nie stopnia wymagalności.

3.1.5 **Może** (*ang. Can*)

Oznacza możliwość lub zdolność.

¹ Źródła wskazano za pomocą liczb zawartych w nawiasach kwadratowych i wymieniono w Spisie literatury w kolejności ich pojawiania się

3.2 Określenia techniczne

3.2.1 Atmosfera wzbogacona w tlen

Mieszanki powietrza i gazu, w których objętościowe stężenie tlenu przekracza 23,5% na poziomie morza, lub w których ciśnienie cząstkowe tlenu przekracza 175 torów (mm Hg) [3].

3.2.2 Ciśnienie

W niniejszej publikacji "bar" odnosi się do ciśnienia manometrycznego, o ile nie zaznaczono inaczej – tj. "bar bezwzględny" dotyczy ciśnienia bezwzględnego, a "bar różnicowy" dotyczy różnicy ciśnienia.

4 Ogólne własności

Tlen, który jest niezbędny do życia, sam nie jest palny, lecz podtrzymuje i przyspiesza palenie. Normalne stężenie tlenu w powietrzu atmosferycznym wynosi około 21% objętościowo.

4.1 Tlen podtrzymuje i przyspiesza spalanie

Większość materiałów gwałtownie pali się w tlenie; reakcja ta może być nawet wybuchowa.

W miarę wzrostu stężenia tlenu w powietrzu rośnie ryzyko potencjalnego pożaru i spalanie zostaje przyspieszone.

4.2 Tlen nie daje ostrzeżenia

Tlen jest bezbarwny i nie ma zapachu oraz smaku; dlatego obecność atmosfery wzbogaconej w tlen nie może być wykryta za pomocą ludzkich zmysłów. Tlen ponadto nie wywołuje żadnych wyraźnych fizjologicznych skutków, które mogłyby zaalarmować osoby o istnieniu wzbogacenia atmosfery w tlen.

Zwiększenie stężenia tlenu w powietrzu pod ciśnieniem atmosferycznym nie stwarza istotnego zagrożenia dla zdrowia.

4.3 Tlen jest cięższy od powietrza

Tlen może zbierać się w nisko położonych obszarach, takich jak doły, rowy lub podziemne pomieszczenia, ponieważ jest cięższy od powietrza. Ma to szczególne znaczenie wtedy, gdy nastąpi rozlanie ciekłego tlenu. W takim przypadku, wytworzony zimny gazowy tlen jest trzykrotnie cięższy od powietrza.

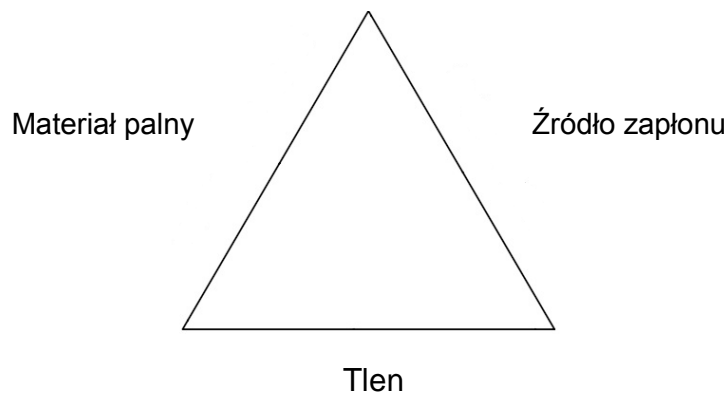
5 Zagrożenia pożarowe stwarzane przez tlen

5.1 Warunki konieczne dla pożaru

Ogólnie, do wystąpienia pożaru lub wybuchu wymagane są trzy elementy: materiał palny, tlen oraz źródło zapłonu.

Zwykle, warunki te przedstawiane są za pomocą "trójkąta spalania", jak pokazano na rysunku 1.

Gdy brak jednego z tych trzech elementów, palenie nie może wystąpić.



Rysunek 1. Trójkąt spalania

5.2 Tlen

Tlen reaguje z większością materiałów. Im wyższe stężenie i ciśnienie tlenu w atmosferze lub w instalacji tlenowej, tym:

- reakcja spalania będzie gwałtowniejsza lub ogień będzie bardziej intensywny;
- temperatura zapłonu i energia zapłonu potrzebna do wzbudzenia reakcji spalania jest znacznie niższa; oraz
- temperatura płomienia jest wyższa, a w z związku z tym zdolność niszcząca płomienia jest większa.

Większość przyczyn pożarów z udziałem tlenu można podzielić następująco:

- wzbogacenie atmosfery w tlen;
- niewłaściwe użycie tlenu;
- nieprawidłowo zaprojektowane instalacje tlenowe;
- niewłaściwa eksploatacja i konserwacja instalacji tlenowych; oraz
- użycie materiałów nieodpowiednich do pracy z tlenem.

Pożary z udziałem tlenu mogą być powodowane przez jeden lub więcej spośród powyższych warunków.

5.2.1 Wzbogacenie atmosfery w tlen

Wzbogacenie atmosfery w tlen może być spowodowane przez:

- Nieszczelność połączeń lub kołnierzy rurowych. Może to być szczególnie niebezpieczne w miejscach, gdzie nie ma dostatecznej wentylacji, co powoduje wzrost stężenia tlenu;
- Otwarcie instalacji tlenowych pod ciśnieniem. Nagłe uwolnienie się tlenu pod ciśnieniem może spowodować powstanie stosunkowo dużego strumienia ulatniającego się tlenu. Może to doprowadzić do wytworzenia płomienia strumieniowego i wyrzucenia stopionego materiału;
- Tlen używany w procesach cięcia i spawania. W procesach, takich jak cięcie, żłobienie, ukosowanie krawędzi i cięcie na gorąco lancą, tlen jest używany w większych ilościach, niż to potrzebne do procesu spalania. Niezużyty tlen pozostaje w atmosferze, i jeśli wentylacja jest niewystarczająca, powietrze może stać się wzbogacone w tlen;

- Tlen stosowany w procesach metalurgicznych. Nieprawidłowa praktyka stosowania palników może prowadzić do wzbogacenia atmosfery w tlen, zwłaszcza w przestrzeniach zamkniętych;
- Desorpcja. Tlen może być uwalniany w znacznych ilościach, gdy zimne materiały, które zaabsorbowały tlen, takie jak absorbenty (sito molekularne, żel krzemionkowy, itp.) lub materiały izolacyjne, zostaną ogrzane do temperatury pokojowej;
- Rozlanie cieczy kriogenicznej. Z rozlanego ciekłego tlenu w wyniku parowania tworzy się gęsta chmura wzbogaconego w tlen powietrza. W otwartej przestrzeni niebezpieczne stężenie tlenu występuje zwykle tylko wewnątrz widocznej chmury związanej z rozlaniem. Zimny gaz może zbierać się w pobliskich nisko położonych obszarach, takich jak rowy i kanały, które nie są dobrze wentylowane; w takich pobliskich przestrzeniach należy po rozlaniu przeprowadzić kontrole składu atmosfery;
- Skroplenie powietrza. Gdy używa się gazów kriogenicznych o temperaturze wrzenia niższej od tlenu, jak na przykład azot, wodór i hel, również może nastąpić wzbogacenie atmosfery w tlen. Powietrze otoczenia kondensuje na niezaizolowanych urządzeniach, gdzie temperatura jest niższa od temperatury skraplania powietrza (około $-193\text{ }^{\circ}\text{C}$). Może to również następować na przewodach rurowych otulonych środkiem izolującym o komórkach otwartych. Ciekłe powietrze może zawierać do 50% tlenu i jeśli ciecz ta będzie skapywać i odparowywać, stężenie tlenu w pozostającej części może wynieść ponad 80%;
lub
- Upusty tlenu. Szczególnie niebezpieczne mogą być miejsca w pobliżu upustów tlenu. Może zdarzyć się tu nagłe wydzielenie tlenu bez ostrzeżenia. Niekriogeniczne wytwarzanie tlenu lub azotu może wiązać się ze sporadycznym lub ciągłym wypuszczaniem tlenu. Patrz: EIGA Doc 154 *Bezpieczne usytuowanie upustów tlenu i gazów obojętnych* [4]

5.2.2 Niewłaściwe stosowanie tlenu

Poważne incydenty zostały wywołane wskutek użycia tlenu do zastosowań, do których nie był on przeznaczony.

Do przykładów niewłaściwego stosowania tlenu należą:

- zasilanie narzędzi pneumatycznych;
- pompowanie opon pojazdów i gumowych pontonów;
- podnoszenie ciśnienia w instalacjach i ich płukanie;
- zastępowanie powietrza lub gazu obojętnego;
- chłodzenie lub odświeżanie powietrza w pomieszczeniach zamkniętych;
- wdmuchiwanie tlenu pod odzież, na przykład przez spawacza próbującego w ten sposób się ochłodzić;
- usuwanie kurzu ze stołów warsztatowych, maszyn i odzieży;
- uruchamianie silników wysokoprężnych;
- czyszczenie; lub
- wentylowanie.

W każdym przypadku ryzyko pożaru i wybuchu jest takie samo i wynika z wystawienia materiałów palnych, takich jak łatwopalne gazy, łatwopalne ciała stałe, gumy, materiały włókiennicze i smary na działanie tlenu.

5.2.3 Konstrukcja instalacji tlenowych

Prawidłowa konstrukcja instalacji tlenowych ma decydujące znaczenie. Nieodpowiednie rozwiązania konstrukcyjne mogą, i doprowadziły do poważnych incydentów.

Do przykładów nieodpowiednich rozwiązań konstrukcyjnych należą:

- Zastosowanie szybkoootwierających się zaworów kulowych. Może to prowadzić do zapłonu spowodowanego przez ciepło wytworzone przez gaz o dużej prędkości lub sprężanie adiabatyczne (patrz: poniżej);
- Dopuszczenie do wysokiej prędkości gazu, która może spowodować zapłon znajdujących się w układzie materiałów niezgodnych na skutek uderzeń cząstek;
- Otwarcie głównego zaworu odcinającego w rurociągu zasilania tlenem bez uprzedniego wyrównania ciśnienia;
- Przepływ gazu pod wysokim ciśnieniem przez kryzy o ostrych krawędziach, szybkie rozprężenia lub szybkie redukcje ciśnienia;
- Nieodpowiednio usytuowane zawory upustowe, które powodują zbieranie się tlenu; oraz
- Stosowanie wszelkich części lub środków smarujących, które nie zostały dopuszczone do stosowania z tlenem w zaprojektowanych warunkach.

5.2.4 Niewłaściwa eksploatacja i konserwacja urządzeń tlenowych

Niewłaściwa eksploatacja i konserwacja urządzeń tlenowych stanowi jedną z najczęstszych przyczyn pożarów w instalacjach tlenowych.

Do przykładów niewłaściwej eksploatacji należą:

- Nieprzestawienie reduktorów ciśnienia w położenie zamknięte po zamknięciu zaworu butli tlenowej. Wskutek tego powstają niezwykle wysokie prędkości gazu, gdy reduktor zostanie poddany ciśnieniu podczas następnego użycia;
- Szybkie otwarcie zaworów, które może wytworzyć chwilowe prędkości tlenu wystarczająco wysokie do wyrzucenia wszelkich resztek obecnych w układzie poprzez układ, z prędkością dźwięku, powodujące wydzielenie się ciepła lub iskiek na skutek tarcia;
- Szybkie otwarcie zaworu przy zamkniętym innym zaworze (lub reduktorze ciśnienia) znajdującym się po odpływowej stronie układu może doprowadzić do wytworzenia się dużej ilości ciepła na skutek adiabatycznego sprężenia tlenu, wywołując pożar; oraz
- Błędne uruchomienie sprężarki tlenowej z tlenem. Ta nieprawidłowa operacja ma znaczenie tylko w szczególnych przypadkach [5, 6].

Do przykładów niewłaściwej konserwacji należą:

- Wykonywanie prac na instalacjach pod ciśnieniem;
- Wypuszczanie tlenu do miejsc ograniczonych lub zabudowanych albo do przestrzeni zamkniętych;

- Dopuszczenie do zanieczyszczenia układów. Zanieczyszczenie cząstkami stałymi, kurzem, piaskiem, olejami i smarami lub resztkami powszechnie występującymi w atmosferze stwarza potencjalne zagrożenie pożarowe. Szczególnie narażone na zanieczyszczenie są urządzenia przenośne, dlatego należy podjąć środki ostrożności w celu niedopuszczenia do przedostawania się brudu lub oleju; oraz
- Niecałkowite usunięcie rozpuszczalników czyszczących z części przeznaczonych do pracy z tlenem. Pozostałości rozpuszczalnika są nieodpowiednie do atmosfery wzbogaconej w tlen.

5.2.5 Zastosowanie niewłaściwych materiałów

Projektowanie urządzeń tlenowych jest bardzo złożone i odpowiedzi na pytania "dlaczego i jak" nie zawsze są oczywiste. Zasadniczo, niemal wszystkie materiały są palne w tlenie. Bezpieczny stan urządzeń przeznaczonych do pracy z tlenem osiąga się poprzez staranny dobór odpowiednich materiałów lub ich połączeń oraz używanie ich w szczególny sposób.

Wszelkie modyfikacje projektu muszą zostać zatwierdzone, aby nie dopuścić do użycia materiałów niezgodnych.

Zgłoszono wiele incydentów, gdzie przyczyną były niezgodne części zamienne. W wielu spośród takich incydentów części zostały użyte, ponieważ wyglądały podobnie do oryginalnych. Zamiana na materiały, które jedynie wyglądają podobnie, jest niezwykle niebezpieczna. Przykładami takiej praktyki są:

- Wymiana pierścieni uszczelniających i uszczelek na elementy o zbliżonym wyglądzie. Istnieją setki różnych rodzajów elastomerów, z których większość jest niezgodna z tlenem;
- Wymiana stopu metalu na stop podobnego typu. Skład konkretnego stopu ma znaczący wpływ na jego własności mechaniczne i zgodność z tlenem. Brąz, który obejmuje szeroką gamę stopów, ma kilka odmian, które są zgodne z tlenem, ale jeszcze więcej takich, które nie są. Na przykład, brąz cynowy jest stosowany w pompach ciekłego tlenu, natomiast brąz aluminiowy jest uważany za niebezpieczny;
- Zastąpienie taśmy z politetrafluoroetylenem (PTFE) podobną białą taśmą. Nie każda biała taśma jest wykonana z PTFE i nie wszystkie marki taśm PTFE mogą być bezpiecznie używane w tlenie. Patrz: EIGA Doc 138, *PTFE używany jako środek uszczelniający do połączeń butla/zawór* [7];
- Wymiana części/komponentów na niezatwierdzone elementy. Geometria niektórych komponentów ma niekiedy decydujące znaczenie, i dlatego podczas konserwacji urządzeń tlenowych należy zawsze używać części zatwierdzonych przez producenta;
- Wymiana lub instalacja w filtrach materiałów palnych, takich jak tworzywa sztuczne, papier lub kleje. Filtry w instalacjach tlenowych są bardzo wrażliwe na zapłon z powodu obecności cząstek oraz skomplikowanych warunków przepływu. Dlatego filtry powinny być wykonane z materiałów wymagających bardzo wysokiej energii zapłonu, takich jak stop Monel[®];
- Stosowanie środków smarujących, które nie zostały dopuszczone do użycia z tlenem w zaprojektowanych warunkach; lub
- Używanie niewłaściwego płynu do wykrywania nieszczelności. Patrz: EIGA Doc 78, *Płyn do wykrywania nieszczelności butli* [8].

Używanie substancji na bazie węglowodorów, takich jako oleje, smary, niektóre mydła, środki smarujące i chemikalia organiczne w atmosferach wzbogaconych w tlen jest szczególnie

niebezpieczne. Mogą one gwałtownie reagować z tlenem, powodując pożar lub wybuch. Generalnie, nie należy nigdy używać olejów i smarów na bazie węglowodorów do smarowania urządzeń, które będą stykać się z tlenem lub powietrzem wzbogaconym w tlen. Do stosowania w atmosferach tlenowych i wzbogaconych w tlen dostępne są specjalne środki smarujące, jak na przykład zatwierdzone smary na bazie czterofluorku węgla. Ciśnieniomierzy tlenowych nie należy testować ani kalibrować w styczności z olejem.

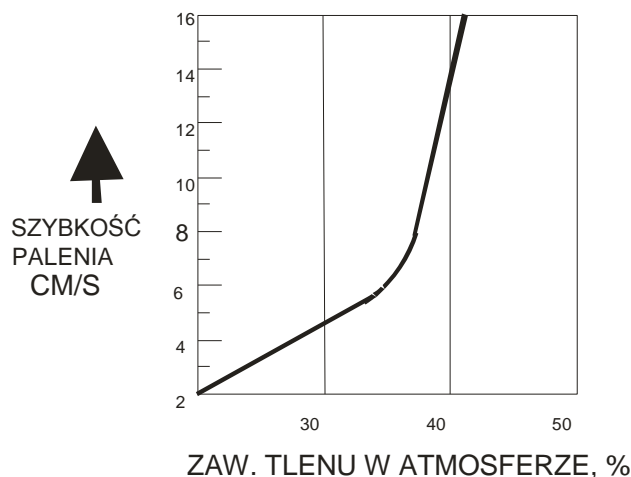
5.3 Materiał palny

5.3.1 W atmosferach wzbogaconych w tlen

Materiały, które w powietrzu nie palą się, w tym materiały ognioodporne, mogą energicznie palić się w atmosferze wzbogaconej w tlen lub w czystym tlenie.

W atmosferach wzbogaconych w tlen, powszechnym materiałem palnym, który ma najbardziej bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo osób, jest odzież. W atmosferze wzbogaconej w tlen wszystkie materiały odzieżowe będą się gwałtownie palić. To samo odnosi się do tworzyw sztucznych i elastomerów.

Przykład takiej zwiększonej reaktywności przedstawiono na rysunku 2 dla bawełnianego materiału używanego na kombinezony, wystawionego na działanie ognia w atmosferach o zwiększonej zawartości tlenu [5].



Rysunek 2. Reaktywność bawełny wystawionej na działanie ognia przy wzrastającej zawartości tlenu

Podobne krzywe przedstawiające taki sam rodzaj zachowania można sporządzić dla innych materiałów, w szczególności tworzyw sztucznych i elastomerów.

5.3.2 W instalacjach tlenowych pod ciśnieniem

W zasadzie, w tlenie palą się wszystkie materiały organiczne, a także większość metali i stopów. Na zachowanie się materiałów ma wpływ ciśnienie, na przykład, obniżając temperaturę zapłonu i zwiększając szybkość spalania. Z tych właśnie powodów ciśnieniowe instalacje tlenowe mogą być konstruowane wyłącznie z materiałów i sprzętu przeznaczonego i zatwierdzonego do pracy w odpowiednich warunkach.

Olej i smar w obecności tlenu są szczególnie niebezpieczne, gdyż mogą niezwykle łatwo ulec zapłonowi i palić się wybuchowo. W urządzeniach do pracy z tlenem zapłon oleju i smaru często powoduje reakcję łańcuchową, która prowadzi ostatecznie do spalania lub stopienia się metalu. W takich przypadkach pozostałość stopionego lub spalonego metalu zostaje wyrzucona z

urządzenia, a w ślad za tym może nastąpić wydzielenie się tlenu. To z kolei może prowadzić do gwałtownego i szybkiego rozprzestrzeniania się płomieni na wszelkie sąsiednie materiały palne znajdujące się na zewnątrz urządzenia. Oleju i smaru na bazie węglowodorów nie należy nigdy używać do smarowania urządzeń, które będą stykać się z tlenem, i żadne takie środki smarujące nie powinny być dopuszczone do takiego zastosowania.

Układy chłodzące pracujące w obiegu zamkniętym często napełnione są wodą zawierającą do 50% glikolu etylenowego i glikolu propylenowego. Obydwa glikole: etylenowy i propylenowy są łatwopalne, a w razie wycieku do układu tlenowego i w miarę odparowywania wody, ich stężenie będzie tam wzrastać. Choć przemysł ma dobre doświadczenia z układami w obiegu zamkniętym z użyciem 50% glikolu, gdy wszystkie nisko położone punkty w tych układach są sprawdzone pod względem wycieków, to jednak miały miejsce incydenty, gdy wyciek w układzie był niewykryty.

5.4 Źródła zapłonu

5.4.1 W atmosferach wzbogaconych w tlen

Do źródeł zapłonu w warunkach wzbogaconych w tlen należą:

- otwarty ogień lub płomień (jak np. papierosy, spawanie lub inne prace wykonywane na gorąco, silniki paliwowe lub piece);
- papierosy elektroniczne;
- iskry elektryczne; oraz
- iskry powstające podczas szlifowania lub tarcia.

5.4.2 W instalacjach tlenowych pod ciśnieniem

W instalacjach zawierających tlen pod ciśnieniem potencjalne źródła zapłonu nie są tak wyraźne, jak otwarte płomień lub gorące powierzchnie.

Niżej wymienione źródła zapłonu wywołały pożary w układach tlenowych:

- ogrzanie na skutek sprężenia adiabatycznego;
- tarcie;
- uderzenie mechaniczne;
- iskry elektryczne; lub
- gaz pod wysokim ciśnieniem zawierający cząstki.

6 Zapobieganie pożarom w instalacjach tlenowych

6.1 Informowanie/szkolenie

Wszelkie osoby stosujące urządzenia do pracy z tlenem powinny być poinformowane o zagrożeniach, własnościach i ryzykach stwarzanych przez tlen. Są one opisane w kartach charakterystyki dla tlenu.

W celu uzyskania dalszych informacji na temat zagrożeń stwarzanych przez tlen z materiałami, zalecane są również poniższe publikacje:

- EIGA Doc 10, *Sprężarki tłokowe do pracy z tlenem. Kodeks praktyk* [9];

- EIGA Doc 13, *Rurociąg i instalacje rurowe tlenu*, lub CGA G-4.4, *Rurociąg tlenu i instalacje rurowe tlenu* [10];
- EIGA Doc 27, *Sprężarki tłokowe do pracy z tlenem* [11];
- EIGA Doc 33, *Czyszczenie urządzeń do pracy z tlenem. Wytyczne* [12];
- CGA G-4.1, *Czyszczenie urządzeń do pracy z tlenem* [13];
- EIGA Doc 42, *Połączenia elastyczne w wysokociśnieniowych układach gazowych*[14];
- EIGA Doc 136, *Dobór środków ochrony indywidualnej* [15];
- EIGA Doc 148, *Przewodnik instalacyjny dla stacjonarnych, napędzanych silnikiem elektrycznym odśrodkowych pomp ciekłego tlenu* [16];
- EIGA Informacja o Bezpieczeństwie 15, *Zasady bezpieczeństwa dotyczące wysokociśnieniowych instalacji tlenowych* [17]; oraz
- *Łatwopalność i wrażliwość materiałów w atmosferach wzbogaconych w tlen – Amerykańskie Towarzystwo ds. Badań i Materiałów (ASTM), seria sympozjalna* [18].

Wszystkie prace konserwacyjne i naprawcze powinny być wykonywane przez wyszkolony i kompetentny personel.

Wszystkim osobom pracującym w miejscach, gdzie może wystąpić wzbogacenie atmosfery w tlen należy wydać instrukcje dotyczące związanych z tym zagrożeń. Należy położyć nacisk na charakter tych zagrożeń i na prawie natychmiastowe skutki. Należy udzielić szkolenia w zakresie sposobów minimalizacji takich zagrożeń, ze szczególnym podkreśleniem znaczenia identyfikacji źródeł wzbogacenia w tlen oraz ich separacji.

W przypadku wielu zastosowań w dziedzinie medycyny, tlen i powietrze wzbogacone w tlen stosuje się w zabiegach wykonywanych w urządzeniach, takich jak namioty tlenowe, inkubatory oraz komory hiperbaryczne. Takie wzbogacone w tlen powietrze stwarza znacznie zwiększone zagrożenie pożarowe. Do publikacji, które to opisują należą: NFPA 99, *Standard dla zakładów opieki zdrowotnej*, EIGA Doc 89, *Instalacje tlenu medycznego do zasilania w opiece domowej* oraz ISO 15001: *Sprzęt znieczulający i oddechowy -- Zgodność z tlenem* [19, 20, 21].

6.2 Projektowanie

W instalacjach tlenowych należy używać wyłącznie urządzeń, które zostały zaprojektowane specjalnie do tlenu; na przykład, reduktorów azotu nie należy stosować w pracy z tlenem. Projekt urządzeń przeznaczonych do pracy z tlenem bierze pod uwagę materiały, które mają być zastosowane, wraz z ich konfiguracją, tak aby ograniczyć do minimum ryzyko zapłonu. Powody konkretnego rozwiązania projektowego i doboru materiału nie zawsze są oczywiste, i dlatego przed rozważeniem zmiany materiałów należy zasięgnąć porady specjalisty.

Urządzenia do pracy z tlenem należy smarować wyłącznie środkami smarnymi specjalnie dostosowanymi do zadania i eksploatacji. Należy zawsze zasięgnąć specjalistycznej porady, na przykład od dostawcy lub laboratorium badawczego.

Instalacje tlenowe należy projektować tak, aby prędkość przepływu była możliwie jak najniższa. Jeśli prędkość zwiększy się dwukrotnie, energia cząstki zawartej w strumieniu gazu wzrośnie czterokrotnie. Patrz: EIGA Doc 13 [10].

Instalacje tlenowe należy lokalizować w miejscach dobrze wentylowanych, z dala od głównych źródeł zapłonu, takich jak kotły. Instalacje ciekłego tlenu należy umieszczać z dala od rowów kablowych, kanałów, itp.

6.3 Zapobieganie wzbogaceniu atmosfery w tlen

6.3.1. Próba szczelności

Nowo zmontowane urządzenia do pracy z tlenem należy gruntownie sprawdzić pod względem szczelności przy użyciu powietrza lub azotu, stosując próbę spadku ciśnienia gazu w czasie, próbę wykrywania nieszczelności z użyciem zatwierdzonego sprayu do badań szczelności, lub inne stosowne metody. Patrz: EIGA Doc 78 [8].

Zaleca się okresowe powtórne próby w celu sprawdzenia, czy nie ma wycieków.

6.3.2. Operacja i praktyka

Po zakończeniu pracy należy zamknąć główny zawór zasilania tlenem, aby uniknąć możliwego wycieku tlenu w czasie, gdy urządzenie nie będzie używane.

Filtrów, gdzie są zainstalowane, nie należy usuwać w celu uzyskania większych przepływów. Filtry należy często sprawdzać w równych odstępach czasu i usuwać z nich wszelkie zanieczyszczenia.

Weże do cięcia i spawania należy utrzymywać szczelne i okresowo je sprawdzać.

Po otwarciu zaworów, zwłaszcza w przestrzeniach zamkniętych, nie należy zwlekać z zapaleniem palnika do spawania lub cięcia. Przy cięciu płomieniowym, do cięcia potrzeba od pięciu do dziesięciu razy więcej tlenu niż do podgrzania, w zależności od grubości ciętej blachy. Taka ilość tlenu jest tylko częściowo zużyta do spalania metalu. Istotne jest, ażeby dobrać prawidłowy rozmiar dyszy oraz odpowiednie ciśnienie do wykonywanej pracy, aby ograniczyć do minimum nadmiar tlenu.

6.3.3. Wentylacja

Pomieszczenia, w których istnieje ryzyko wzbogacenia atmosfery w tlen winny być dobrze wentylowane. Przykładami takich pomieszczeń są:

- stacje napełniania;
- pomieszczenia, w których są przechowywane, eksploatowane lub konserwowane zbiorniki lub butle tlenowe;
- pomieszczenia, w których jest stosowany lub analizowany tlen; oraz
- pomieszczenia wykorzystywane do wykonywania zabiegów medycznych z użyciem tlenu, takich jak pomieszczenia szpitalne lub opieki domowej, oraz innych zakładów opieki zdrowotnej.

W wielu przypadkach, jak np. w halach lub pomieszczeniach wyposażonych w otwory wentylacyjne, wystarczy może wentylacja naturalna. Otwory te powinny mieć pole przepływu większe niż 1/100 pola powierzchni podłogi pomieszczenia, powinny być umieszczone po przekątnej w stosunku do siebie i powinny zapewniać swobodną cyrkulację powietrza bez przeszkód. Tam, gdzie wentylacja naturalna nie jest możliwa należy zapewnić wentylator o wydajności około 6 wymian powietrza/godzinę. Należy uwzględnić wentylację pomieszczeń i zbiorników położonych poniżej poziomu gruntu oraz dołów, kanałów i rowów.

Należy przewidzieć system bezpieczeństwa ostrzegający w razie awarii wentylatora.

6.3.4. Procedury wchodzenia do zbiorników / zaślepienia

Przed wejściem do każdego zbiornika, który jest podłączony do źródła gazu, zbiornik należy opróżnić i fizycznie odłączyć od źródła. Rozłączenia można dokonać, na przykład przez usunięcie odcinka rury, użycie płytki rozdzielającej, wstawienie zaślepek kołnierзовych lub za pomocą podwójnych zaworów odcinająco-upustowych. Przestrzeń należy dokładnie przewentylować, tak aby utrzymać atmosferę o zawartości tlenu nie większej niż 23,5%. Należy stosować się do odpowiednich prawnych procedur wchodzenia do przestrzeni zamkniętych.

6.3.5 Urządzenia separujące

Gdy rurociąg tlenowy wchodzi do budynku, na zewnątrz budynku należy zainstalować zawór odcinający usytuowany tak, aby był możliwy dostęp do operowania nim. Zawór ten i jego usytuowanie należy wyraźnie oznaczyć i zidentyfikować. Ma to na celu umożliwienie operowania zaworem z bezpiecznego miejsca w razie wydzielenia się tlenu wewnątrz budynku.

Nieużywane rurociągi tlenowe powinny zostać zdemontowane lub całkowicie rozłączone od układu zasilającego i zaślepienie.

6.4 Czystość do kontaktu z tlenem

Jedną z podstawowych procedur bezpieczeństwa w zapobieganiu pożarom jest zapewnienie, że wszystkie urządzenia będą wyczyszczone przed przekazaniem lub przywróceniem do pracy z tlenem. Istnieje kilka metod czyszczenia urządzeń pracy z tlenem. Patrz: EIGA Doc. 33 lub CGA G-4.1, aby uzyskać dalsze informacje [12, 13].

Urządzenia do pracy z tlenem powinny być wolne od cząstek stałych. Aby usunąć cząstki stałe, nowe urządzenia do pracy z tlenem należy przed rozruchem przepłukać bezolejowym powietrzem lub azotem.

6.5 Kontrola prac pożarowo niebezpiecznych

Wszelkie prace pożarowo niebezpieczne (prowadzone na gorąco), które muszą być wykonywane w pobliżu urządzeń pracy z tlenem lub w miejscu, gdzie może powstać wzbogacenie atmosfery w tlen, powinny być kontrolowane za pomocą pozwolenia na prace. Do prac pożarowo niebezpiecznych zalicza się takie czynności, jak spawanie, lutowanie twarde, wiercenie i szlifowanie.

7 Metody wykrywania tlenu

Metoda wybrana do wykrywania tlenu winna zapewniać wysoki stopień niezawodności działania i być dostatecznie czuła, aby ostrzec, zanim zostanie osiągnięte niebezpieczne stężenie tlenu. Zwykle stosowana metoda polega na użyciu zatwierdzonego przyrządu do monitorowania składu atmosfery do potwierdzenia skuteczności procedur separacji i płukania przed wejściem na dany teren oraz do okresowego sprawdzania podczas pracy w celu potwierdzenia, że nie nastąpiły zmiany.

Przyrządy do pomiaru tlenu, jeśli będą potrzebne, powinny być używane tylko jako urządzenia ostrzegawcze, i nie powinny być traktowane jako zabezpieczenie przed zagrożeniem wzbogacenia atmosfery w tlen. Powinny one być postrzegane jako uzupełnienie dobrej praktyki eliminowania przyczyn wzbogacenia. Odpowiednie przyrządy pomiarowe do określania zawartości tlenu wskazują wzrost, jak również spadek stężenia tlenu w otaczającej atmosferze.

Stosowane są różnorodne techniki pomiarowe, które dają wzrokowe, akustyczne i/lub dotykowe (wibracyjne) ostrzeżenia, i mogą one być wykorzystywane do pomiarów ciągłych lub przerywanych. Należy ściśle stosować się do instrukcji producenta dotyczących użytkowania i konserwacji urządzeń pomiarowych.

8 Ochrona osób

8.1 Odzież

Sama odzież ochronna nie wystarcza do uniknięcia niebezpieczeństwa stwarzanego przez pożar w tlenie. Wiele materiałów tekstylnych, o których twierdzi się, że są niełatwopalne, pali się gwałtownie w środowisku wzbogaconym w tlen.

Tam, gdzie wymagana jest odzież trudnopalna, należy stosować na sobie odzież i bieliznę wyłącznie z trudnopalnych naturalnych włókien. Inne syntetyczne materiały, nawet gdy są stosowane jako odzież spodnia lub bielizna, poddane działaniu ognia mogą stopić się i przywrzeć do ciała (patrz: EIGA Doc 136) [15,]. Pranie może obniżyć skuteczność niektórych trudnopalnych materiałów; dlatego zalecane jest, aby podczas prania stosować się do wytycznych producenta. Tam, gdzie nie jest wymagana odzież trudnopalna, naturalne włókna uznane są za najlepszy materiał na odzież roboczą, ponieważ można je szybko ugasić po usunięciu z atmosfery wzbogaconej w tlen do otaczającej atmosfery.

Odzież powinna być dobrze pasowana, lecz łatwa do zdjęcia i być pozbawiona oleju i smaru.

Osoby, które były wystawione na działanie atmosfery wzbogaconej w tlen nie mogą palić tytoniu ani przechodzić w pobliżu otwartych płomieni, miejsc gorących lub iskier, dopóki ich odzież nie zostanie należycie przewietrzona w normalnej atmosferze. Zaleca się czas przewietrzania wynoszący nie mniej niż 15 minut przy jednoczesnym poruszaniu rękami i nogami i zdejmętym ubraniu wierzchnim.

8.2 Analiza

Zanim osoby wejdą do przestrzeni, która może być narażona na wzbogacenie atmosfery w tlen, atmosfera winna zostać zanalizowana pod względem stężenia tlenu za pomocą niezawodnego i dokładnego analizatora (patrz: rozdział 7). Wejście nie jest dozwolone, jeśli stężenie tlenu jest większe niż 23,5%. Stężenie tlenu większe niż 23,5% jest potencjalnie niebezpieczne. Dla ostrzeżenia przed możliwymi zmianami stężenia, przestrzeń powinna być monitorowana za pomocą ciągłego automatycznego analizatora tlenu, który wydaje akustyczny, dźwiękowy i/lub dotykowy (wibracyjny) alarm, gdy stężenie tlenu w atmosferze może stać się wyższe niż 23,5% lub niższe niż 19,5%.

8.3 Sprzęt przeciwpożarowy

Jedynym skutecznym sposobem postępowania w przypadku pożarów zasilanych tlenem jest odcięcie dopływu tlenu. W warunkach wzbogaconych w tlen, do właściwych czynników gaśniczych należy woda, sucha substancja chemiczna (proszek) lub dwutlenek węgla. Przy dokonywaniu wyboru należy wziąć pod uwagę charakter pożaru, na przykład elektryczny. Palącą się odzież należy gasić wodą, gdyż przykrycie strażackim kocem gaśniczym odzieży wzbogaconej w tlen pozwoli jej nadal palić się.

Sprzęt przeciwpożarowy należy właściwie konserwować, a pracownicy powinni wiedzieć, gdzie on się znajduje, jak się nim posługiwać i jakiego sprzętu należy użyć do jakiego rodzaju pożaru.

8.4 Palenie tytoniu

Cały personel należy poinformować o niebezpieczeństwach palenia tytoniu podczas pracy z tlenem lub w miejscu, gdzie może nastąpić wzbogacenie atmosfery w tlen. Do wielu przypadkowych pożarów i obrażeń ciała w wyniku oparzeń doszło wskutek zapalenia papierosa; należy zatem koniecznie podkreślić niebezpieczeństwo stwarzane przez palenie tytoniu w atmosferach wzbogaconych w tlen lub tam, gdzie atmosfera taka może wystąpić. W takich miejscach palenie tytoniu powinno być zabronione.

8.5 Reagowanie w sytuacjach awaryjnych i ratownictwo

Zakładowe procedury postępowania w sytuacjach awaryjnych powinny zawierać zapisy dotyczące wejścia do miejsc o potencjalnej atmosferze wzbogaconej w tlen. Nie należy podejmować próby ratowania ofiar lub wejścia w celu wyłączenia procesu, dopóki nie ustali się, że stężenie tlenu w atmosferach wzbogaconych w tlen wynosi poniżej 23,5% i wejście jest bezpieczne. Materiały, z których wykonana jest odzież, w tym materiały trudnopalne lub poddane obróbce, w atmosferze wzbogaconej w tlen mogą być podatne na zapalenie. Procedury reagowania w sytuacjach awaryjnych mogą obejmować zastosowanie natrysku wodnego w celu ochrony potencjalnych ofiar, jeśli można to zrobić z bezpiecznej odległości, do czasu potwierdzenia możliwości bezpiecznego wejścia.

Efektywne procedury reagowania w sytuacjach awaryjnych przewidują identyfikację miejsca, w którym wzbogacenie w tlen stwarza ryzyko, jak również szkolenie personelu, przeprowadzanie ćwiczeń oraz podanie numerów łatwo dostępnych osób do kontaktu w sytuacji awaryjnej w celu uzyskania pomocy przeciwpożarowej i medycznej.

Jeśli nastąpi duży wyciek cieczy lub gazów bogatych w tlen, wszystkie urządzenia elektryczne i instalacje oświetleniowe na terenie dotkniętym skutkami takiego wydarzenia stanowią potencjalne źródła możliwej iskry i zapłonu. Źródło gazów bogatych w tlen winno zostać odseparowane możliwie jak najszybciej. Z doświadczenia wynika, że jeśli gazy bogate w tlen zostały uwolnione na otwartej przestrzeni, niebezpieczne stężenie tlenu występuje zwykle wewnątrz widocznego obłoku mgły związanego z rozlaniem cieczy. Osoby nie powinny nigdy wchodzić do widocznego obłoku mgły. Niebezpieczne stężenie tlenu może istnieć również poza obłokiem. Przed wejściem do miejsca wycieku w/w gazów należy użyć przenośnego analizatora tlenu.

9 Podsumowanie zaleceń

Główne zasady unikania incydentów powstających wskutek wzbogacenia atmosfery w tlen można podsumować następująco:

- Zapewnić, że osoby, które mają pracować z tlenem są odpowiednio wyszkolone i poinformowane o zagrożeniach powodowanych przez nadmierne stężenia tlenu;
- Dopilnować, aby używane były odpowiednie urządzenia oraz aby były one szczelne i w dobrym stanie technicznym;
- Używać tylko materiałów i urządzeń zatwierdzonych do stosowania z tlenem. Nigdy nie używać części zamiennych, które nie zostały zatwierdzone do pracy z tlenem;
- Używać odpowiedniej, czystej odzieży, wolnej od oleju, smaru i łatwopalnych zanieczyszczeń;
- Nigdy nie używać oleju i smaru do smarowania urządzeń pracujących w podwyższonych stężeniach tlenu;
- Upewnić się, że cały istniejący sprzęt przeciwpożarowy jest w dobrym stanie i gotowy do użycia;

- Podczas prac w przestrzeniach zamkniętych, gdzie normalnie używany jest tlen, odseparować urządzenia, zapewnić dobrą wentylację i użyć analizatora tlenu. Wejście dozwolone jest wyłącznie na podstawie pozwolenia wydanego przez wyszkoloną, kompetentną osobę;
- Zakazać palenia tytoniu tam, gdzie istnieje jakiegokolwiek ryzyko wzbogacenia atmosfery w tlen;
- Osoby, które zapalą się w atmosferze wzbogaconej w tlen nie mogą być ratowane przez osobę, która wejdzie tam, aby je wyciągnąć, gdyż osoba ratująca niemal z pewnością również zapali się;
- Osobom, które były narażone na działanie atmosfer wzbogaconych w tlen nie wolno zbliżać się do otwartych płomieni, palących się papierosów, itp., aż do należytego przewietrzenia ich odzieży;
- Zapewnić, że cała aparatura i urządzenia do pracy z tlenem są odpowiednio zidentyfikowane; oraz
- Dopilnować, aby drogi ewakuacyjne były stale utrzymywane w stanie drożnym.

10 Dokumenty źródłowe

Jeśli nie wskazano inaczej, obowiązuje najnowsze wydanie.

- [1] EIGA Doc 44 *Zagrożenia stwarzane przez gazy obojętne i zubożenie atmosfery w tlen*, www.eiga.eu
- [2] CGA SB-2, *Zagrożenia stwarzane przez atmosfery z niedoborem tlenu*, www.cganet.com
- [3] CGA P-39, *Atmosfery wzbogacone w tlen*, www.cganet.com
- [4] EIGA Doc 154, *Bezpieczne usytuowanie upustów tlenu i gazów obojętnych*, www.eiga.eu
- [5] EIGA Informacja o Bezpieczeństwie 16, *Ogień z reduktorów butlowych w eksploatacji z tlenem technicznym*, www.eiga.eu
- [6] EIGA Biuletyn Bezpieczeństwa NL 79, *Zagrożenia stwarzane przez atmosferę wzbogaconą w tlen / Kampania EIGA zwracająca uwagę na zagrożenie stwarzane przez atmosfery wzbogacone w tlen*; EIGA Ulotka nt. Bezpieczeństwa SL 02, *Zagrożenia stwarzane przez wzbogacenie w tlen*, www.eiga.eu
- [7] EIGA Doc 138, *PTFE używany jako środek uszczelniający do połączeń butla/zawór*, www.eiga.eu
- [8] EIGA Doc 78, *Płyny do wykrywania nieszczelności butli*, www.eiga.eu

UWAGA – Ta publikacja stanowi część międzynarodowego programu standardów przemysłowych. Treść techniczna każdego regionalnego dokumentu jest identyczna, poza regionalnymi wymogami prawnymi. Wykaz zharmonizowanych regionalnych dokumentów źródłowych można znaleźć w przedmowie przywołanego dokumentu.

- [9] EIGA Doc 10, *Sprężarki tłokowe do pracy z tlenem. Kodeks praktyki*, www.eiga.eu

UWAGA – Ta publikacja stanowi część międzynarodowego programu standardów przemysłowych. Treść techniczna każdego regionalnego dokumentu jest identyczna, poza regionalnymi wymogami prawnymi. Wykaz zharmonizowanych regionalnych dokumentów źródłowych można znaleźć w przedmowie przywołanego dokumentu.

[10] EIGA Doc 13, *Rurociąg i układy rurowe tlenu*, www.eiga.eu

UWAGA – Ta publikacja stanowi część międzynarodowego programu standardów przemysłowych. Treść techniczna każdego regionalnego dokumentu jest identyczna, poza regionalnymi wymogami prawnymi. Wykaz zharmonizowanych regionalnych dokumentów źródłowych można znaleźć w przedmowie przywołanego dokumentu.

[11] EIGA Doc 27, *Sprężarki odśrodkowe do pracy z tlenem*, www.eiga.eu

UWAGA – Ta publikacja stanowi część międzynarodowego programu standardów przemysłowych. Treść techniczna każdego regionalnego dokumentu jest identyczna, poza regionalnymi wymogami prawnymi. Wykaz zharmonizowanych regionalnych dokumentów źródłowych można znaleźć w przedmowie przywołanego dokumentu.

[12] EIGA Doc 33, *Czyszczenie urządzeń do pracy z tlenem. Wytyczne*, www.eiga.eu

[13] CGA G-4.1, *Czyszczenie urządzeń do pracy z tlenem*, www.cganet.com

[14] EIGA Doc 42, *Połączenia elastyczne w wysokociśnieniowych układach gazowych*, www.eiga.eu

[15] EIGA Doc 136, *Dobór środków ochrony indywidualnej*, www.eiga.eu

UWAGA – Ta publikacja stanowi część międzynarodowego programu standardów przemysłowych. Treść techniczna każdego regionalnego dokumentu jest identyczna, poza regionalnymi wymogami prawnymi. Wykaz zharmonizowanych regionalnych dokumentów źródłowych można znaleźć w przedmowie przywołanego dokumentu.

[16] EIGA Doc 148, *Przewodnik instalacyjny dla stacjonarnych, napędzanych silnikiem elektrycznym odśrodkowych pomp ciekłego tlenu*, www.eiga.eu

UWAGA – Ta publikacja stanowi część międzynarodowego programu standardów przemysłowych. Treść techniczna każdego regionalnego dokumentu jest identyczna, poza regionalnymi wymogami prawnymi. Wykaz zharmonizowanych regionalnych dokumentów źródłowych można znaleźć w przedmowie przywołanego dokumentu.

[17] EIGA Informacja o Bezpieczeństwie 15, *Zasady bezpieczeństwa dotyczące wysokociśnieniowych układów tlenowych*, www.eiga.eu

[18] *Łatwopalność i wrażliwość materiałów w atmosferach wzbogaconych w tlen*, seria na międzynarodowe sympozja ASTM, www.astm.org

[19] NFPA 99, *Standard dla zakładów opieki zdrowotnej*, www.nfpa.org

[20] EIGA Doc 89, *Układy tlenu medycznego dla zaopatrzenia w opiece domowej*, www.eiga.eu

[21] ISO 15001: *Sprzęt znieczulający i oddechowy -- Zgodność z tlenem* www.iso.org

11 Dodatkowe dokumenty źródłowe

BCGA TR2, *Prawdopodobieństwo wypadku śmiertelnego w atmosferach wzbogaconych w tlen na skutek rozlania ciekłego tlenu*, www.bcgga.co.uk

BCGA TR1, *Metoda oszacowania zagrożeń poza terenem zakładu stwarzanych przez masowe magazynowanie ciekłego tlenu*, www.bcgga.co.uk

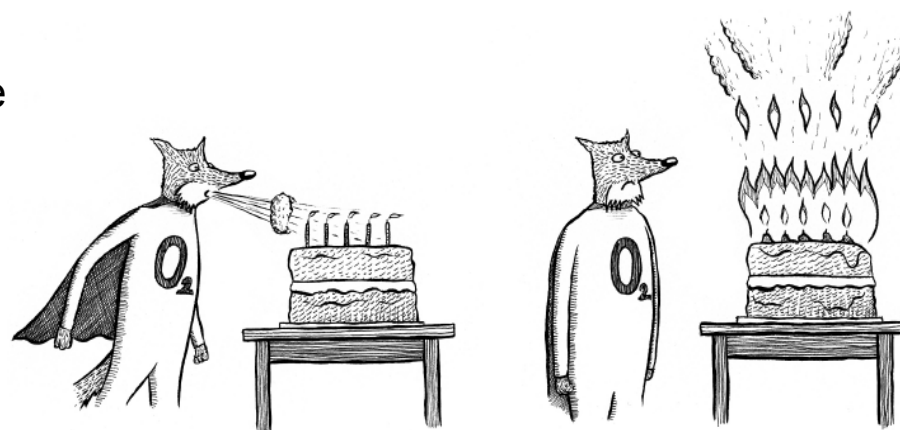
EIGA Doc 911, *Nawanianie tlenu używanego w zastosowaniach związanych ze spalaniem*, www.eiga.eu

ZAŁĄCZNIK A — BROSZURA POŚWIĘCONA CODZIENNYM CZYNNOŚCIOM Z UDZIAŁEM TLENU

Właściwości tlenu

Tlen podtrzymuje palenie

- Tlen jest niezbędny do życia. Normalne stężenie w atmosferze wynosi w przybliżeniu 21%.
- Nie jest palny, ale podtrzymuje palenie. Większość materiałów pali się w tlenie energicznie, a niekiedy wybuchowo. Gdy stężenie tlenu w powietrzu wzrasta, potencjalne zagrożenie pożarowe rośnie.



Właściwości tlenu

Tlen nie daje ostrzeżenia

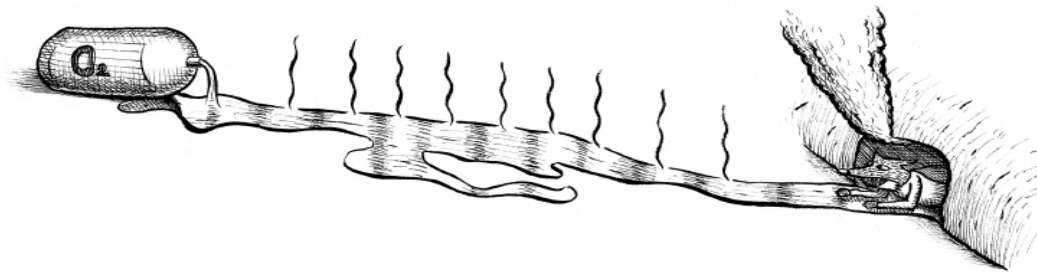
- Ponieważ tlen jest bezbarwny i nie ma zapachu i smaku, wzbogacenia atmosfery w tlen nie można wykryć za pomocą ludzkich zmysłów.



Właściwości tlenu

Tlen jest cięższy od powietrza

- Tlen może gromadzić się w nisko położonych obszarach, takich jak zagłębienia terenu lub podziemne pomieszczenia, zwłaszcza podczas lub po rozlaniu cieczy, gdyż jest cięższy od powietrza.

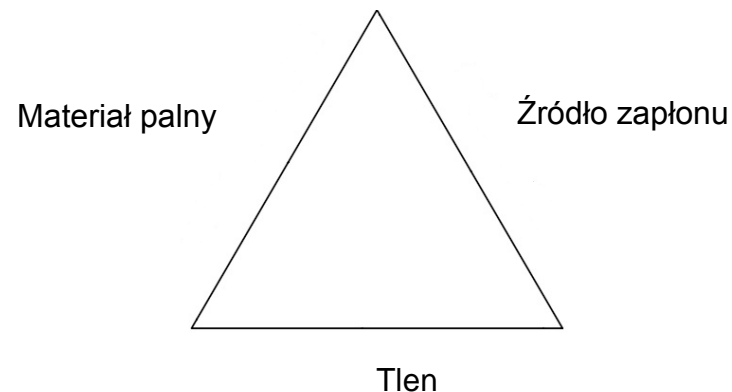


Warunki potrzebne do palenia

Generalnie, aby nastąpiło zapalenie lub wybuch, wymagane są 3 elementy:

materiał palny, tlen oraz źródło zapłonu.

Zwykle, warunki te przedstawia się za pomocą trójkąta spalania.



Gdy brak jednego z tych trzech elementów, palenie nie może wystąpić.

Przyczyny pożarów w tlenie

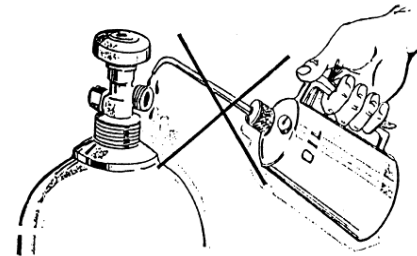
- Wzbogacenie atmosfery w tlen
- Niewłaściwe stosowanie tlenu
- Nieprawidłowo zaprojektowane instalacje tlenowe
- Niewłaściwa eksploatacja i konserwacja instalacji tlenowych
- Zastosowanie materiałów nieodpowiednich do pracy z tlenem.

Zgodność materiałów

- Tylko niektóre materiały nadają się do stosowania do pracy z tlenem.
- W czystym tlenie większość materiałów pali się, nawet jeśli nie można ich zapalić w powietrzu.
- Oleje, smary i materiały zanieczyszczone tymi substancjami w obecności tlenu są szczególnie niebezpieczne, gdyż mogą niezwykle łatwo ulec zapłonowi i palić się wybuchowo.

Nigdy nie stosować oleju ani smaru do smarowania urządzeń tlenowych!

- Urządzenia zanieczyszczone olejem i smarem należy wyczyścić używając zatwierdzonych środków/metod czyszczących.



- Sprawdzić ze swoim przełożonym, czy materiał/część lub substancja, której zamierza się użyć jest dopuszczona do pracy z tlenem.

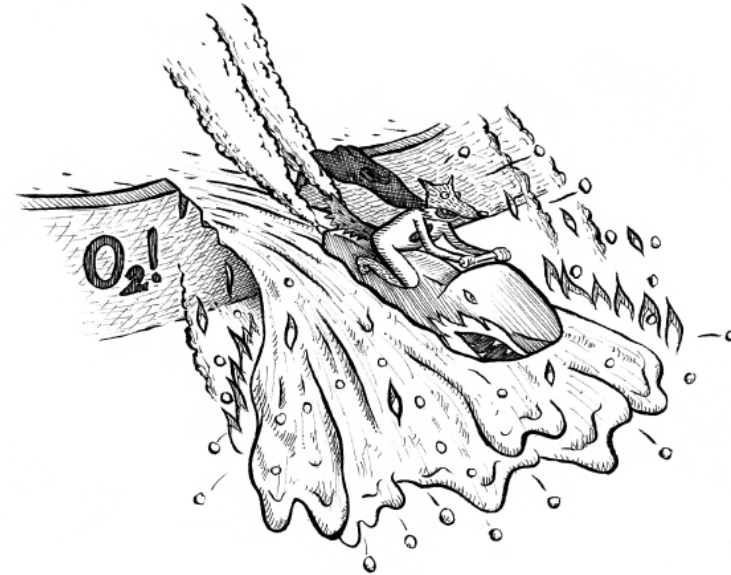
Nieszczelne urządzenia są bardzo niebezpieczne

- Może to prowadzić do wzbogacenia atmosfery w tlen, zwiększając np. zagrożenie pożarowe.
- Nieszczelne połączenia, kołnierze, złączki są niebezpieczne, powodując wzrost stężenia tlenu, szczególnie tam, gdzie nie ma należytej wentylacji.
- Badać szczelność nowo zamontowanych urządzeń lub po ich konserwacji.



Rozlanie ciekłego tlenu

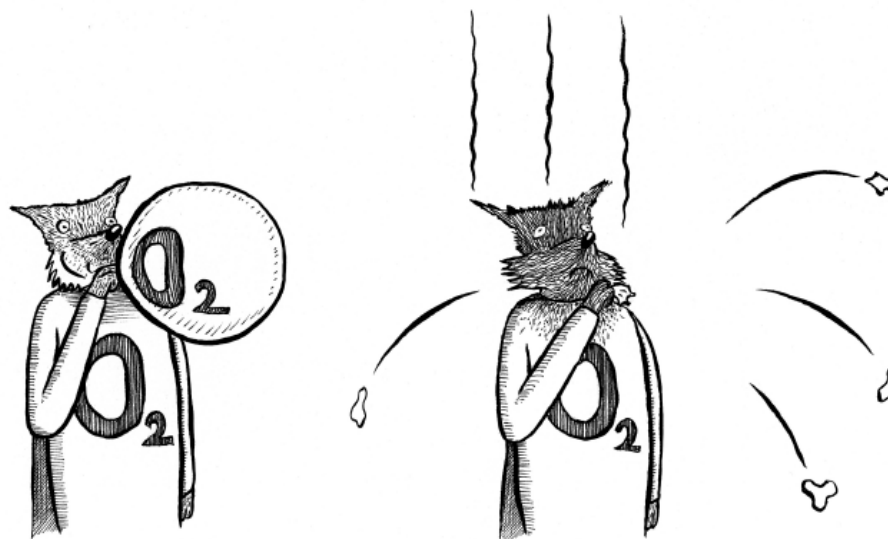
- Rozlany ciekły tlen parując tworzy gęstą chmurę powietrza wzbogaconego w tlen.
- Odzież osób wchodzących do takiej chmury zostaje wzbogacona w tlen.
- Gdy ciekły tlen przeniknie do gruntu zawierającego materiały organiczne, takie jak drewno lub asfalt, powstaje niebezpieczeństwo, że ten materiał organiczny wybuchnie pod wpływem uderzenia.



Nie wykorzystywać tlenu w zastosowaniach, do których nie jest on przeznaczony!

Nie stosować tlenu jako zamiennika powietrza, np. do:

- zasilania narzędzi pneumatycznych;
- pompowania opon;
- rozruchu silników wysokoprężnych;
- odkurzania stołów warsztatowych, maszyn lub odzieży.

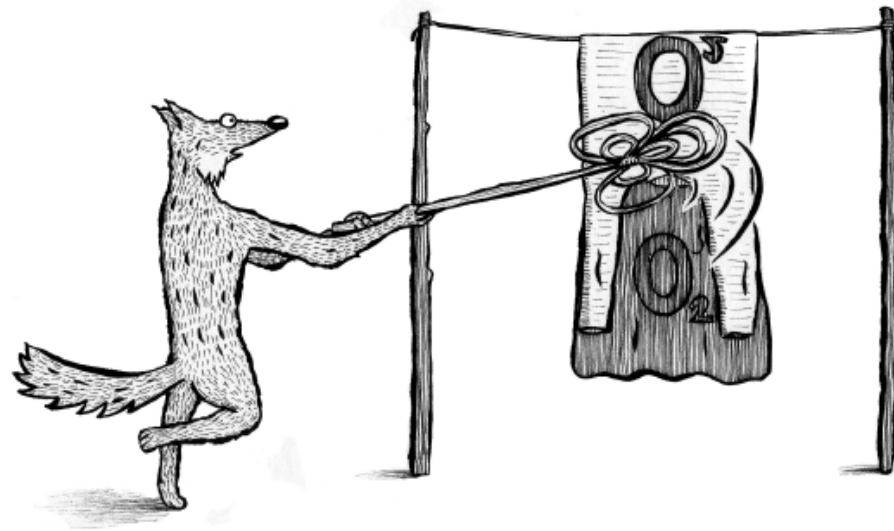


W miejscach, gdzie może wystąpić wzbogacenie atmosfery w tlen, nie palić tytoniu i nie używać otwartego ognia.

Jeśli zachodzi konieczność wykonania prac pożarowo niebezpiecznych, takich jak spawanie, cięcie płomieniowe, lutowanie lub szlifowanie, upewnić się, że atmosfera została sprawdzona i potwierdzona jako bezpieczna, i uzyskać pozwolenie na prace.



Jeśli przebywało się w atmosferze wzbogaconej w tlen, przewietrzyć swoją odzież na otwartym powietrzu przez co najmniej 15 minut przed zapaleniem papierosa lub zbliżeniem się do źródła zapłonu.



ZAŁĄCZNIK B — Przykłady zagrożeń stwarzanych przez tlen i atmosfery wzbogacone w tlen

B1 Przykłady incydentów związanych ze wzbogaceniem atmosfery w tlen

1. W zakładzie, zawór na przewodzie zasilania tlenem, prowadzącym do warsztatu, został pozostawiony otwarty. Odzież pewnego mężczyzny zapaliła się przy zetknięciu z iskrami z elektrycznego spawania. Mężczyzna wybiegł na zewnątrz i zaczął tarzać się po trawie, lecz został ciężko oparzony. Kilku innych, którzy przyszli mu z pomocą, zostało lekko oparzonych.
2. Pracownik próbował zmienić palnik ściskając wąż tlenowy. Ulatniający się tlen wywołał pożar, który spowodował poważne oparzenia pracownika.
3. Mężczyźni pracowali na dachu instalacji tlenowej w pobliżu działającego głównego upustu tlenu. Jeden z mężczyzn zapalił papierosa; jego odzież zapaliła się i mężczyzna spalił się na śmierć.
4. Pracownik wykonawcy musiał zeszlifować kawałek poręczy na pomoście przy kolumnie rozdziału powietrza. Wydane zostało pozwolenie na prace i odbyto rozmowę przed rozpoczęciem zadania. Temperatura powietrza była niska i, w oczekiwaniu na kolegę, pracownik pochylił się i częściowo usiadł na upuście tlenu, aby ogrzać się ulatniającym się stosunkowo ciepłym tlenem wypływającym z zaworu. W chwili, gdy rozpoczął szlifowanie, iskra zapaliła jego nasyconą tlenem odzież powodując u pracownika oparzenia ciała drugiego i trzeciego stopnia, wymagające kilkumiesięcznego leczenia w szpitalu.
5. Podczas używania lancy tlenowej w odlewni stali operator zauważył, że złączka pomiędzy węzłem a lancą jest nieszczelna, lecz nie zatrzymał wycieku, gdyż ten chłodził go nieco po brzuchu. W stronę operatora poleciała iskra gorącego metalu i zapaliła nasyconą tlenem odzież na jego brzuchu, powodując silne oparzenia.
6. Tlen był wypuszczany z instalacji PVSA u klienta. Usytuowanie wylotu zaworu było takie, że spowodowało wytworzenie się atmosfery wzbogaconej w tlen. Odzież robocza pracownika firmy konserwatorskiej zapaliła się, gdy ten wykonywał operację szlifowania, powodując u niego obrażenia ciała wskutek oparzenia.
7. W zakładzie firmy gazowej, na wydziale produkcyjnym kriogenicznej instalacji rozdziału powietrza, spawano rurę pary wodnej w dole. Ponieważ w dole tym atmosfera była wzbogacona w tlen, odzież monterza zapaliła się, wskutek czego pracownik następnie zmarł. Spawacz doznał oparzeń starając się ugasić ogień. Pozwolenie na prace było wystawione, lecz nie zastosowano się do niego i nie zidentyfikowano zagrożeń.
8. Podczas wewnętrznej inspekcji butli tlenowej pękła lampka, która spowodowała zapłon łatwopalnego gazu lub materiału znajdującego się w butli. Operator doznał obrażeń ciała na skutek oparzenia.
9. Pacjent palił papierosa w czasie, gdy poddawał się w swoim domu terapii tlenowej pobierając tlen poprzez kaniulę nosową z koncentratora tlenu. Papieros spowodował zapalenie się kaniuli nosowej, a następnie palące się tworzywo sztuczne spowodowało u pacjenta niewielkie oparzenia górnych dróg oddechowych. Pacjent został zbadany przez specjalistę medycznego, po czym niedługo wrócił do domu. W rozmowie pacjent przyznał, że palił papierosa wbrew ostrzeżeniom, instrukcjom i szkoleniu.

10. Pacjentka używała w domu koncentratora tlenowego. Córka pacjentki zgłosiła, że jej matka zapaliła papierosa, w wyniku czego doszło do zapalenia się kaniuli i rurki, co spowodowało oparzenie nosa pacjentki. Kaniula przywarła do jej nosa. Pacjentkę zabrano karetką do szpitala.
11. Pracownik w warsztacie konserwacyjnym stacji napełniania szlifował, gdy jego odzież zapaliła się, w wyniku czego doznał on ciężkich obrażeń ciała. Pracownik wprowadził do pomieszczenia wiązkę tlenową w celu wykonania sprawdzenia szczelności za pomocą płynu do wykrywania nieszczelności, gdyż na zewnątrz było zimno. Po wykonaniu próby szczelności, wypuścił zawartość wiązki wewnątrz warsztatu, co było wbrew instrukcjom.
12. Miejscowy komendant straży pożarnej powiadomił, że pewien pacjent zaopatrywany przez firmę gazową będącą członkiem EIGA stał się ofiarą śmiertelną pożaru w domu. Pierwsze elementy śledztwa sugerowały, że mógł on palić tytoń podczas pobierania tlenu.
13. Pacjent opieki domowej (używający koncentratora tlenu) zasnął z palącym się papierosem, który zapalił pościel w łóżku.
14. Kierowca prowadził furgon z dostawą ciekłego i gazowego tlenu przeznaczonego do opieki domowej. Spróbował zapalić papierosa, który natychmiast został spalony. Żarzący się popiół przeniósł ogień do kabiny. Kierowca zatrzymał się i bezskutecznie próbował ugasić ogień, który szybko rozprzestrzenił się na cały pojazd. Kilka minut później nieduża aluminiowa butla tlenowa wybuchła i zawory z pin indeksem z dwóch innych butli zostały wyrzucone.
15. Osoba nosząca na sobie właściwą odzież pracowała w atmosferze wzbogaconej w tlen. Pracownik ten udał się do palarni i od razu zapalił papierosa, po czym jego odzież zapaliła się.
16. Zgłoszono kilka przypadków śmierci w komorach hiperbarycznych na skutek palenia tytoniu lub wyładowań elektrostatycznych w warunkach wzbogacenia atmosfery w tlen. W jednym z tych przypadków 10 osób poniosło śmierć, gdy wybuchł pożar spowodowany użyciem przenośnego podgrzewacza dłoni.

B2 Przykłady niewłaściwego stosowania tlenu

1. Pneumatyczną wiertarkę podłączono poprzez łącznik do przewodu tlenowego. Po kilku godzinach powietrze w pomieszczeniu, w którym były prowadzone prace, stało się tak wzbogacone w tlen, że gdy jeden z pracowników zapalił papierosa, ten gwałtownie spłonął i zapalił odzież, wskutek czego cztery osoby poniosły śmierć a pozostałe pięć odniosło obrażenia.
2. Spawacz pracował w cysternie samochodowej. Po chwili przerwał pracę, aby odświeżyć powietrze w cysternie poprzez wprowadzenie tlenu. Gdy z powrotem przystąpił do spawania, iskra spowodowała zapalenie jego odzieży. Pracownik doznał śmiertelnych oparzeń.
3. Pracownik stalowni próbował naprawić swój samochód, w którym zablokowany był przewód paliwa. W celu usunięcia blokady użył on tlenu, wskutek czego zbiornik paliwa eksplodował zabijając jedną osobę.

B3 Przykłady niepoprawnego projektowania instalacji tlenowych

1. Do napełniania mieszaninami tlenu użyto prowizorycznego panelu napełniającego z zaworami kulowymi, co jest sprzeczne ze standardową procedurą. Zawór kulowy zapalił się na skutek sprężania adiabatycznego i operator doznał obrażeń ciała.

2. Spalił się reduktor ciśnienia tlenu. Należy używać wyłącznie reduktorów ciśnienia z metalową membraną, zaprojektowanych zgodnie z uznaną normą.
3. Gdy rezerwowy układ butli tlenowych w szpitalu włączył się wskutek niskiej zawartości w zbiorniku ciekłego tlenu (LOX), nastąpiło zapalenie się gniazda zaworu z polichlorotrifluoroetylenem i pacjenci zostali narażeni na działanie produktów spalania. Zawór nie posiadał gniazda odpowiedniego do stosowania z tlenem.
4. Słaba konstrukcja dolnego trzpienia zaworu butli tlenowej była przyczyną zapłonu po napełnieniu butli do ciśnienia 200 barów.
5. Zespół instalujący stację klienta oraz kilku pracowników klienta zostało ciężko oparzonych podczas przekazywania do eksploatacji instalacji zasilania tlenem. Instalacja zasilania tlenem została zamontowana po to, aby zapewniać rezerwowe zasilanie tlenem podczas remontowego przestoju tlenowych instalacji PSA posiadanych i eksploatowanych przez klienta. Układ zasilania tlenem został zaprojektowany, skonstruowany i zbudowany przez lokalny dział instalacji realizowanych dla klienta bez odpowiedniego przeglądu projektu technicznego. Podczas przekazywania obiektu do instalacji, przy układzie zasilania tlenem stało czterech pracowników oraz sześciu pracowników klienta, gdyż podczas procesu rozruchowego zamierzano przeprowadzić szkolenie pracowników klienta. Wyzwolenie energii zostało spowodowane przez cząstki, które poruszały się z dużą prędkością przewodami rurowymi i uderzały w siatkę ze stali nierdzewnej w filtrze siatkowym typu "Y". Powstały w rezultacie ogień przepalił rurociąg i zawór regulacyjny za filtrem siatkowym, w wyniku czego osiem osób doznało ciężkich obrażeń.
6. Wadliwa spoina w pompie LOX spowodowała pęknięcie zmęczeniowe, wyciek LOX oraz zapłon pompy. Producent pompy następnie poinformował wszystkich klientów o tym typie pompy i zalecił ulepszenia.
7. Podczas wykonywania dostawy ciekłego tlenu kierowca zauważył żarzenie się w obudowie szafki napędu pompy hydraulicznej, spowodowane zużyciem i uszkodzeniem gumowej uszczelki wskutek niewspółosiowości napędu pompy. Stwierdzono brak zaprojektowania czopu ustalającego dla umożliwienia zachowania współosiowości.
8. Zbiornik LOX o pojemności 50 m³ miał zostać opróżniony, lecz połączenie z eżektorem uległo uszkodzeniu. Podjęto błędną decyzję, aby w zastępstwie wykorzystać kamienny dół i powoli rozładować zbiornik. Po rozładowaniu 5 ton usłyszano wybuch i zobaczono ogień w pobliżu dołu. Zaleca się przegląd projektu nowych i eksploatowanych dołów kamiennych.
9. Podłączenie 150-barowej butli zawierającej mieszaninę 1% azotu w tlenie do analizatora z zaworem iglicowym ze stali nierdzewnej spowodowało zapalenie się zaworu. Oficjalne stanowisko laboratorium jest takie, że materiał gniazda zaworu nie nadaje się do dłuższego używania w tlenie i powinien zostać wymieniony.

B4 Przykłady niewłaściwej eksploatacji i konserwacji urządzeń tlenowych

1. Pracownik spawał na zewnątrz rurociągu tlenowego. Przed rozpoczęciem pracy spawacz odseparował rurociąg przez zamknięcie zaworu, przepłukał rurociąg i sprawdził atmosferę. Nagle spawacz został ogarnięty przez płomień, po czym zmarł na skutek oparzeń. Później stwierdzono, że zawór przeciekał, co pozwoliło na dostanie się tlenu do odseparowanego rurociągu.
2. Mechaniczna usterka turbosprężarki tlenu wywołała tarcie i powstanie wysokiej lokalnej temperatury, co doprowadziło do spalania się całej sprężarki tlenowej. Sprężarka była

- zainstalowana w obudowie, która uległa zniszczeniu, ale zapobiegła wyrządzeniu szkód i obrażeń ciała na zewnątrz obudowy.
3. W zakładzie klienta spalił się reduktor, gdy operator otworzył zawór 300-barowej wiązki napełnionej tlenem o ciśnieniu resztkowym 280 barów. Z powodu niewłaściwej procedury zakładającej, aby nie zamykać reduktora przed otwarciem, nagły strumień gazowego tlenu spowodował spalenie reduktora i węża po stronie niskociśnieniowej. Jeden pracownik doznał drobnych oparzeń dłoni i twarzy.
 4. Podczas rozpoczęcia napełniania butli tlenowych wystąpił ogień błyskawiczny na tablicy rozdzielczej rampy napełniającej.
 5. W stacji napełniania zawór butli tlenowej spalił się w czasie procedury wyrównywania ciśnienia. Przyczyną był proszek żelazny znajdujący się wewnątrz zaworu i butli, który uległ zapaleniu. Spaliło się również złącze napełniające. Operator doznał oparzeń dłoni i czoła.
 6. Jedna osoba doznała ciężkich obrażeń ciała wskutek oparzenia przez ogień wywołany zapłonem w tlenie, który był spowodowany przez modyfikację reduktora dokonaną przez klienta.
 7. Zapalił się łącznik zaworu zwrotnego w wysokociśnieniowym przewodzie tlenu. Wykonany z Vitonu pierścień uszczelniający w rowku promieniowym był nieszczelny.
 8. Ogień w układzie smarowania sprężarki tlenu doprowadził do uszkodzenia urządzenia.
 9. Po zakończeniu napełniania butli tlenowych i zamknięciu zaworów butlowych, operator otworzył zawór upustowy. Zawór upustowy zapalił się, prawdopodobnie z powodu cząstek pozostałych po niedawnej konserwacji.
 10. Po ukończeniu napełniania butli tlenowych operator zamknął wszystkie zawory butlowe RPV, z wyjątkiem jednego. Podczas otwierania zaworu upustowego łącznik podłączony do otwartej butli zapalił się.
 11. Trzeci stopień tłokowej sprężarki tlenowej, która została wyprodukowana w roku 1976, zapalił się. Pokrywa i awaryjne wyłączenie sprężarki zadziałały bardzo skutecznie chroniąc otoczenie.
 12. Pod koniec napełniania 5-litrowych 200-barowych butli operator usłyszał jakiś odgłos. Gdy zbliżył się do butli, pojawił się nagły zapłon w górnej części jednej z butli, prawdopodobnie wskutek uszkodzenia pierścienia uszczelniającego.
 13. Naczepa do przewozu LOX wywróciła się. Zbiornik został opróżniony. Gdy została podłączana do ciągnika, nastąpił wybuch zabijając trzy osoby. Na drogę wyciekło nieco oleju napędowego, a zawór bezpieczeństwa, skierowany do dołu, wypuszczał GOX. Gdy pod naczepę został wrzucony drut, mieszanina olej/tlen eksplodowała.
 14. Wysokociśnieniowa pompa ciekłego tlenu zapaliła się, prawdopodobnie wskutek wycieku zimnej cieczy do skrzyni korbowej. Skrzynia korbowa rozerwała się i operator został uderzony kawałkiem metalu w palec.
 15. Pompa LOX zapaliła się podczas przesyłu LOX z powodu nadmiernej prędkości 7200 obr./min. zamiast dozwolonej 6800 obr./min. Tylko pompa i przekładnia doznały uszkodzeń.

16. W pewnym elemencie czujnika przepływomierza LOX nastąpił zapłon. Możliwą przyczyną było nienależyte oczyszczenie do pracy z tlenem przy przekazywaniu do eksploatacji lub suche wrzenie, które doprowadziło do nagromadzenia się węglowodorów w ciągu długiego czasu.
17. Zbiornik LOX w stacji napełniania butli miał zostać opróżniony do konserwacji przy zastosowaniu zwykłej procedury napełniania butli. Nagle pompa zapaliła się wskutek suchego biegu. System zabezpieczenia przed suchym biegiem nie był poprawnie zaprojektowany.
18. Pompa LOX zapaliła się podczas swojej normalnej pracy. Pompa przez pewien okres czasu pracowała na suchym biegu, czego nie wykryły urządzenia zabezpieczające.
19. Podczas wykonywania dostawy ciekłego tlenu w zakładzie klienta kierowca zauważył dym w szafce pompy. Elektryczne wyładowanie łukowe wewnątrz wtyczki pompy spowodowało przepalenie izolacji przewodów. W tej pompie nie zastosowano dodatkowej izolacji używanej w takich przypadkach.
20. W następstwie wycieku LOX podczas rozładowywania cysterny LOX w obiekcie szpitalnym, cysterna zapaliła się. Pacjentów ewakuowano.

B5 Przykłady użycia niewłaściwych materiałów do pracy z tlenem

1. Zawór bezpieczeństwa na przewodzie zasilania gazowym tlenem został nasmarowany podczas naprawy. Gdy później zawór ten był sprawdzany pod ciśnieniem tlenu, smar zapalił się i operator doznał ciężkich obrażeń.
2. Podczas sprawdzania ciśnienia butli tlenowych pracownik użył ciśnieniomierza napełnionego gliceryną, który nie jest odpowiedni do pracy z tlenem. Podczas otwierania zaworu ciśnieniomierz eksplodował, powodując u pracownika niemal całkowitą ślepotę.
3. Monter zgubił teflonową uszczelkę od swojego reduktora tlenu. Po przybyciu na miejsce, gdzie miał wykonać naprawę, wykonał gumową uszczelkę z dętki samochodowej i podłączył reduktor do wylotu zaworu butlowego. Z powodu niezgodnej uszczelki, gdy otworzył zawór, nastąpił zapłon błyskawiczny, który oparzył mu górną część ręki i bark.
4. Wskutek zapalenia się reduktora butli tlenowej nastąpiło całkowite zniszczenie karetki pogotowia. Prawdopodobną przyczyną była niezgodna (gumowa) uszczelka w reduktorze.
5. Podczas otwierania zaworu wiązki butli tlenowych, podłączony wysokociśnieniowy wąż elastyczny, który był wykonany z gumy lub tworzywa sztucznego, zapalił się i uległ spaleni.
6. Zawór bezpieczeństwa w stacji napełniania tlenem spalił się, gdy włączona została pompa napełniająca. Przyczyną była wada działania i być może niezgodność zaworu bezpieczeństwa z tlenem. Instalację oraz typ zaworu bezpieczeństwa zmieniono.