

CO TO JEST INERTYZACJA ATMOSFER WYBUCHOWYCH?

dr inż. Rafał Porowski
Pracownia Usług Inżynierskich
S A F E C O N
e-mail: biuro@safecon.pl

Według standardu PN-EN 1127-1¹, inertyzacja jest to dodawanie substancji obojętnych w celu zapobiegania tworzeniu się atmosfer wybuchowych. Zatem, tworzenie się mieszaniny wybuchowej można uniemożliwić poprzez dodanie gazowych substancji, na przykład dwutlenku węgla, azotu, argonu, chlorowcopochodnych węglowodorów, bądź też proszkowych substancji obojętnych. Rozróżniamy inertyzację częściową, czyli zmniejszanie zawartości tlenu w mieszaninie w stopniu uniemożliwiającym jej wybuch, ale po zmieszaniu jej z dostateczną ilością powietrza, np. przy wychodzeniu mieszaniny z aparatu na zewnątrz, mieszanina staje się zdolna do wybuchu oraz inertyzację całkowitą jako zmniejszanie zawartości tlenu w mieszaninie w stopniu uniemożliwiającym jej wybuch, a po zmieszaniu jej z dowolną ilością powietrza, na przykład przy wychodzeniu mieszaniny z aparatu na zewnątrz, mieszanina w dalszym ciągu nie jest zdolna do wybuchu.

Warunki, które muszą być szczegółowo spełnione podczas skutecznej i bezpiecznej inertyzacji odnoszą się przede wszystkim do następujących zagadnień:

- skład chemiczny atmosfery wybuchowej,
- procedury związane z wyładowaniem gazu obojętnego,
- czynności kontrolne podczas inertyzacji.

Wymienione wyżej warunki zostały szczegółowo opisane w raporcie technicznym EN-TR 15281², który został przygotowany przez grupę międzynarodowych ekspertów w dziedzinie wybuchowości, na zlecenie organizacji normalizacyjnej CEN.

Przy stosowaniu inertyzacji należy zapewnić ciągłą kontrolę stężeń tlenu lub gazu obojętnego. W przypadku osiągnięcia stężeń mieszaniny w pobliżu granic wybuchowości (próg alarmowy) należy stosować środki zabezpieczające, względnie działania przewidziane na wypadek awarii. Przy równoczesnej obecności palnych substancji gazowych oraz pyłowych, jak również w postaci mgieł, w celu określenia najwyższego dopuszczalnego stężenia tlenu, należy uwzględnić wartość granicznego stężenia tlenu (GST) tej spośród występujących substancji, dla której jest ona najniższa.

Na podstawie niemieckich wytycznych VDS³ w zakresie zabezpieczeń przed wybuchem z doświadczalnie określonego stężenia granicznego tlenu uzyskuje się w praktyce wartość najwyższego dopuszczalnego stężenia tlenu przez odjęcie pewnego marginesu bezpieczeństwa, wynoszącego najczęściej 2 procent udziału molowego. Tak więc, dla większości pyłów wystarczające jest utrzymywanie maksymalnego stężenia tlenu na poziomie 5 procent. Istnieją jednak pyły, dla których graniczne stężenie tlenu ma wartość niższą, np. pyły niektórych metali lub paraformaldehyd. Podobnie jak

¹ PN-EN 1127-1, Atmosfery wybuchowe. Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem. Część 1: Pojęcia podstawowe i metodyka, 2009.

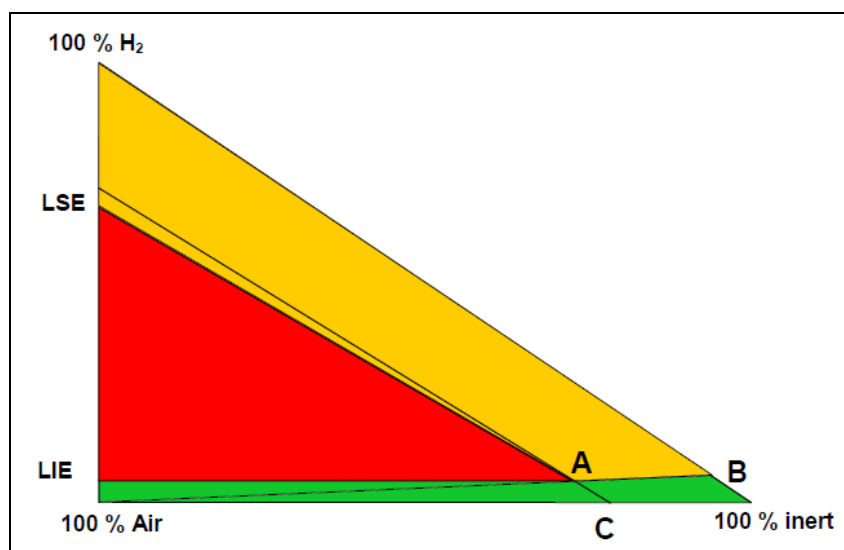
² EN/TR 15281, Guidance on inerting for the prevention of explosion, CEN, 2005.

³ VDS 3527, Guidelines for inerting and oxygen reduction systems, 2007.

w odniesieniu do par i gazów, dla pyłów wartość granicznego stężenia tlenu zależy od rodzaju gazu inertyzującego, np. dla dwutlenku węgla wartość tego stężenia jest wyższa aniżeli dla azotu. Zgodnie z wytycznymi VDS, jeśli w chronionej przestrzeni występuje kilka materiałów palnych, wówczas dopuszczalne stężenie tlenu powinno być dobrane w oparciu o kryterium zapłonu substancji, dla której wartość jest najniższa. W poszczególnych przypadkach, powinno się wykonać odpowiednie badania laboratoryjne w celu zidentyfikowania parametrów związanych z zapłonem mieszanin pyłowo-powietrznych, ze szczególnym uwzględnieniem minimalnej energii zapłonu (MEZ) oraz minimalnej temperatury zapłonu warstwy i obłoku pyłu (MTZ).

Ze względu na to, iż wiele metali lekkich może wchodzić w reakcję z dwutlenkiem węgla, a niektóre również z azotem, są zatem przypadki, w których do inertyzacji stosowane są gazy szlachetne. Mieszaniny pyłowo-powietrzne mogą w wystarczającym stopniu zostać zinertyzowane również przez dodanie pyłów niepalnych, na przykład soli kamiennej, siarczanu sodowego albo fosforanów. Na ogół jednak niezbędny dodatek takiego pyłu niepalnego wynosi ponad 50 procent masy, a niekiedy nawet ponad 80 procent.

W odniesieniu z kolei do mieszanin gazowo-powietrznych, warunki, w których mieszaniny te, na przykładzie wodoru mogą być inertyzowane przedstawia Rysunek 1.



Rysunek 1. Diagram inertyzacji mieszanin wodorowo-powietrznych⁴.

Na Rysunku 1, wierzchołki trójkąta odnoszą się do 3 czystych gazów:

- powietrza (dolny lewy wierzchołek),
- gazu obojętnego (dolny prawy wierzchołek),
- wodoru (górny wierzchołek).

Lewa strona trójkąta odnosi się do mieszanin wodorowo-powietrznych znajdujących się w granicach wybuchowości i zawiera następujące parametry: DGW i GGW, które dla tych mieszanin wynoszą odpowiednio 4% i 75% obj. Zatem zakres wybuchowości

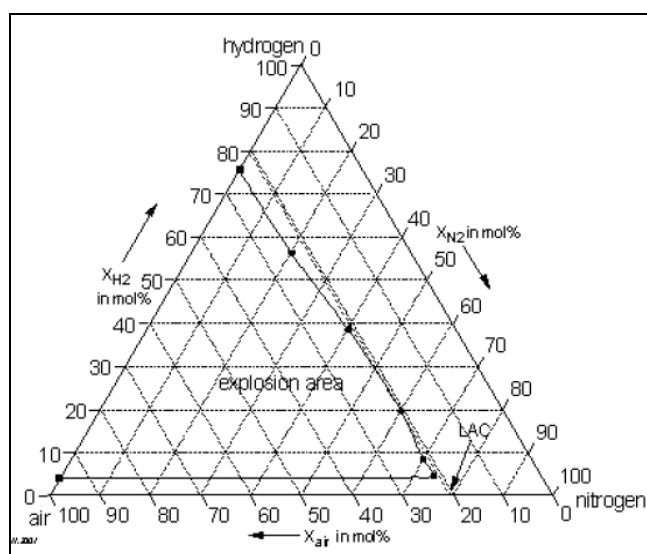
⁴ The Bennial Report on Hydrogen Safety, HYSAFE, 2007.

przedstawiony został na tym diagramie jako czerwony trójkąt prostokątny. Pozostałe obszary dotyczą w szczególności:

- obszar pomarańczowy – odnosi się do mieszanin, które nie zawierają się w zakresie granic wybuchowości, ale które mogą stać się mieszaninami wybuchowymi, jeśli ulegną zmieszaniu z powietrzem. Te mieszaniny określa się mianem „względnie inertyzujących”.
- obszar zielony – odnosi się do mieszanin, które nie zawierają się w zakresie granic wybuchowości, a także które nie staną się mieszaninami wybuchowymi, nawet jeśli ulegną zmieszaniu z powietrzem. Te mieszaniny określa się mianem „całkowicie inertyzujących.”

Wartość punktu B na diagramie określana jest poprzez zależność $X_{GAZ\ OBOJ.}/ X_{H_2}$ i odnosi się do mieszanin „całkowicie inertyzujących”. Jako przykład weźmy azot, który jest gazem obojętnym. W tym przypadku zastosowanie będzie miał kolejny diagram przedstawiony na Rysunku 2. Diagram ten został sporządzony na podstawie badań doświadczalnych nad granicami wybuchowości w sferycznym zbiorniku o objętości 14 litrów⁵. Na podstawie tego diagramu można odczytać następujące wartości:

- minimalne stężenie powietrza wynosi 21,2 % obj.,
- minimalne stężenie tlenu wynosi $0,209 \times 21,2 = 4,4$ % obj.,
- zależność $X_{GAZ\ OBOJ.}/ X_{H_2}$ równa jest 20.



Rysunek 2. Diagram inertyzacji mieszanin wodorowo-powietrznych za pomocą azotu⁶.

Projektowanie systemów wykorzystujących gaz inertyzujący zależy od tego, czy proces jest ciągły lub stanowi rodzaj podzielonego na części, wytrzymałości urządzeń procesowych oraz rodzaju i źródła gazu inertyzującego. Do określania pożądanej atmosfery w procesie stosuje się dwie główne zasady:

- metoda różnicy ciśnień,
- metoda przepłukiwania strumieniem cieczy.

⁵ Schröder V., Molnar M., Flammability limits of gas mixtures. Part 1 – Fire potential, Journal of Hazardous Materials 121/2005.

⁶ EN 14756, Determination of LOC for gases and vapours, 2005.

Metoda różnicy ciśnień działa albo powyżej albo poniżej ciśnienia atmosferycznego. W pierwszym przypadku, w urządzeniu procesowym początkowo wypełnionym powietrzem przy ciśnieniu atmosferycznym, podwyższone jest ciśnienie do zadanego nadciśnienia przez gaz inertyzujący. W momencie, gdy powietrze i gaz inertyzujący zostaną dobrze zmieszane, urządzenie procesowe zostaje odpowietrzane do atmosfery, a cały cykl zostaje powtarzany dopóki osiągnię się wystarczającą zawartość tlenu. Alternatywą jest najpierw opróżnienie urządzenia procesowego do pewnej wartości podciśnienia, a następnie napełnienie gazem inertyzującym do ciśnienia atmosferycznego, zmieszanie oraz powtórzenie całego cyklu wymaganą ilość powtórzeń.

Metodę przepłukiwania strumieniem cieczy stosuje się, jeśli urządzenie procesowe nie zostało zaprojektowane na znaczący wzrost ciśnienia lub próżnię, wymagane przez metodę różnicy ciśnień. Istnieją dwa skrajne przypadki metody przepłukiwania, a mianowicie metoda podstawiania (przepływ tłokowy) oraz metoda mieszania od początku do końca (zbiornik do mieszania). W celu utrzymania przepływu tłokowego, prędkość przepływu gazu inertyzującego do układu musi być niska (poniżej 1 m/s), a geometria musi być korzystna do unikania mieszania. W praktyce jest to bardzo trudne do osiągnięcia, a metoda zbiornika do mieszania, wykorzystująca wysoką prędkość przepływu gazu i turbulenty mieszanie, jest tu zazwyczaj wykorzystywana. Istotnym jest, aby natychmiastowe mieszanie było całkowite, ponad pełną objętość, w innym przypadku mogą się formować przestrzenie wypełnione zawartością tlenu o stężeniach nie do zaakceptowania.