

Artykuł pt.: **Klasyfikacja stref zagrożenia wybuchem w nowej odsłonie.**

mł. bryg. mgr inż. Robert Żuczek

Artykuł powstał w związku z pojawieniem się 19 lutego 2016 r. nowej edycji normy PN-EN 60079-10-1:2016-02. Atmosfery wybuchowe -- Część 10-1: Klasyfikacja przestrzeni -- Gazowe atmosfery wybuchowe. W treści przedstawione zostaną istotne zmiany dotyczące klasyfikacji stref zagrożenia wybuchem oraz określania ich zasięgów. W krótkich słowach scharakteryzowana zostanie także koncepcja wprowadzania istotnych zmian w podejściu do wprowadzania jednolitych zasad klasyfikowania przestrzeni zagrożonych wybuchem.

Rola komitetu technicznego nr 64 ds. Urządzeń Elektrycznych w Przestrzeniach Zagrożonych Wybuchem.

Pracami nad nowymi edycjami norm na terenie kraju zajmują się Komitety Techniczne (KT) powoływane przez Prezesa Polskiego Komitetu Normalizacyjnego. Komitety techniczne realizują cele wymienione w art. 3 Ustawa o normalizacji (Dz. U. z 2002 r. Nr 169, poz.1386) w przyporządkowanym im zakresie tematycznym. Do zadań realizowanych w Komitetach Technicznych należą m in.:

- opracowanie Polskich Norm,
- uczestniczenie w europejskiej i międzynarodowej współpracy normalizacyjnej, a w szczególności opiniowanie projektów EN i dokumentów ISO oraz uzgadnianie stanowiska krajowego do projektów EN i projektów ISO,
- uzgadnianie projektów PN, wnioskowanie o zatwierdzenie i wycofanie PN,
- interpretacja postanowień PN i innych dokumentów normalizacyjnych,
- współpraca z innymi KT w zakresie opiniowania i uzgadniania projektów PN
- nadzór nad aktualnością zbioru PN przypisanego do KT.

Komitet techniczny nr 64 ds. Urządzeń Elektrycznych w Przestrzeniach Zagrożonych Wybuchem powoływany przez Prezesa Polskiego Komitetu Normalizacyjnego do prowadzenia prac normalizacyjnych znajduje się w Głównym Instytucie Górnictwa. Komitet ten pod przewodnictwem mgr inż. Wojciech Kwiatkowskiego, zajmuje się m.in.. wymaganiami bezpieczeństwa dla maszyn i urządzeń oraz wyposażenia technicznego przeznaczonego do pracy w przestrzeniach zagrożonych wybuchem, klasyfikacją obszarów zagrożonych wybuchem a także wymaganiami dotyczącymi przyrządów do wykrywania i pomiaru stężenia gazów lub par palnych w powietrzu. Prace w KT 64 koncentrują się na wdrażaniu do krajowego zbioru, norm europejskich określających wymagania techniczne oraz wymagania bezpieczeństwa dla urządzeń przeznaczonych do stosowania w atmosferach wybuchowych oraz urządzeń wykrywających i mierzących stężenie gazów palnych.

Rezultatem tych działań jest m in.:

- zmniejszenie kosztów wynikających z produkcji nieprawidłowych wyrobów,
- zagwarantowanie odpowiedniej jakości i standardu wyrobów,
- podnoszenie jakości wykonania oraz zagwarantowanie bezpieczeństwa użytkowania,

- zwiększenie bezpieczeństwa oraz ochrony zdrowia i środowiska,
- ułatwienie kontaktów pomiędzy dostawcami i odbiorcami zarówno w obszarze handlowym, jak i technicznym,
- poprawa konkurencyjności na rynku krajowym.

Warto nadmienić, że Główny Instytut Górnictwa jest także członkiem 25 innych Komitetów Technicznych PKN. Ogółem 31 specjalistów powołanych do reprezentowania Głównego Instytutu Górnictwa uczestniczy w pracach 26 Komitetów Technicznych.

Zakres PN-EN 60079-10-1:2016-02

Norma PN-EN 60079-10-1:2016-02 dotyczy klasyfikacji przestrzeni, w których mogą wystąpić zagrożenia związane z obecnością palnych gazów lub par, i może być stosowana jako podstawa dla odpowiedniego doboru i instalacji urządzeń przeznaczonych do stosowania w zagrożonych przestrzeniach. Norma przeznaczona jest do stosowania tam, gdzie może występować zagrożenie zapłonem spowodowane występowaniem gazów lub par palnych, w mieszaninach z powietrzem, jednak **nie ma zastosowania do:**

- a) kopalń zagrożonych występowaniem gazu kopalnianego (metanu);
- b) produkcji i przetwarzania materiałów wybuchowych;
- c) katastrof lub rzadkich awarii wykraczających poza przyjęte w niniejszej normie określenie sytuacji anormalnej;
- d) pomieszczeń wykorzystywanych do celów medycznych;
- e) instalacji komercyjnych i przemysłowych, w których stosowany jest gaz palny pod niskim ciśnieniem np. do gotowania, podgrzewania wody, również tam, gdzie instalacja jest zgodna z odpowiednimi przepisami dotyczącymi używania gazu;
- f) pomieszczeniach domowych;
- g) tam gdzie może wystąpić zagrożenie związane z wystąpieniem palnych pyłów, jednak znajduje zastosowanie w przypadku pojawienia się mieszaniny hybrydowych.

Wykluczenie pewnych obszarów z pod obowiązywania normy, pozwala na rozwianie wielu wątpliwości, z jakimi projektanci borykają się na co dzień, klasyfikując przestrzenie zagrożone wybuchem. Norma w załączniku "I" podaje także propozycje postępowania w przypadku obecności mieszanin hybrydowych, czego do tej pory normy nie poruszały, a zdarzają się miejsca w których takie mieszaniny mogą się pojawić.

Nowe podejście do klasyfikacji stref zagrożenia wybuchem.

Niewielkie, aczkolwiek istotne zmiany wprowadzono już w rozdziale 3 opisującym definicje. W definicji "atmosfery wybuchowej" pojawiła się uwaga w której podano przykłady substancji palnych, które jako mieszaniny jednorodnie same, bez udziału tlenu z otoczenia tworzą atmosferę wybuchową. Wynika, to z faktu iż substancja w swoim składzie posiada wystarczającą ilość tlenu, zdolną do wzięcia udziału w reakcji spalania lub z uwagi na wysoką wartość górnej granicy palności (ang. upper flammable limit UFL) uznaje się, że z łatwością może osiągnąć stężenie wybuchowe i dlatego klasyfikowana jest jako atmosfera potencjalnie wybuchowa. Przykładem jest wymieniony w normie, tlenek etylenu (CH_2O), hydrazyna (H_4N_2) czy acetylen (C_2H_2). W praktyce, wewnątrz zamkniętych zbiorników pomimo ograniczonego dostępu tlenu, wyznacza się strefę 0 zagrożenia wybuchem co pociąga za sobą konsekwencje konieczności zastosowania urządzeń elektrycznych do pracy w

strefie 0 (kategoria 1G), jeśli takowe tam się znajdują. Wyjątkiem są sytuacje w których, do kontroli procesu technologicznego lub magazynowania wykorzystuje się gazy inertujące. W takich okolicznościach, norma dopuszcza brak potrzeby klasyfikacji takich przestrzeni jako niebezpieczne. Mówi o tym wyjaśnienie do pojęcia "przeźródź zagrożona wybuchem". W obecnym czasie stosuje się wiele tego typu nowoczesnych rozwiązań mających na celu redukcje ryzyka wystąpienia wybuchu a także optymalizacje stosowania urządzeń Ex.

Relacje pomiędzy kategoriami ATEX a strefami			
Kategoria ATEX	Strefy dozwolonego użycia	Wymagania projektowe	Equipment Protection Level
1G	0, 1, 2	Bezpieczne przy dwu niezależnych uszkodzeniach lub bezpieczne nawet gdy rozważono rzadko występujące wadliwe działanie	Ga
2G	1, 2	Bezpieczny gdy rozważono spodziewane wadliwe działanie	Gb
3G	2	Bezpieczne w normalnym działaniu	Gc

Tabela 1.

Nowością w normie PN-EN 60079-10-1:2016-02 jest zastąpienie dotychczasowych pojęć związanych z wydajnością wentylacji - niski (VL), średni (VM), wysoki stopień wentylacji (VH), na rzecz pojęcia dilution (ang. rozcieńczać, rozpuszczać, rozpraszać). Dotychczasowe obliczenia dotyczące stopnia i skuteczności wentylacji nie będą miały zastosowania. Wprowadzie stosowanie wentylatorów mechanicznych czy wentylacji grawitacyjnej nadal będzie uwzględniane jako skuteczna metoda eliminacji stężeń wybuchowych, jednak sposób obliczania jej skuteczności będzie nieco inny. Mówi o tym rozdział 6.4 i 6.5 oraz załącznik C poświęcony wentylacji oraz określeniu stopnia rozcieńczenia.

Wentylacja a stopień rozcieńczenia.

Zgodnie z normą gazy lub pary uwalniane do atmosfery ulegają rozcieńczeniu w skutek turbulentnego mieszania się z powietrzem i w mniejszym zakresie w wyniku dyfuzji uzależnionej od współczynnika dyfuzji. Wentylacja lub zwykły przepływ powietrza mają dwie zasadnicze funkcje: a) podniesienie współczynnika rozcieńczenia i dyspersji w celu ograniczenia zasięgu strefy, b) uniknięcie obecności atmosfery wybuchowej w dłuższym przedziale czasowym, co wpływa na rodzaj strefy.

Przepływ powietrza w wyniku wentylacji naturalnej lub wymuszonej przyczynia się do wzrostu dyspersji, co powoduje z jednej strony większą emisję par, ale jednocześnie przyczynia się do ich rozrzedzenia. Niezależnie od różnych postaci źródeł emisji, należy więc rozróżnić dwie odmienne koncepcje wentylacji. Jedna z nich dotyczy mechanizmu, w którym powietrze po prostu przepływa przez pomieszczenie, gwarantując wymaganą liczbę wymian powietrza. Z kolei w drugiej koncepcji chodzi o skuteczność rozcieńczenia obłoku atmosfery wybuchowej.

Wyróżniono trzy rodzaje stopni rozcieńczenia:

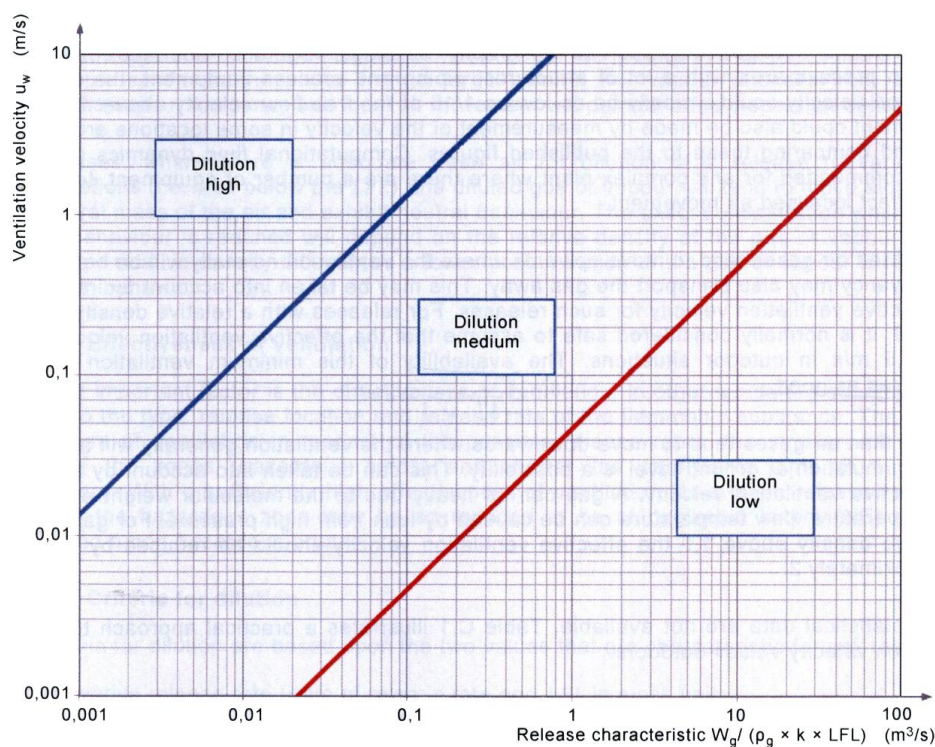
- **Wysoki stopień rozcieńczenia (high dilution)** - stężenie w pobliżu źródła emisji, które szybko zostaje ograniczone i praktycznie nie utrzymuje się nawet z chwilą zatrzymania emisji ze źródła.
- **Średni stopień rozcieńczenia (medium dilution)** - stężenie jest kontrolowane powodując stabilny i ograniczony zasięg strefy nawet, w sytuacji gdy emisja dalej ma miejsce, a po zatrzymaniu emisji ze źródła atmosfera wybuchowa nie utrzymuje się zbyt długo.
- **Niski stopień rozcieńczenia (low dilution)** - dotyczy znacznego stężenia w chwili emisji i/lub znacznego utrzymywania się palnej atmosfery nawet z chwilą zatrzymania emisji ze źródła.

W/w stopnie rozcieńczenia w powiązaniu z dyspozycyjnością wentylacji (dobra, dostateczna, słaba) oraz rodzajem źródła emisji (ciągły, pierwszego i drugiego stopnia), pozwalają tak jak dotychczas na określenie rodzaju strefy zagrożenia wybuchem.

Ustalenie natężenia przepływu powietrza oraz stopnia rozcieńczenia.

Dla przypadków dotyczących pomieszczeń zamkniętych natężenie przepływu powietrza u_w (m/s) będzie wypadkową wydajności wentylacji (m^3/s) i wielkości pomieszczenia (m^2) w położeniu prostopadłym do przepływu powietrza. W takiej kalkulacji należy dodatkowo uwzględnić współczynnik korekcyjny (jakości) "f" wynikający z występowania naturalnych przeszkód w pomieszczeniu, utrudniających wentylację. Dla potrzeb ustalenia rzeczywistego natężenia przepływu powietrza, tam gdzie wymagana jest duża dokładność otrzymanych wyników rekomendowane są programy obliczeniowej mechaniki płynów (CFD - Computational fluid dynamics).

W przypadku otwartych przestrzeni oraz obiektów wentylowanych w sposób naturalny uznaje się, że ruch powietrza jest wystarczającym czynnikiem gwarantującym odpowiednią dyspersję atmosfery wybuchowej, który wpływa i ogranicza zasięg strefy. Zaleca się, aby dla tego typu przestrzeni każdorazowo oszacować skuteczność wymiany powietrza na podstawie średnich wartości prędkości powietrza (wiatrów) uznając, że będą one występować 95% czasu. W przypadku braku danych norma w tabeli C.1 podaje przybliżone prędkości przepływu powietrza na otwartej przestrzeni. Na podstawie wykresu nr 1 można odczytać jaki stopień rozcieńczenia osiągamy w zależności od różnorodnego ukształtowania terenu. Podobne założenia jak dla otwartych przestrzeni przyjmuje się dla obiektów uznanych za *wentylowane w sposób naturalny*. Struktura takiego obiektu posiadająca ażurowe ściany i podniesiony dach umożliwia swobodny przepływ powietrza.



Wykres nr 1.

Klasyfikacja i zasięg stref zagrożenia wybuchem.

Standardowa klasyfikacja stref zgodnie z PN-EN 60079-10-1, dobywa się tak jak do tej pory na podstawie ustalenia:

- identyfikacji źródeł emisji
- określenia stopnia emisji w oparciu o częstotliwość oraz czas trwania emisji
- określenia rodzaju wentylacji oraz warunków rozcieńczenia i efektywności
- określenia rodzaju strefy
- określenie zasięgu strefy.

Norma dopuszcza zastosowanie metod modelowania komputerowego (CFD) w celu ustalenia stopnia rozcieńczenia czy też wytycznych branżowych oraz wiedzy inżynierskiej w odniesieniu do konkretnych rozwiązań dla instalacji technologicznych. Zgodnie z postanowieniami załącznika K niniejszej normy, w klasyfikacji stref pierwszeństwo znajdują wytyczne i standardy opracowane dla konkretnych instalacji i procesów technologicznych. Wymienione w załączniku K.1 przykłady niektórych opracowań wskazują na źródła odnoszące się do zdobytych wcześniej doświadczeń krajów takich jak Niemcy, Wielka Brytania, USA. Do tej pory brakowało jednoznacznego stwierdzenia na ile miarodajne są wzorce zawarte w wytycznych czy standardach bezpieczeństwa innych państw. Teraz już wiadomo, że w przypadku bliźniaczych rozwiązań, dla których opracowano w przeszłości klasyfikacje stref zagrożenia wybuchem, można je przenieść (zachowując wymagane w opisie warunki) także na polski grunt, mając tym samy pewność, że stosujemy najlepsze możliwe rozwiązania projektowe. Należy jednak zawsze uwzględnić specyfikę i kulturę bezpieczeństwa w odniesieniu do kraju, w którym owe wzorce postępowania powstały.

Zasięg strefy

Ustalenie zasięgu strefy wymaga znajomości wielu czynników fizycznych i chemicznych samej substancji a także uwzględnienie specyficznej sytuacji geometrycznej danego miejsca. W największym stopniu zależy jednak od intensywności wypływu, który dla gazów może przybrać postać wypływu z prędkością dźwięku (sonic release) lub poddźwiękową (subsonic release). Dla każdego z przypadków norma przewiduje inny wzór do obliczenia objętości uwolnionego gazu w czasie.

WZÓR - B.3 wypływ gazu z prędkością poddźwiękową (subsonic releases)¹

$$W_g = C_d \cdot S \cdot p \sqrt{\frac{M}{Z \cdot R \cdot T} \cdot \frac{2\gamma}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{p_a}{p} \right)^{(\gamma-1)/\lambda} \right]} \cdot \left(\frac{p_a}{p} \right)^{1/\gamma} \quad (\text{kg/s})$$

WZÓR - B.4 wypływ gazu z prędkością dźwięku (sonic releases)

$$W_g = C_d \cdot S \cdot p \sqrt{\gamma \frac{M}{Z \cdot R \cdot T} \cdot \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{(\gamma+1)/(\gamma-1)}} \quad (\text{kg/s})$$

W przypadku cieczy wzór na obliczenie intensywności wypływu przybiera postać:

$$W_g = C_d \cdot S \cdot \sqrt{2\rho\Delta p} \quad (\text{kg/s})$$

Legenda:

W_g - intensywności wypływu (kg/s)

C_d – współczynnik charakterystyczny dla otworów z których następuje emisja (typowe wartości 0,50 – 0,75 dla ostrych krawędzi oraz od 0,95 do 0,99 dla zaokrąglonych krawędzi) (wartość bezwymiarowa)

S – średnica otworu, z którego następuje emisja (m²)

p – ciśnienie panujące wewnątrz zbiornika (Pa)

p_a – ciśnienie atmosferyczne (101 325 Pa)

M – masa molowa gazu lub par (kg/kmol)

Z - współczynnik ściśliwości gazu (wartość bezwymiarowa)²

R – uniwersalna stała gazowa (8314 J/kmol K)

T – temperatura otoczenia (K)

γ – współczynnik adiabaty np. 1,32 dla metanu, 1,41 dla wodoru³

Niezmiernie ważne z punktu widzenia autora jest podanie w formie zestawienia tabelarycznego, sugerowanych powierzchni rozszczelenia jakie należy przyjmować do obliczeń intensywności wypływu W_g (kg/s). W zależności od rodzaju

¹ W powietrzu, w temperaturze 15 °C, prędkość rozchodzenia się dźwięku jest równa 340,3 m/s \approx 1225 km/h.

² źródło: wikipedia

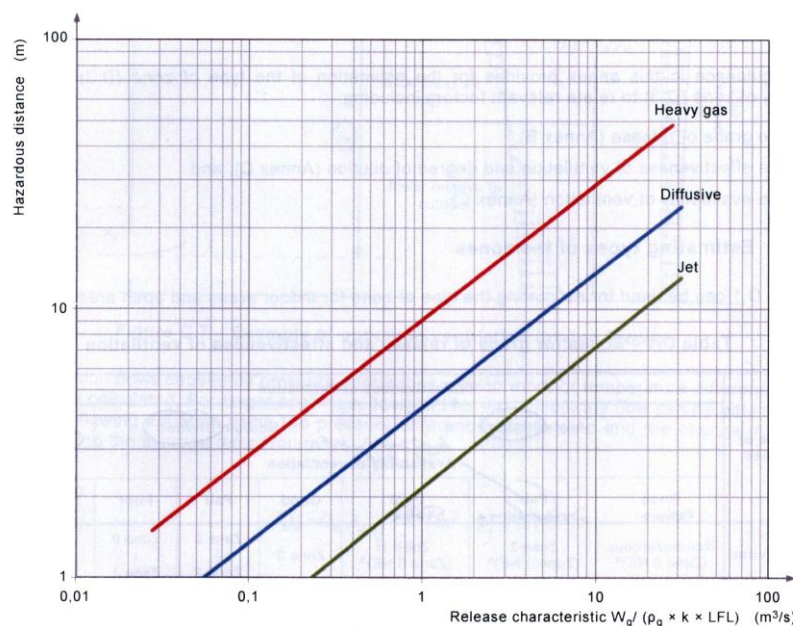
³ źródło: wikipedia

uszczelnienia/połączenia zastosowanego na instalacji, ciśnienia oraz spodziewanego scenariusza rozszczelenia (mało prawdopodobne, możliwe (np. z uwagi na występującą korozję, czy poważna usterkę), przyjmowaną powierzchnię podaje się w mm^2 . Podstawienie konkretnej wartości do wzoru, może znacznie wpłynąć na ilość emitowanej substancji a co za tym idzie na zasięg strefy zagrożenia wybuchem.

Zasięg strefy ustalany za pomocą wykresu nr 2 jest jedynie rekomendacją prezentowaną przez autorów normy. Wykres uwzględnia trzy przypadki, z którymi najczęściej można się spotkać, analizując scenariusz emisji:

- wypływ strumieniowy z dużą prędkością, nieograniczony, nie napotykaający na przeszkody naturalne,
- wypływ dyfuzyjny przy małych prędkościach/z małą intensywnością lub wypływ który traci swoją moc z powodu geometrii źródła emisji lub w związku z tym że natrafia na naturalne przeszkody,
- gazy cięższe od powietrza lub pary cieczy, które rozprzestrzeniają się horyzontalnie w stosunku do powierzchni (np. grunt).

Wykres nr 2.



"Nowa" norma odnosi się szerzej do problemu zasięgu stref uważanych za pomijalnie mały (NE - negligible extent). W rozumieniu normy, przestrzeń w której znajduje się obłok gazu palnego w stężeniu 50 % DGW oraz gdy jego objętość jest mniejsza niż $0,1 \text{ m}^3$ lub zajmuje przestrzeń mniejszą niż 1 % objętości budowli, uznaje się jako pomijalnie małą. Ewentualny wybuch w takich okolicznościach będzie miał znikome konsekwencje. Niezależnie jednak od ustalenia pomijalnie małego zasięgu strefy należy przeprowadzić analizę ryzyka w celu określenia (EPL - equipment protection level) dla urządzeń elektrycznych pracujących w strefie. Poświęcony temu rozdział 4.6. wskazuje, że równoznacznie do prowadzonej klasyfikacji stref zagrożenia wybuchem, można prowadzić analizę ryzyka (risk assessment) w celu oszacowania czy konsekwencje zapłonu atmosfery wybuchowej wymagają urządzeń o wyższym standardzie zabezpieczeń (urządzenia Ex) , czy

też można uzasadnić zastosowanie urządzeń o niższym standardzie ochrony niż pierwotnie wymagany.

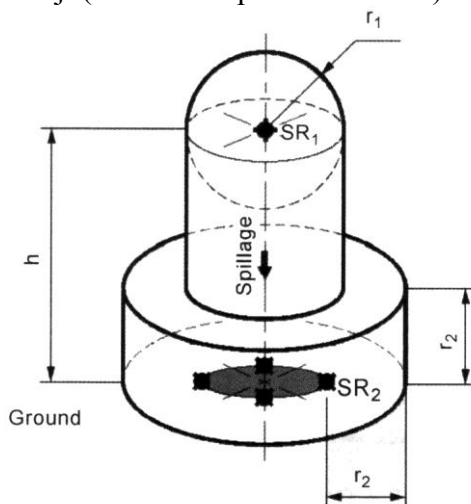
Kształt strefy zagrożenia wybuchem.

W nowym wydaniu normy, znaczną część poświęcono także kształtom jakie przybierają strefy w zależności od ciężaru gazu względem powietrza. W załączniku A.2 przedstawiono różne scenariusze emisji jakie mogą mieć miejsce w rzeczywistych warunkach tj:

- gaz/pary wydostające się pod niskim ciśnieniem ze źródła emisji,
- gaz/pary wydostającej się pod wysokim ciśnieniem we wskazanym kierunku,
- gaz w fazie skroplonej/ ciecź palna wydostająca się w wyniku przesiąkania,
- rozlewisko tworzące się w wyniku wycieku (rys. 1),
- parowanie z ograniczonej przestrzeni.

Każdy z tych przypadków pociąga za sobą odmienną charakterystykę rozprzestrzeniania się substancji. Nowością jest także przedstawienie kształtu strefy w postaci trójwymiarowej, na co należy zwrócić uwagę przy tworzeniu dokumentacji graficznej.

Rys.1 Gaz lub pary cieczy palnej (faza ciekła pod ciśnieniem). Wypływ w wyniku wycieku.



Wnioski.

To jak ważne jest prawidłowe zaklasyfikowanie stref zagrożenia wybuchem oraz ustalenie zasięgu nie trzeba nikogo przekonywać, a zwłaszcza osób odpowiedzialnych za dobór urządzeń elektrycznych w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Od ostatniej publikacji normy w 2009 roku upłynęło sporo czasu. W przeciągu kilku lat dokonano znacznej ilości zmian w klasyfikacji stref zagrożenia wybuchem. Dotychczas funkcjonująca literatura źródłowa nie wyczerpywała tematu, a w niektórych przypadkach wręcz podawała rozbieżne informacje wynikające z różnej metodologii szacowania dyspersji substancji niebezpiecznych, uwzględniania wentylacji, otaczających warunków itp. W aktualnej edycji normy daje się zauważyć, iż autorzy czerpiąc wiedzę z wielu źródeł (wymienionych w załączniku K1), wykorzystując dobre wzorce, próbują ujednoczyć zasady klasyfikacji i wprowadzić jasne i czytelne kierunki na przyszłość. Ponadto w związku z postępem techniki jaki dokonuje się na naszych oczach, sugeruje się wykorzystanie symulacji komputerowych, które pozwalają na konfrontowanie prowadzonych badań naukowych z obliczeniami matematycznymi.

Uzyskiwane dzięki temu bardziej szczegółowe wyniki, pozwalają przewidywać zachowanie się substancji w trakcie wycieku (emisji).