

Zagrożenie wybuchem

Wstępnie i rzeczowo

W codziennej praktyce inżynierskiej często spotykamy się z zagadnieniami związanymi z pyłami i gazami palnymi, zagrożeniem wybuchowym i strefami zagrożenia wybuchem. Wokół doboru urządzeń i instalacji przeznaczonych do pracy w strefach potencjalnego zagrożenia wybuchem, narosło już wiele mitów. Tematyka jest zawita, a publikacje na jej temat są często niezrozumiałe, szczególnie w środowiskach bezpośrednio niezwiązanych z zagadnieniem. Warto zatem wyjaśnić kilka podstawowych pojęć związanych z wybuchowością i zabezpieczaniem pracy w strefach zagrożonych.

Czym jest wybuch?

Wszyscy na co dzień posługujemy się pojęciem wybuchu, ale rzadko jesteśmy w stanie powiedzieć co tak naprawdę termin ten oznacza. W języku potocznym wybuch oznacza gwałtowne wydzielenie w jednym miejscu dużych ilości energii, któremu towarzyszy nagły wzrost temperatury i ciśnienia oraz powstanie fali uderzeniowej.

Czynnikami destrukcyjnymi wybuchu są zatem trzy wymienione zjawiska. Gwałtowny wzrost temperatury może powodować zapłon substancji palnych znajdujących się w otoczeniu. Nagły wzrost ciśnienia wywołuje falę uderzeniową, która rozprzestrzeniając się z dużą prędkością, powoduje zniszczenia na drodze mechanicznej poprzez gwałtowny wzrost naprężeń mechanicznych w napotykanym przeszkodach.

W zależności od prędkości rozchodzenia się fali uderzeniowej oraz mechanizmu wybuchu, rozróżnia się trzy rodzaje wybuchów:

**wybuch właściwy
lub inaczej deflagracja**

$$v < V_p$$

eksplozja

$$V_p < v < V_{max}$$

detonacja

$$v = V_{max}$$

gdzie:

V_p – aktualna wartość prędkości dźwięku, wynosząca około 330 m/s

V_{max} – maksymalna wartość prędkości fali uderzeniowej w środowisku, w którym zachodzi wybuch.

Praktycznie wszystkie trzy rodzaje zjawiska mogą się pojawić jako skutek przypadkowego zapłonu mieszaniny wybuchowej, a prędkość fali uderzeniowej

zależy od energii wyzwolonej podczas wybuchu. Wyzwolona energia przekłada się wprost na skalę wywołanych zniszczeń.

Kiedy następuje wybuch?

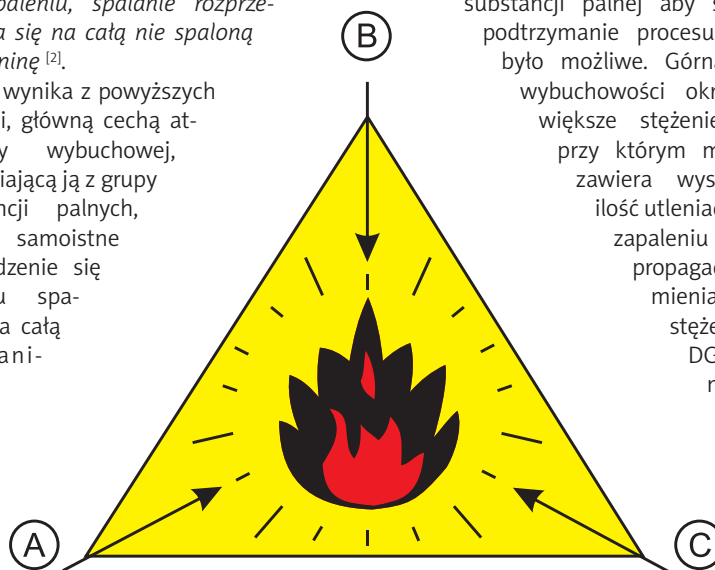
Warunkiem koniecznym do powstania zjawiska wybuchu jest równoczesna obecność trzech czynników.

Pierwszym czynnikiem koniecznym do zaistnienia wybuchu jest obecność palnej substancji, która będzie ulegała gwałtownemu spalaniu. Należy jednak rozróżnić terminy „palnej substancji” i „atmosfery wybuchowej”.

Palna substancja może występować w postaci mieszaniny gazowej, cieczy, oparów cieczy, mgły lub pyłu. Substancja palna posiada zdolność wchodzenia w reakcję egzotermiczną po zapaleniu [2].

Atmosfera wybuchowa – mieszanina substancji palnych w postaci gazów, par, mgieł lub pyłów z powietrzem w warunkach atmosferycznych, w której po zapaleniu, spalanie rozprzestrzenia się na całą nie spaloną mieszaninę [2].

Jak wynika z powyższych definicji, główną cechą atmosfery wybuchowej, wyróżniającą ją z grupy substancji palnych, jest samoistne rozchodzenie się procesu spalania na całą mieszaninę.



A – tlen

B – atmosfera wybuchowa

C – źródło zapłonu

Obecność tlenu jako drugi czynnik zaistnienia wybuchu w powietrzu atmosferycznym jest oczywiście zawsze spełniony.

Trzeci czynnik – źródło zapłonu – może być bardzo różny: otwarty płomień, iskra, wysoka temperatura powierzchni urządzenia lub wyładowanie elektrostatyczne (o źródłach zapłonu będzie jeszcze mowa w dalszej części artykułu).

Czym jest wybuchowość?

Termin wybuchowość można określić jako podatność atmosfery wybuchowej na czynniki prowadzące do zapłonu (a tym samym wybuchu). Podatność ta zależy od stężenia gazu palnego lub palnych oparów cieczy oraz od rodzaju atmosfery. W celu wymiernej oceny podatności na wybuch, stosuje się dwa podstawowe wskaźniki określające stopień zagrożenia wybuchem w zależności od stężenia palnej części mieszaniny.

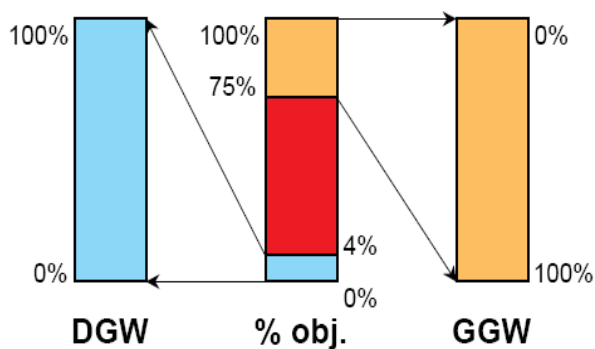
Dolna granica wybuchowości DGW

Dolna granica wybuchowości określa stężenie gazu palnego lub palnej pary w powietrzu, poniżej którego atmosfera gazowa nie jest wybuchowa. Wartość DGW podawana jest zwykle w % objętościowych lub w g/m³ [3].

Górna granica wybuchowości GGW

Górna granica wybuchowości określa stężenie gazu palnego lub palnej pary w powietrzu, powyżej którego atmosfera gazowa nie jest wybuchowa. Wartość GGW podawana jest zwykle w % objętościowych lub w g/m³ [3].

Poniżej dolnej granicy wybuchowości, mieszanina zawiera zbyt mało substancji palnej aby samoistne podtrzymanie procesu spalania było możliwe. Górna granica wybuchowości określa największe stężenie paliwa, przy którym mieszanina zawiera wystarczającą ilość utleniacza aby po zapaleniu wystąpiła propagacja płomienia. Przedział stężeń między DGW i GGW nazywany jest przedziałem



wybuchowości. W przedziale zadziałania czynnika inicjującego, zapłon zachodzi zawsze.

Ukazane na wykresie wartości DGW = 100% V i GGW = 75% V podano dla mieszaniny powietrza i wodoru. Na środkowej części wykresu podano stężenia w procentach objętościowych. Skrajne skale odnoszą się do poziomów DGW i GGW, które odpowiadają 100% rozpatrywanego zakresu. Prowadząc rozważania odnośnie zagrożenia wybuchowego, posługujemy się pojęciem DGW (dolnej granicy wybuchowości) rozpatrywanym w zakresie od 0% do 100% wartości DGW.

Wartości dolnej i górnej granicy wybuchowości nie są wartościami stałymi. Zależą one od ciśnienia i temperatury mieszaniny oraz jej składu. Domieszki innych składników mogą wpływać na właściwości mieszaniny palnej. Tabela 1 przedstawia przykładowe zależności DGW i GGW od składu mieszaniny.

Nazwa substancji	Powietrze		Tlen
	% DGW	% GGW	% GGW
Amoniak NH ₃	15,0	28,0	79,0
Eter etylowy C ₄ H ₁₀ O	1,6	48,0	82,0
Wodór H ₂	4,0	75,0	93,9
Tlenek węgla CO	12,5	75,0	93,9

Tabela 1

Należy przy tym pamiętać, iż mieszanki gazów palnych i czystego tlenu nie posiadają dolnej granicy wybuchowości. Dodatkowo, w porównaniu z mieszaninami zawierającymi powietrze, w mieszaninach z czystym tlenem, wartość górnej granicy wybuchowości ulega zdecydowanemu zwiększeniu, a zakres wybuchowości rozszerza się dwa do trzech razy.

Klasyfikacja atmosfer wybuchowych

Atmosfery wybuchowe zgodnie z obowiązującą normą [5] dzielimy na dwie grupy:

Grupa I – metan w wyrobiskach podziemnych.

Grupa II – gazy palne i pary palnych cieczy za wyjątkiem metanu w wyrobiskach podziemnych.

Na podstawie maksymalnego doświadczalnego bezpiecznego prześwietu (MESG) i wartości stosunku minimalnych prądów zapalających do prądu zapalającego metan laboratoryjny (MIC) [6], w Grupie II wyróżniono podgrupy wybuchowości IIA, IIB, IIC.

Podgrupa wybuchowości	Wartość MESG [mm]
IIA	powyżej 0,9
IIB	w przedziale między 0,5 a 0,9
IIC	poniżej 0,5

MESG – Maximum experimental safe gap

Podgrupa wybuchowości	Wartość MIC
IIA	powyżej 0,8
IIB	w przedziale między 0,45 a 0,8
IIC	poniżej 0,45

MIC – Minimum igniting current

Rozważając zagrożenie wybuchem powodowane przez daną substancję gazową, należy wziąć pod uwagę temperaturę zapłonu tej substancji oraz temperaturę samozapłonu tworzonej przez nią atmosfery wybuchowej.

Temperatura zapłonu jest to minimalna temperatura, przy której w określonych warunkach badania, z cieczy wydziela się palny gaz lub para w ilości wystarczającej do natychmiastowego zapłonu. [2]

Temperatura samozapłonu atmosfery wybuchowej jest to najniższa temperatura, w której następuje zapalenie palnej substancji w postaci mieszaniny gazu lub pary z powietrzem. [2]

Zagrożenie wybuchowe jest to możliwość tworzenia przez palne gazy, pary palnych cieczy, pyły lub włókna palnych ciał stałych, w różnych warunkach, mieszanin z powietrzem, które pod wpływem czynnika inicjującego zapłon, ulegają gwałtownemu spalaniu połączonego ze wzrostem

ciśnienia. Czynnikiem inicjującym może być iskra, łuk elektryczny, wyładowanie elektrostatyczne lub przekroczenie temperatury samozapłonu.

Atmosfery wybuchowe gazów i par cieczy podzielono na podstawie temperatur samozapłonu na sześć klas temperaturowych.

Klasa temperaturowa	Temperatura samozapłonu [°C]
T1	powyżej 450
T2	powyżej 300 do 450
T3	powyżej 200 do 300
T4	powyżej 135 do 200
T5	powyżej 100 do 135
T6	powyżej 85 do 100

Strefy zagrożenia wybuchem

W celach praktycznych, związanych z doborem urządzeń pracujących w określonych przestrzeniach, zdefiniowano sześć rodzajów stref zagrożenia wybuchem. Wszystkie strefy wyznaczone są w zależności od częstotliwości pojawiania się emisji oraz jej wydajności. Pierwsze trzy dotyczą stref, w których zagrożenie powoduje mieszanina gazowa, kolejne dotyczą zagrożenia powodowanego przez pyły i włókna palnych substancji.

Strefa 0 – miejsce, w którym atmosfera wybuchowa zawierająca mieszaninę powietrza oraz substancji palnych w postaci gazu, pary lub mgły, **występuje stale lub przez długie okresy czasu, lub często**. Strefa ta pojawia się wewnątrz pojemników, rurociągów, zbiorników, separatorów olejowo-wodnych otwartych do atmosfery.

Strefa 1 – miejsce, w którym atmosfera wybuchowa zawierająca mieszaninę powietrza oraz substancji palnych w postaci gazu, pary lub mgły, **może czasami wystąpić w trakcie normalnego działania**. Strefa ta może obejmować bezpośrednio otoczenie strefy 0, miejsca napełniania i opróżniania naczyń lub zbiorników, otoczenie uszczelnień pomp, zaworów połączeń kotłowniczonych armatury i rurociągów.

Strefa 2 – miejsce, w którym atmosfera wybuchowa zawierająca mieszaninę

powietrza oraz substancji palnych w postaci gazu, pary lub mgły, **nie występuje w trakcie normalnego działania, a w przypadku wystąpienia trwa krótko**. Typowo strefa ta może obejmować strefę 0 lub strefę 1.

Strefa 20 – miejsce, w którym atmosfera wybuchowa w postaci obłoku palnego pyłu w powietrzu, **występuje stale lub przez długie okresy czasu, lub często**. Strefa ta pojawia się wewnątrz pojemników, rurociągów, młynów, zbiorników, silosów i bunkrów.

Strefa 21 – miejsce, w którym atmosfera wybuchowa w postaci obłoku palnego pyłu w powietrzu, **może czasami wystąpić w trakcie normalnego działania**. Strefa ta pojawia się w bezpośrednim otoczeniu nasypywania, wysypywania pyłów lub warstw pyłów zdolnych do tworzenia mieszanin z powietrzem w zakresie stężeń wybuchowych.

Strefa 22 – miejsce, w którym atmosfera wybuchowa w postaci obłoku palnego pyłu w powietrzu, **nie występuje w trakcie normalnego działania, a w przypadku wystąpienia trwa krótko**. Strefa ta może obejmować miejsca w bezpośrednim otoczeniu urządzeń zawierających pył, na przykład w pomieszczeniach z młynami, w których osiada pył wydobywający się z wnętrza młynów.

Określenie stref zagrożenia wybuchem jest metodą analizowania i klasyfikowania środowiska, w którym może pojawić się atmosfera wybuchowa. Ułatwia ona właściwy dobór i instalowanie urządzeń celem ich bezpiecznego stosowania w takim środowisku, z uwzględnieniem rodzaju strefy, grupy wybuchowości i klas temperaturowych.

W praktyce, w większości przypadków, w których stosuje się substancje palne, trudno jest zapewnić, że atmosfera wybuchowa nigdy nie wystąpi oraz, że instalacje i urządzenia nigdy nie staną się źródłem zapłonu. Dlatego też, klasyfikację środowisk w odniesieniu do zagrożenia wybuchem, należy przeprowadzać zawsze przed rozpoczęciem jakiegokolwiek działalności. Należy przy tym pamiętać, aby klasyfikacji obszarów niebezpiecznych dokonywały osoby znające właściwości substancji palnych, technologię produkcji i wyposażenie instalacji. Nie mniej istotne jest także to aby wyznaczenie stref odbyło

się w porozumieniu ze służbami p/poż i bhp.

Podstawowymi działaniami podczas ustalania rodzaju stref zagrożenia wybuchem są: identyfikacja źródła emisji oraz określenie stopnia emisji. Stopień emisji zależy od częstotliwości i czasu trwania emisji. Wyróżnia się trzy stopnie emisji:

- emisję ciągłą – emisję, która występuje stale lub której występowania można spodziewać się w długich okresach
- pierwszy stopień emisji – emisja, której występowania w normalnych warunkach pracy można spodziewać się w długich okresach
- drugi stopień emisji – emisja, której występowania w normalnych warunkach pracy nie można się spodziewać, a jeśli się pojawi, to rzadko i w krótkich okresach.

Mając ustalone stopnie emisji, mamy określone rodzaje stref (które zależą głównie od stopnia emisji i skuteczności wentylacji w przestrzeni zagrożonej). Zasięg stref zagrożenia wybuchem zależy od wydajności emisji gazu lub pary, geometrii źródła emisji, szybkości emisji, stężenia substancji w emitowanej mieszaninie, lotności cieczy palnej, temperatury cieczy, dolnej granicy wybuchowości, wentylacji oraz gęstości względnej emitowanej substancji.

Wskazówki dotyczące ustalenia zasięgu stref można znaleźć w załącznikach do rozporządzenia [4], w których podano typowe wymiary i zasięgi stref zagrożenia wybuchem dla niektórych urządzeń technologicznych, przeznaczonych do magazynowania i dystrybucji ropy naftowej i jej pochodnych. Wymiary stref zagrożenia wybuchem dla stanowisk i urządzeń niewymienionych w załącznikach do rozporządzenia, należy ustalić indywidualnie, zgodnie z polskimi normami oraz odrębnymi przepisami dotyczącymi ochrony przeciwpożarowej budynków oraz innych obiektów budowlanych i terenów.

Jak nie doprowadzić do wybuchu?

Sposobów na uniknięcie wybuchu podczas pracy w określonej przestrzeni jest wiele. W normie [2] ujęto zasady zapobiegania wybuchowi i ochrony przed wybuchem. Najprościej ujmując, wszelkie działania realizowane w przestrzeniach, w których możliwy jest wybuch, powinny skupiać się na:

- zapobieganiu wybuchu

- unikaniu powstawania źródeł zapłonu
- ograniczeniu skutków wybuchu

Zapobieganie polega na unikaniu atmosfer wybuchowych poprzez zmianę stężenia substancji palnych do wartości leżących poza zakresem wybuchowości. Alternatywną metodą jest zmiana stężenia tlenu poniżej wartości niezbędnej do zaistnienia wybuchu oraz eliminacja źródeł emisji substancji palnych.

Unikanie powstawania źródeł zapłonu to nic innego jak monitoring efektywnych źródeł zapłonu, którymi są między innymi:

- gorące powierzchnie
- płomienie i gorąca gazy
- mechaniczne źródła iskier
- urządzenia i instalacje elektryczne
- prądy błędzące i wyrównawcze
- ochrona katodowa przed korozją
- elektryczność statyczna
- wyładowania atmosferyczne
- promieniowanie jonizujące
- ultradźwięki
- sprężanie adiabatyczne i fale uderzeniowe
- reakcje egzotermiczne i samozapłon gazów

Ograniczenie skutków wybuchu polega natomiast na stosowaniu rozwiązań konstrukcyjnych takich jak systemy odpowietrzenia i tłumienia fali uderzeniowej, wzmocnienia konstrukcyjne oraz separacja urządzeń i obszarów.

Eliminacja lub minimalizacja ryzyka wybuchu powinna być dokonywana przez stosowanie jednej lub kombinacji powyższych metod, z których najistotniejszą jest unikanie możliwości powstawania atmosfery wybuchowej. Można tego dokonać poprzez szereg działań, z których najważniejsze to:

- projektowanie, konstruowanie i użytkowanie urządzeń zawierających gazy palne w taki sposób, aby zachować ich szczelność
- stosowanie niepalnych materiałów konstrukcyjnych
- rozcieńczanie za pomocą stosowania instalacji wentylacji
- unikanie gromadzenia się pyłów

W codziennej pracy, w celu minimalizacji ryzyka wybuchu, należy przede wszystkim pamiętać, iż bezpieczna praca urządzeń w przestrzeniach zagrożonych wybuchem zależy głównie od ich właściwego doboru do sklasyfikowanych stref zagrożenia. Niemniej istotny jest prawidłowy montaż i zasilanie oraz późniejsza eksploatacja.

Atmosfera gazowa a pyłowa

W dotychczasowych rozważaniach koncentrowaliśmy się na atmosferach gazowych. Zagrożenie wybuchowe powodowane przez pyły stanowi odrębną dziedzinę zagadnień. Podstawową różnicą między wybuchową atmosferą gazową, a atmosferą pyłową jest gęstość. Gęstość par i gazów jest przynajmniej 1000 razy mniejsza niż gęstość atmosfer pyłowych. Istotną cechą jest również sposób rozprzestrzeniania się składnika palnego. Gazy rozprzestrzeniają się w powietrzu drogą konwekcji i dyfuzji, tworząc jednorodną lub prawie jednorodną mieszaninę. W przypadku atmosfer pyłowych, należy pamiętać, iż pyły są cięższe od powietrza i wykazują tendencję do osadzania się.

Aby atmosfera pyłowa stała się wybuchowa, muszą być spełnione następujące warunki:

- pył musi być palny
- atmosfera musi zawierać tlen (lub inny utleniacz)
- pył musi tworzyć zawiesinę
- stężenie pyłu musi osiągać wartości z zakresu wybuchowego tj. minimum 50g/m³.

Najbardziej istotną różnicą w przebiegu zjawiska wybuchu w atmosferach pyłowych, odróżniającą je od analogicznych zjawisk w atmosferach gazowych, jest możliwość powstawania wybuchów wielokrotnych. Fala uderzeniowa wywołana przez pierwszy wybuch może spowodować powstanie nowej chmury pyłu i w efekcie zainicjowanie wybuchu wtórnego. W skrajnym przypadku może dojść do wybuchów wielokrotnych.

Ciąg dalszy nastąpi

W wielu przypadkach, praca na obiektach przemysłowych łączy się z zagrożeniem wybuchem. Zapewnienie bezpieczeństwa pracy w takich warunkach nie spoczywa jednak tylko na służbach odpowiedzialnych za kwestię bhp. Każda osoba bowiem musi zdawać sobie sprawę z zagrożenia i we własnym zakresie minimalizować ryzyko wybuchu. Aby jednak móc przeciwdziałać, należy posiadać elementarną wiedzę na temat przyczyn i skutków jakie niesie ze sobą praca w obszarach zagrożonych. Mam nadzieję, że udało mi się w sposób jasny i czytelny przedstawić podstawowe pojęcia związane z wybuchowością, a niniejszy artykuł choć trochę rozświetli tę dość skomplikowaną problematykę.

Artykuł, którego lekturę mają już Państwo na ukończeniu, proszę traktować jako swoisty wstęp do kolejnych publikacji traktujących o zagadnieniach „ATEX-owych”. Zapraszam więc do kolejnych numerów „Pod kontrolą”.



Autor artykułu:
Maciej Warzysko

W 1986 roku ukończył Akademię Górniczo-Hutniczą im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Elektryczny, na kierunku Metrologia. W Introlu pracuje od 2004 roku. Jako kierownik Działu gazometrii, zajmuje się między innymi systemami detekcji gazów i przemysłowymi systemami analityki gazowej.

tel. 032/789 00 62
e-mail: gazometria@introl.pl

Wykaz przepisów i norm wykorzystanych w artykule:

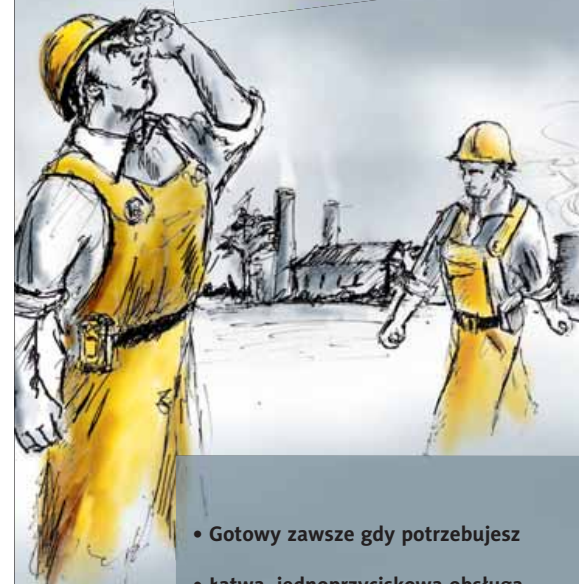
- [1] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 16 czerwca 2003r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów -Dz.U. Nr 121, poz1138
- [2] PN-EN 1127-1; 2001 Atmosfery wybuchowe. Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem. Pojęcia podstawowe i metodologia.
- [3] PN-EN 60079-10; 2003 Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Część 10; Klasyfikacja obszarów niebezpiecznych.
- [4] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 listopada 2005r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać bazy i stacje paliw płynnych, rurociągi przesyłowe dalekosiężne służące do transportu ropy naftowej i produktów naftowych i ich usytuowanie – Dz.U. Nr 243, poz 2063.
- [5] PN-84/E-08119 Elektryczne urządzenia przeciwwybuchowe. Mieszaniny wybuchowe.
- [6] PN-EN 50014; 2004 Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Wymagania ogólne.

GasAlert Quattro

cztergazowy detektor ochrony osobistej



- H₂S
- O₂
- CO
- gaz palny



- Gotowy zawsze gdy potrzebujesz
- Łatwa, jednoprzyciskowa obsługa
- Wyświetlacz LCD

gazometria@introl.pl