

CZĘŚĆ I

kpt. mgr inż. Robert Żuczek

Centralna Szkoła Państwowej Straży Pożarnej w Częstochowie

Ocena minimalnych wymagań, jakie powinny spełniać stanowiska pracy, na których może wystąpić atmosfera wybuchowa

1. Wstęp

Corocznie w Unii Europejskiej 10 milionów pracowników ulega wypadkom, a 8 tys. traci życie w związku z wykonywaną działalnością. Od 30 lat w Unii Europejskiej podejmowane są działania zmierzające do poprawy warunków pracy w miejscach szczególnie niebezpiecznych (również zagrożonych wybuchem). Unormowania prawne w zakresie ochrony życia i zdrowia pracowników zatrudnionych w miejscach zagrożonych wybuchem określa dyrektywa 99/92/EC (dyrektywa Atex 137) z 16 grudnia 1999 roku w sprawie minimalnych wymagań mających na celu poprawę stanu bezpieczeństwa i ochrony zdrowia pracowników potencjalnie narażonych na ryzyko spowodowane atmosferami wybuchowymi.

Zgodnie z jej postanowieniami od właściciela zakładu wymaga się, aby:

- zagwarantował bezpieczeństwo podczas normalnej pracy w zakładzie;
- zapobiegał tworzeniu się stężeń wybuchowych w zakładzie;
- zapobiegał powstawaniu efektywnych źródeł zapłonu zdolnych zainicjować wybuch;
- w najgorszym wypadku zredukował szkodliwe efekty wybuchu do poziomu, w którym gwarantowane jest zachowanie zdrowia i bezpieczeństwa pracowników.

Wdrażanie w Polsce postanowień dyrektywy odbywa się w myśl harmonizacji przepisów krajów stowarzyszonych w Unii Europejskiej. Na polskim gruncie wymagania dotyczące stanu bezpieczeństwa i higieny pracy w zakładzie reguluje Kodeks pracy. Obarcza on

odpowiedzialnością pracodawcę, który powinien chronić zdrowie i życie pracowników przez zapewnienie bezpieczeństwa i higienicznych warunków pracy. Miejsca, gdzie występują mieszaniny wybuchowe, są szczególnie groźne z punktu widzenia potencjalnych skutków dla pracownika. Dlatego rozporządzenie ministra gospodarki, pracy i polityki społecznej z 29 maja 2003 r. w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy pracowników zatrudnionych na stanowiskach pracy, na których może wystąpić atmosfera wybuchowa (Dz. U. nr 107, poz. 1004), jest odpowiedzią na zagrożenia powodowane przez stężenia wybuchowe i jednocześnie implementacją dyrektywy Atex 137.

Wiele aspektów bezpieczeństwa wybuchowego wymaga spojrzenia z innej perspektywy, niż miało to miejsce do tej pory. Artykuły mają przybliżyć problematykę stawianych przez dyrektywę [1] i rozporządzenie [2] wymagań. W opracowaniu podane zostaną pewne aspekty wynikające z postanowień prawa, niezbędne do:

- identyfikacji i oceny zagrożeń wybuchem stwarzanych przez urządzenia techniczne, procesy technologiczne, surowce;
- identyfikacji wystąpienia atmosfer wybuchowych;
- prawdopodobieństwa i częstotliwości występowania atmosfer wybuchowych;
- prawdopodobieństwa występowania oraz uaktywniania się efektywnych źródeł zapłonu;
- oceny skali przewidzianych niepożądanych skutków;
- określenia, jakie środki zapobiegawcze należy zastosować, aby zapobiec wystąpieniu atmosfery wybuchowej lub w przypadku wybuchu zminimalizować skutki.

Informacje te pozwolą na dokonanie oceny ryzyka i stworzenie dokumentu zabezpieczenia przed wybuchem, wymaganego przez rozporządzenie [2]. Wszystkie działania mają na celu zarówno zapobieganie tworzeniu się atmosfer wybuchowych, eliminowanie źródeł zapłonu, jak i zmniejszanie skutków ewentualnego wybuchu.

Artykuł 11 dyrektywy 1999/92/EC wymaga od Komisji Europejskiej określenia praktycznych metod w postaci przewodnika dobrej praktyki o niewiążącej strukturze. Opracowany w UE przewodnik kierowany jest do wszystkich zakładów i działań, w których praca z materiałami łatwo palnymi może spowodować pojawienie się niebezpiecznej atmosfery wybuchowej i wywołać wybuch. Pełna nazwa przewodnika: „Minimum requirements for improving the safety and health protection of workers potentially at risk from explosive atmospheres” przetłumaczona na język polski oznacza „Minimalne wymagania dla poprawy ochrony bezpieczeństwa, zdrowia pracowników potencjalnie narażonych na ryzyko ze strony atmosfer wybuchowych”. W Polsce niestety nie doczekaliśmy się oficjalnego tłumaczenia wytycznych (przewodnika) do wdrożenia

dyrektywy 1999/92/EC, co do tej pory skutkuje nieporozumieniami w interpretacji niektórych jej zapisów.

2. Podstawowe pojęcia [3]

Ryzyko – kombinacja częstości lub prawdopodobieństwa wystąpienia określonego zdarzenia niebezpiecznego i konsekwencji związanych z tym zdarzeniem.

Analiza ryzyka – systematyczne stosowanie dostępnych informacji do zidentyfikowania zagrożenia i do oszacowania ryzyka dotyczącego osób, populacji, mienia lub środowiska.

Ocena ryzyka – pełny proces analizowania ryzyka i wyznaczania dopuszczalności ryzyka.

Oszacowanie ryzyka – proces stosowany do stworzenia miary poziomu analizowanego ryzyka, który składa się z następujących kroków: analizy częstości, analizy konsekwencji i ich połączenia.

Wyznaczanie ryzyka – proces, w którym na podstawie analizy ryzyka przeprowadza się oceny dopuszczalności ryzyka i rozpatruje się takie czynniki, jak aspekty socjoekonomiczne i środowiskowe.

Zarządzanie ryzykiem – systematyczne wprowadzanie polityki zarządzania, procedur, praktyk do zadań analizowania, wyznaczania i sterowania ryzykiem.

3. Zastosowane rozwiązania

Należy zwrócić uwagę, że dyrektywa narzuca państwom członkowskim minimalne wymagania w stosunku do stanowisk pracy zagrożonych wybuchem. Jednakże każde z państw członkowskich ma prawo wprowadzić ostrzejsze regulacje, które powinny zwiększyć bezpieczeństwo. Problem w tym, że nie zawsze idzie to w parze z minimalizacją kosztów.

Przeprowadzenie poszczególnych etapów oceny ryzyka wymaga usystematyzowania procedur postępowania po to, aby wykonujący je specjaliści nie byli rozbieżni w swoich decyzjach. W większości przypadków można posłużyć się wiedzą ekspercką z poszczególnych dziedzin (np. analiza ryzyka, charakterystyka występowania atmosfer wybuchowych). Różnorodność i złożoność problematyki sprawia, że trudno zastosować jednolite kryteria oceny ryzyka do wszystkich miejsc potencjalnie zagrożonych wybuchem. Pomimo tego są pewne elementy, które mogą być ujęte uniwersalnymi kryteriami i prawidłowo scharakteryzowane powinny służyć jako kompendium wiedzy nie tylko dla osób, które będą kontrolować prawidłowość wykonania dokumentacji, ale przede wszystkim dla osób, które będą je tworzyć. Wytyczne do dokonania procesu oceny ryzyka dla atmosfer

wybuchowych podane są w normie PN-EN 1127-1 [4] – na nią powołuje się rozporządzenie przy klasyfikacji miejsc pracy, na których mogą wystąpić atmosfery wybuchowe.

Zgodnie z postanowieniami tej normy ocena ryzyka powinna zawierać następujące elementy składowe:

- √ identyfikacja zagrożenia,
- √ określenie prawdopodobieństwa wystąpienia atmosfery wybuchowej i jej objętości,
- √ określenie obecności źródeł zapłonu i prawdopodobieństwa wystąpienia efektywnych źródeł zapłonu (zdolnych do zapalania mieszaniny wybuchowej),
- √ określenie możliwych skutków wybuchu,
- √ oszacowanie ryzyka,
- √ rozważenie środków minimalizacji ryzyka.

3.1. Identyfikacja zagrożenia

Zagrożenie wybuchem jest związane z możliwością wystąpienia w mieszaninie z powietrzem palnych par cieczy, gazów, mgieł, pyłów itp. Identyfikacja zagrożenia polega na określeniu charakterystyki występujących materiałów wybuchowych i źródeł emisji.

Niezbędne w tym przypadku będzie określenie:

1) Własności substancji palnych:

- skłonność do tworzenia atmosfer wybuchowych,
- skłonność do samozapalenia,
- wpływ na siłę wybuchu.

2) Charakterystyki substancji palnych:

- wartość dolnej granicy wybuchowości (gazy, pary, pyły),
- gęstość względem powietrza (gazy, pary),
- temperatura zapłonu (ciecze),
- temperatura wrzenia (ciecze),
- lotność (ciecze),
- rozdrobnienie (pyły),
- temperatura samozapalenia (gazy, pary, pyły),
- minimalna energia zapłonu iskrowego (gazy, pary, pyły),
- rozdrobnienie, czyli dyspersja (pyły),
- zawartości popiołu (pyły),
- zawartości wilgoci (pyły),
- maksymalny przyrost ciśnienia przy wybuchu w mieszaninie z powietrzem (gazy, pary),

- wartość ciepła spalania (pary, pyły),
- klasa wybuchowości (pyły),
- skłonność do detonacji (aerozole).

3) Klasyfikacji atmosfer wybuchowych

4) Własności toksycznych atmosfer wybuchowych.

Uzyskane w ten sposób informacje należy usystematyzować, umieszczając je w tabelach zawartych w normie PN-EN 1127-1

3.2. Określenie prawdopodobieństwa wystąpienia atmosfery wybuchowej i jej objętości

Występowanie niebezpiecznej atmosfery wybuchowej zależy od:

- obecności substancji palnej,
- stopnia rozpraszania substancji palnej,
- stężenia substancji palnej w powietrzu w granicach wybuchowości,
- objętości atmosfery wybuchowej wystarczającej do spowodowania obrażeń lub zniszczeń w wyniku zapłonu.

Przy ocenie prawdopodobieństwa występowania niebezpiecznej atmosfery wybuchowej należy odnieść się do definicji stref zagrożenia wybuchem, które podają ogólnie, jak często i w jakich sytuacjach dana strefa się tworzy [4]:

√ **strefa 0** – obszar, w którym atmosfera wybuchowa zawierająca mieszaninę substancji palnych w postaci gazu, pary lub mgły z powietrzem występuje stale w długim czasie lub często;

√ **strefa 1** – obszar, w którym atmosfera wybuchowa zawierająca mieszaninę substancji palnych w postaci gazu, pary lub mgły z powietrzem może czasami wystąpić w trakcie normalnego działania;

√ **strefa 2** – obszar, w którym atmosfera wybuchowa zawierająca mieszaninę substancji palnych w postaci gazu, pary lub mgły z powietrzem nie występuje w trakcie normalnego działania, a w przypadku wystąpienia trwa tylko przez krótki okres;

√ **strefa 20** – obszar, w którym atmosfera wybuchowa w postaci obłoku palnego pyłu w powietrzu występuje stale, w długim czasie lub często;

√ **strefa 21** – obszar, w którym atmosfera wybuchowa w postaci obłoku palnego pyłu w powietrzu może czasami wystąpić w trakcie normalnego działania;

√ **strefa 22** – obszar, w którym atmosfera wybuchowa w postaci chmury palnego pyłu w powietrzu nie występuje w trakcie normalnego działania, a w przypadku wystąpienia trwa przez krótki okres.

Znacznie trudniej jest określić ilościowo prawdopodobieństwo wystąpienia atmosfery wybuchowej. Wynika to ze zmiennych warunków środowiskowych i braku możliwości przewidzenia, kiedy dokładnie taka atmosfera powstanie. Równie trudno określa się zasięg stref zagrożonych wybuchem, czyli miejsc, do których sięga zagrożenie. Jeżeli już się tego podjęliśmy, należy pracę wykonać jak najdokładniej, będzie to bowiem warunkiem zastosowania odpowiednich kategorii urządzeń. Wytyczne do wyznaczania stref określa m.in. Polska Norma [4]. Ogólne rozwiązania dla urządzeń technologicznych dla baz paliw, stacji paliw i gazu płynnego oraz rurociągów dalekosiężnych do transportu ropy naftowej i produktów naftowych dotyczące zasięgu stref zagrożenia wybuchem można znaleźć także w rozporządzeniu ministra gospodarki z 20 września 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać bazy i stacje paliw płynnych, rurociągi dalekosiężne do transportu ropy naftowej i produktów naftowych i ich usytuowanie (Dz. U. nr 98, poz. 1067).

3.3. Określenie prawdopodobieństwa wystąpienia efektywnych źródeł zapłonu

Zdolność zapalająca źródła zapłonu powinna być rozpatrywana łącznie z właściwościami zapłonu substancji palnej. Prawdopodobieństwo występowania efektywnych źródeł zapłonu należy oszacować, uwzględniając wiedzę literaturową, która podaje zakresy prawdopodobieństwa ich wystąpienia i uwzględnić warunki panujące na stanowisku pracy (niezbędne w tym przypadku będzie wykorzystanie list kontrolnych). Norma PN-EN 1127-1 wymienia rodzaje źródeł zapłonu, które należy wziąć pod uwagę przy analizie. Są to:

- 1) Gorące powierzchnie.
- 2) Płomienie i gorące gazy.
- 3) Iskry generowane mechanicznie.
- 4) Urządzenia elektryczne.
- 5) Prądy błędzące, katodowa ochrona przed korozją.
- 6) Elektryczność statyczna.
- 7) Uderzenie pioruna.
- 8) Fale elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej od 10^4 Hz do 3×10^{12} Hz.
- 9) Fale elektromagnetyczne od 3×10^{11} Hz do 3×10^{15} Hz.
- 10) Promieniowanie jonizujące.

- 11) Ultradźwięki.
- 12) Adiabatyczne sprężenie i fale uderzeniowe.
- 13) Reakcje egzotermiczne z włączeniem samozapalenia pyłów.

W celu usystematyzowania proponuje się umieszczenie wszystkich możliwych źródeł zapłonu w tabeli. Bardziej szczegółowo źródła zapłonu opisano w części artykułu opracowanej przez Adama Rydzyńskiego.

3.4. Określenie możliwych skutków wybuchu

Przy ocenie skutków wybuchu należy liczyć się z tym, że każde stanowisko pracy trzeba rozpatrywać indywidualnie. W każdym przypadku należy wziąć pod uwagę następujące elementy:

- liczba osób narażonych (należy uwzględnić zmianę dzienną – najliczniejsza grupa pracowników),
- ocena oddziaływania ognia i nadciśnienia w zależności od rodzaju i wielkości tworzących się atmosfer wybuchowych na ludzi i otoczenie,
- szacunkowe określenie wartości materialnej przedmiotów w otoczeniu.

Dla ilościowej oceny skutków wybuchu można posłużyć się przelicznikiem TNT lub wykorzystać programy szacujące zasięg zniszczeń przy odpowiednich nadciśnieniach. W praktyce sprawdzają się jednak metody półilościowe opisane szerzej w II części artykułu.

3.5. Oszacowanie ryzyka

Oszacowanie ryzyka jest dalszym etapem procesu jego oceny. Polega na odniesieniu uzyskanych wartości ryzyka do matrycy ryzyka.

Tabela 1. Przykładowa matryca ryzyka

	IV	III	II	I
A	TNA	NA	NA	NA
B	TNA	TNA	NA	NA
C	TA	TNA	TNA	NA
D	A	TA	TNA	TNA
E	A	A	TA	TNA
F	A	A	A	TA

Kategoria częstości występowania wybuchu: A – więcej niż 1 na rok, B – 1 na rok, C – 1 na 5 lat, D – 1 na 30 lat, E – 1 na 100 lat, F – 1 na 1000 lat.

Kategoria skutków wybuchu: I – katastrofalne, II – duże, III – średnie, IV – małe.

Odnosząc wyznaczony poziom ryzyka na stanowisku pracy do założonego (dopuszczalnego) według matrycy, otrzymujemy wartość ryzyka.

Poziom ryzyka:

A – akceptowalny, nie wymaga się wprowadzania żadnych dodatkowych środków bezpieczeństwa i ochrony;

TA – dopuszczalny, należy rozważyć wprowadzenie dodatkowych środków bezpieczeństwa i ochrony, jeśli są one praktycznie uzasadnione;

TNA – tolerowany, należy wprowadzić dodatkowe środki bezpieczeństwa i ochrony;

N – nieakceptowany, należy zatrzymać instalację i natychmiast wprowadzić dodatkowe środki bezpieczeństwa i ochrony.

3.6. Minimalizacja ryzyka

Gdy z matrycy ryzyka wynika, że występujące zagrożenie stwarza zbyt duże niebezpieczeństwo, należy przedsięwziąć środki zapobiegawcze minimalizujące ryzyko. Sprowadzają się one do trzech podstawowych zasad:

- 1) unikać atmosfer wybuchowych poprzez zmianę stężenia substancji palnej do wartości poza zakresem wybuchowości lub zmianę stężenia tlenu do wartości poniżej granicznego stężenia tlenu;
- 2) wyeliminować wszystkie możliwe efektywne źródła zapłonu;
- 3) gdy dojdzie do wybuchu, ograniczać skutki do rozmiarów dopuszczalnych; do tego celu wykorzystuje się np. ochronne środki konstrukcyjne i techniczne systemy zabezpieczeń.

Oznakowanie zgodnie z rozporządzeniem [2], par. 12.2, powinno być umieszczone przy wejściach do pomieszczeń, gdzie znajdują się miejsca, w których występują atmosfery wybuchowe. Oznakowanie przestrzeni zagrożonych wybuchem zgodnie z wytycznymi UE przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Oznakowanie przestrzeni zagrożonych wybuchem zgodnie z wytycznymi UE

W końcowym etapie oceny ryzyka należy sporządzić, w formie dokumentu, listę zadań i osób odpowiedzialnych za realizację założeń wynikłych po ocenie ryzyka (tabela 2).

Tabela 2. Lista osób i ich zakres odpowiedzialności za zabezpieczenie stanowisk pracy

Lp.	Zastosowane środki zapobiegawcze	Osoba odpowiedzialna	Czas realizacji	Stan kontroli
1.				
2.				
3.				
4.				

4. Wnioski

Ocena ryzyka jest elementem dokumentu zabezpieczenia przed wybuchem, który wykonywany jest dla stanowisk pracy zagrożonych wybuchem w myśl postanowień rozporządzenia ministra gospodarki i polityki społecznej z 29 maja 2003 r. w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy pracowników zatrudnionych na stanowiskach pracy, na których może wystąpić atmosfera wybuchowa (Dz. U. nr 107 poz. 1004). Dokument zabezpieczenia przed wybuchem z wykonaną oceną ryzyka, zgodnie z postanowieniami rozporządzenia powinien być sporządzony w zakładach pracy przed dopuszczeniem stanowiska pracy do eksploatacji. W przypadku stanowisk istniejących termin opracowania i wdrożenia postanowień rozporządzenia upłynął 24 lipca 2005 r. Ponadto dokument powinien być weryfikowany, jeżeli na stanowisku pracy zostały wprowadzone istotne zmiany w wyposażeniu w niezbędny sprzęt lub narzędzia albo w organizacji pracy.

Podsumowując, można stwierdzić, że wiele przedstawionych zagadnień jest zupełnie nowych, a niektóre z nich wymagają gruntownej wiedzy specjalistycznej. Mam nadzieję, że artykuł przybliżył nieco nową tematykę i pozwoli na zastosowanie takich rozwiązań, które redukują możliwość wystąpienia atmosfery wybuchowej, ograniczają możliwość wystąpienia efektywnych źródeł zapłonu, złagodzą szkodliwe skutki wybuchu i w ten sposób zapewnią większe bezpieczeństwo dla zdrowia i życia ludzi.

Kontakt: zukov@wp.pl

Literatura

[1.] Dyrektywa 1999/92/EC Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 grudnia 1999 roku w sprawie minimalnych wymagań mających na celu poprawę stanu bezpieczeństwa i ochrony zdrowia pracowników potencjalnie narażonych na ryzyko spowodowane atmosferami wybuchowymi.

[2.] Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 maja 2003 r. w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy pracowników zatrudnionych na stanowiskach pracy, na których może wystąpić atmosfera wybuchowa (Dz. U. Nr 107, poz. 1004).

[3.] PN-IEC 60300-3-9:1999 Analiza ryzyka w systemach technicznych. Zarządzanie niezawodnością. Przewodnik zastosowań.

[4.] PN-EN 1127-1:2001 Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem.

[5.] PN-EN 60079-10 Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem Część 10: Klasyfikacja przestrzeni zagrożonych wybuchem.

[6.] ATEX 137 – The use Directive. Sira Certification Service 2003. ■

CZĘŚĆ II

mgr inż. Adam Rydzyński

Zakłady Chemiczne Zachem SA w Bydgoszczy

Praktyczne aspekty tworzenia dokumentu zabezpieczenia przed wybuchem

Robert Żuczek, pracujący w Państwowej Straży Pożarnej, w pierwszej części artykułu przedstawił podstawowe pojęcia dotyczące przeciwwybuchowości, teorię tworzenia oceny ryzyka wystąpienia wybuchu oraz polskie i unijne przepisy prawne i normy, wymagające stosowania odpowiedniej ochrony miejsc pracy, na których może wystąpić wybuch, oraz przewidujące wykonanie niezbędnej dokumentacji w tym zakresie.

Moim zadaniem będzie przedstawienie praktycznej strony wdrażania dyrektywy Atex 137 w dużym przedsiębiorstwie branży chemicznej oraz sposób opracowania „Dokumentu zabezpieczenia przed wybuchem”, nazwanego dalej w uproszczeniu „dokumentem”.

Tematyką przeciwwybuchowości zainteresował mnie dr Adam Markowski podczas studium podyplomowego w Politechnice Łódzkiej w 2003 r. Zauważyłem tym samym pilną potrzebę wdrożenia dyrektyw Atex w mojej firmie, ponieważ zbiegło się to z ukazaniem się nowego rozporządzenia ministra gospodarki, pracy i polityki społecznej z 29 maja 2003 r. w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy pracowników zatrudnionych na stanowiskach pracy, na których może wystąpić atmosfera wybuchowa (Dz. U. nr 107, poz. 1004). Po przeszkoleniu kadry technologicznej i udostępnieniu materiałów, które opracowałem w trakcie studium w PŁ, utworzono na wydziałach produkcyjnych zespoły, które zajęły się opracowaniem dokumentów na potrzeby swoich obiektów. Tym samym udało mi się z powodzeniem wdrożyć dyrektywę Atex w moim zakładzie.

W ramach pracy dyplomowej wykonałem pilotażowy dokument dla jednego z wydziałów produkcyjno-magazynowych, gdzie na przemysłową skalę wytwarzany jest wybuchowy tlenek węgla, następnie magazynowany i stosowany do dalszej syntezy. Poza tym w zbiornikach magazynowane są ciecze palne, których pary tworzą mieszaniny wybuchowe. Ciecze te ładuje się do cystern kolejowych, autocystern oraz beczek o pojemności 250 litrów. Miałem więc do czynienia z różnorodnymi wariantami zagrożeń:

- zagrożenie pochodzące zarówno od gazu wybuchowego, jak i od par cieczy palnych;
- instalacja produkcyjna ciśnieniowa i beciśnieniowa;

- umiejscowienie instalacji i stref zagrożonych wybuchem zarówno w pomieszczeniach zamkniętych, jak i na etażerkach oraz dachach budynków;
- różnorodne źródła zapłonu, które mogą spowodować wybuch;
- zbiorniki magazynowe gazu (tlenku węgla), a także cieczy palnych oraz opakowania jednostkowe (beczki).

Jak pisał Rober Żuczek, rozporządzenie ministra gospodarki, pracy i polityki społecznej z 29 maja 2003 r. nie mówi nic o szczegółowej formie, jaką należy zachować przy tworzeniu dokumentu, a między innymi – ocenianiu ryzyka wystąpienia wybuchu na stanowisku pracy. Jest natomiast określone, co taki dokument powinien zawierać:

- informację o identyfikacji atmosfer wybuchowych oraz ocenę ryzyka wystąpienia wybuchu – zdecydowałem się zastosować ocenę ryzyka metodą półilościową z zastosowaniem list kontrolnych i matrycy ryzyka;
- informację o podjętych odpowiednich środkach zapobiegających wystąpieniu zagrożeń wybuchem – wyszczególniłem środki zarówno techniczne, jak i organizacyjne oraz elementy zarządzania bezpieczeństwem w przedsiębiorstwie w zakresie zapobiegania awariom chemicznym, pożarom i wybuchom oraz minimalizowania ich skutków; powyższe przedstawiłem jako wielowarstwowe systemy zabezpieczeń;
- deklaracje, że stanowiska pracy i narzędzia pracy, a także urządzenia zabezpieczające i alarmujące są zaprojektowane, używane i konserwowane z uwzględnieniem zasad bezpieczeństwa – deklaracje wypunktowałem, mając na uwadze zasadę dobrej praktyki inżynierskiej i najlepszych dostępnych rozwiązań stosowanych w przemyśle chemicznym, odniosłem się również do wymagań przepisów prawnych obowiązujących w kraju oraz do aktualnych Polskich Norm.

Dokument warto rozpocząć od skróconego opisu instalacji, zakresu działalności zakładu czy wydziału, którego on dotyczy. Nie powinien to być rozwinięty opis, niepotrzebnie powielany z innej dokumentacji, instrukcji itp., lecz minimum niezbędne do zorientowania się w profilu działalności obiektu ewentualnego kontrolera lub innej osoby, która nie zna dobrze zakładu i ma do dyspozycji jedynie dokument przedstawiony przez gospodarza obiektu.

Następnym, jednym z najważniejszych punktów dokumentu jest przedstawienie substancji, które są odpowiedzialne za zagrożenie wybuchem. Najprościej umieścić dane w dwóch tabelach, z których pierwsza pokazuje właściwości fizykochemiczne substancji, a druga – miejsca występowania i maksymalne ilości poszczególnych substancji.

Właściwości fizykochemiczne, jakie należy podać to: gęstość gazu lub par cieczy względem powietrza, temperatura zapłonu, temperatura samozapłonu, minimalna energia zapłonu, dolna i górna granica wybuchowości. Warto dla porządku przytoczyć również temperatury topnienia i wrzenia. Można się również odnieść do załączonych do dokumentu kart charakterystyki, jeśli autor uzna to za stosowne.

Ilości i miejsca występowania substancji należy rozpatrywać dwojako, w zależności od sytuacji:

- jako ilość (w kilogramach, tonach), która może jednocześnie znajdować się w danym zbiorniku, pomieszczeniu, reaktorze, itp.;
- jako maksymalny strumień przepływu – najczęściej dla gazów lub cieczy, które występują w instalacji podczas procesu technologicznego o charakterze ciągłym.

Kolejny punkt do wykonania to podział opisywanego w dokumencie zakładu, wydziału czy instalacji na odrębnie rozpatrywane w ocenie ryzyka sekcje. Podział ma na celu wydzielenie obszarów różniących się od siebie charakterem i miejscem występowania stref zagrożonych wybuchem. Sposób podziału zależy od autora dokumentu i ma ułatwić dalszą pracę podczas oceniania ryzyka. Trudno bowiem jednocześnie określać ryzyko, dajmy na to, w dwóch oddzielnych budynkach lub w dwóch miejscach, gdzie występują lub nie poszczególne potencjalne źródła zapłonu.

Podstawową zasadą podziału na sekcje są odrębne strefy zagrożenia wybuchem wyznaczone wcześniej przez projektanta lub właściciela obiektu. Muszę w tym miejscu nadmienić, że zanim zaczniemy opracowywanie dokumentu, a zwłaszcza oceny ryzyka, powinniśmy mieć rzetelnie opracowaną klasyfikację pożarowo-wybuchową, z wyznaczonymi strefami zagrożonymi wybuchem, ich zasięgiem, rodzajem itp. Dobrze wykonana klasyfikacja oszczędza nam wiele pracy związanej chociażby z identyfikacją substancji niebezpiecznych, ich właściwości, ilości.

Jeżeli strefa zagrożenia wybuchem występuje tylko w jednym miejscu, związana przykładowo z pojedynczym zbiornikiem, reaktorem czy stanowiskiem załadunku – oczywiście nie ma potrzeby dzielenia obiektu na sekcje.

Następnym rozdziałem niezbędnym do umieszczenia w naszym dokumencie jest informacja o identyfikacji atmosfer wybuchowych – tak mówi rozporządzenie. Jest to nic innego, jak wykaz stref zagrożonych wybuchem, który jak pisałem powyżej, powinniśmy mieć w postaci klasyfikacji pożarowo-wybuchowej lub innego dokumentu, np. instrukcji bezpieczeństwa

pożarowego dla danego obiektu. Najbardziej pożądana i czytelna forma to tabela, której podstawową kolumną jest podział na sekcje (patrz wyżej), przy których w kolejnych kolumnach wpisujemy rodzaj strefy (0, 1, 2, 20, 21 lub 22), źródła zagrożenia, zasięg strefy i kierunek rozchodzenia się od źródła zagrożenia oraz charakter zagrożenia (np. T2, IIB).

Po opracowaniu wymienionych powyżej rozdziałów można z powodzeniem przejść do najważniejszej części dokumentu – oceny ryzyka wystąpienia wybuchu.

Rozpoczynamy od identyfikacji poszczególnych źródeł zapłonu, jakie mogą wystąpić w każdej z wcześniej wyznaczonych sekcji. Tworzymy tak zwane listy kontrolne, w których określamy, czy dane źródło zapłonu może wystąpić oraz czy może być skuteczne. W skrócie postaram się opisać poszczególne źródła, które wymienił już w pierwszej części artykułu Robert Żuczek, przetoczę również przykłady poszczególnych źródeł.

1. Gorące powierzchnie

Źródłem zagrożenia może być w tym przypadku rozgrzana zewnętrzna powłoka reaktora lub zbiornika, w którym niekontrolowanie wzrosła temperatura, zacierające się uszczelnienie sznurowe pompy lub mieszadła, wysoka temperatura układu wydechowego samochodu lub lokomotywy spalinowej itp. Przyjmuje się zasadę, że za niebezpieczne źródło zapłonu pochodzące od gorących powierzchni uznaje się takie, którego temperatura przekracza $\frac{2}{3}$ wartości temperatury samozapłonu substancji, jaka może się w jego obecności pojawić (w st. C).

2. Otwarty płomień, gorący gaz lub cząstki

W praktyce najczęściej rozpatruje się w tym przypadku prace z użyciem ognia otwartego w strefach zagrożonych wybuchem – spawanie gazowe, jak i elektryczne, lutowanie palnikiem gazowym, zgrzewanie pokryć dachowych itp. Źródło zapłonu, jakim jest otwarty płomień, zawsze będzie skuteczne, ponieważ zainicjuje praktycznie każdą mieszaninę wybuchową gazu, par czy pyłów.

3. Iskry mechaniczne

Źródłem iskier mechanicznych może być szlifierka kątowa stosowana do prac ślusarskich, zatarte łożysko bądź inne metalowe elementy trące o siebie (przeważnie uszkodzone lub nadmiernie zużyte). Nie bez powodu stosuje się metale kolorowe do budowy pomp stosowanych do przetłaczania cieczy palnych. Zagrożenie może też pochodzić, przykładowo,

od nieodpowiednich narzędzi (kluczy) stosowanych do rozkręcania połączeń kołnierzowych na nierozbrojonej instalacji, a także od uderzeń młotkiem w elementy instalacji – niebezpieczne czynności często nieświadomie wykonywane przez pracowników. Ewidentnym przykładem, kiedy może zostać wywołany wybuch z powodu pojawienia się iskry mechanicznej, jest uderzający o kraty Vema klucz lub śruba, którą pracownik upuścił z dużej wysokości.

4. Urządzenia elektryczne

Rozpatruje się dwa podstawowe zagrożenia ze strony urządzeń elektrycznych. Pierwsze to stosowanie niecertyfikowanych urządzeń, takich jak: latarki, radiotelefony, telefony komórkowe, oświetlenie stałe, silniki w wykonaniu normalnym itp. Drugie to awarie certyfikowanych urządzeń lub przewodów elektrycznych, które mogą ulec uszkodzeniu mechanicznemu. Należy pamiętać, że żadne urządzenie elektryczne, nawet to najlepsze, z certyfikatem Ex, nie jest niezawodne. Źródło zapłonu pochodzące od urządzeń lub przewodów znajdujących się pod napięciem w zdecydowanej większości przypadków będzie wystarczająco silne, aby wywołać wybuch.

5. Prądy błądzące, ochrona katodowa

Jest to słabo poznane źródło zapłonu. Osobiście nie miałem z nim do czynienia w moim zakładzie. Niemniej istnieje pewne ryzyko wywołania wybuchu pochodzącego od ochrony katodowej rurociągów, zbiorników podziemnych itp.

6. Elektryczność statyczna

Jest to zjawisko często pomijane w analizach ryzyka, występujące właściwie na każdej instalacji czy stanowisku pracy. Przyczyny takiego stanu rzeczy są różne, lecz w większości przypadków wynikają z niewiedzy. Jednak, jak wykazują badania, wyładowanie elektrostatyczne potrafi z powodzeniem wywołać wybuch praktycznie każdej mieszaniny gazów, par czy pyłów z powietrzem. Źródłem zagrożenia mogą być nieodpowiednio zabezpieczone rurociągi przesyłowe, zwłaszcza transportujące zapyłone gazy, ciecze palne, nieodpowiednie uziemianie cystern podczas ich załadunku, ładunki gromadzące się podczas przelewania zawartości beczek i innych opakowań jednostkowych, a także stosowanie nieodpowiedniej odzieży i obuwia roboczego. Ewidentnym przykładem są pracownicy stacji tankowania LPG do samochodów osobowych.

7. Wyładowania atmosferyczne

Źródło zapłonu, które nie wymaga większego komentarza. Każde uderzenie pioruna spowoduje wybuch mieszaniny, która może się pojawić w obiekcie. Dlatego zabezpieczamy się w zakładach odpowiednimi środkami zarówno technicznymi (instalacja odgromowa), jak i organizacyjnymi – na przykład zakazem upuszczania gazu palnego do emitora podczas burzy. Wyładowania atmosferyczne jako potencjalne źródło zapłonu rozpatrujemy na otwartej instalacji, etażerkach, zbiornikach zewnętrznych, wiatkach kolejowych, dachach budynków, gdzie znajdują się wyloty kominków wentylacyjnych, itp.

8. Pole elektromagnetyczne o częstotliwości $10^4 - 3 \times 10^{12}$ Hz

Źródłem zagrożenia w tym wypadku może być radiotelefon, telefon komórkowy lub element automatyki sterowany drogą radiową. Jednak urządzenia te emitują wielokrotnie niższe energie niż minimalne energie zapłonu większości substancji wybuchowych. Opieram się na doświadczeniach z mojego zakładu i nie wykluczam sytuacji, gdy takie źródło może się stać wystarczająco efektywne, aby wywołać wybuch.

9. Pole elektromagnetyczne o częstotliwości $3 \times 10^{11} - 3 \times 10^{15}$ Hz

Nie znalazłem w mojej firmie takiego potencjalnego źródła zapłonu.

10. Promieniowanie jonizacyjne

Jedynym potencjalnym źródłem zapłonu związanym z promieniowaniem jonizacyjnym, jakie udało mi się zidentyfikować w moim zakładzie, jest promieniowanie pochodzące od aparatury do prześwietlania spawów rurociągów. Jednak jego energia jest wielokrotnie niższa niż minimalna energia zapłonu jakiejkolwiek mieszaniny wybuchowej.

11. Ultradźwięki

Źródło zagrożenia pochodzić może przykładowo od płuczek ultradźwiękowych stosowanych w laboratoriach lub od urządzeń służących do badania grubości rurociągów, zbiorników itp. Jednak, jak w punkcie powyżej, takie źródło ultradźwięków jest za słabe, aby wywołać wybuch mieszaniny, przynajmniej w przypadku substancji, z którymi mam do czynienia.

12. Adiabatyczne sprężanie i fala uderzeniowa

Nie znalazłem w moim zakładzie przykładu takiego źródła zapłonu, które byłoby efektywne.

13. Egzotermiczne reakcje i samozapłon

Źródłem zapłonu może być w tym wypadku na przykład niekontrolowana reakcja polimeryzacji, polikondensacji, w wyniku której wydziela się wystarczająco dużo energii cieplnej mogącej wywołać wybuch mieszaniny rozpuszczalnika odparowującego jednocześnie z reaktora. Innym przykładem jest zapłon pochodzącej z rozbrajania instalacji substancji, która po wysuszeniu zapala się samorzutnie w atmosferze powietrza (np. fosfor biały gromadzący się w instalacji produkcji tlenku węgla).

Przedstawiłem powyżej 13 źródeł zapłonu, które należy rozpatrywać według Polskiej Normy PN-EN 1127-1 w ocenie zagrożenia wybuchem. Zaletą takiego podejścia jest to, że łatwo wychwycić możliwie dużo potencjalnych sytuacji mogących wywołać wybuch, ponieważ już na etapie analizowania źródeł zapłonu według powyżej przedstawionego schematu zastanawiamy się jednocześnie nad przyczynami powstania tych źródeł.

Jeżeli zidentyfikowaliśmy poszczególne źródła zapłonu, należy ustalić, jak często mogą one wywołać wybuch. Aby określić prawdopodobieństwo wystąpienia wybuchu, należy mieć dwa parametry – częstotliwość, z jaką może występować zidentyfikowane wcześniej źródło zapłonu, oraz czas, w jakim mieszanina wybuchowa występuje w obrębie oddziaływania źródła zapłonu. Czas występowania mieszaniny wybuchowej przyjmuje się umownie w zależności od kategorii strefy zagrożenia wybuchem. Dla strefy 2 i 22 – 10 godzin rocznie, dla strefy 1 i 21 – 100 godzin rocznie, dla strefy 0 i 20 – przez cały czas pracy instalacji. Trudniej jest określić prawdopodobieństwo wystąpienia potencjalnego źródła zapłonu. W wielu przypadkach, na przykład przy elektryczności statycznej, trudno jest ocenić, jak często wystąpi skuteczne wyładowanie. To samo dotyczy uderzenia pioruna czy awarii urządzenia elektrycznego. Należy się wtedy opierać na doświadczeniu pracowników, danych historycznych zgromadzonych w naszym, jak i innych przedsiębiorstwach.

Jeżeli na oszacowane przez nas prawdopodobieństwo wystąpienia wybuchu nałożymy zastosowane w obiekcie zabezpieczające środki techniczne i odpowiednie procedury postępowania, otrzymamy odpowiednio pomniejszone prawdopodobieństwo wystąpienia wybuchu, które wstawiamy do matrycy ryzyka.

Aby uzyskać końcowy wynik w matrycy ryzyka, należy określić, jakie skutki na danym stanowisku pracy może wywołać wybuch. Przyjmujemy zasadę, że jeśli w przypadku wystąpienia wybuchu może ponieść śmierć choćby jeden pracownik, skutki określamy jako „katastroficzne”. Jeśli przewidujemy wybuch małej objętości mieszaniny, przy którym fala nadciśnienia nie będzie zbyt duża i w związku z tym nie przewidujemy ofiar śmiertelnych – skutki określamy jako „duże”. Praktyka wykazuje, że najczęściej mamy do czynienia z tymi dwoma przedstawionymi kategoriami skutków, ponieważ trudno sobie wyobrazić sytuację, kiedy podczas wybuchu nie ucierpi poważnie co najmniej jeden pracownik.

Po wprowadzeniu danych do matrycy ryzyka otrzymujemy konkretne wyniki, od których zależy, czy musimy podjąć odpowiednie kroki zmierzające do zmniejszenia ryzyka. Jeżeli znajdziemy się w polu dopuszczalnym „TA”, tolerowanym „TNA” lub nieakceptowanym „N”, należy podjąć odpowiednie kroki w celu minimalizacji ryzyka. Mogą to być działania organizacyjne, jak i rozwiązania techniczne. Często okazuje się, że niewielkim, albo wręcz zerowym nakładem środków można wyeliminować zagrożenia w pewnych sytuacjach, których wcześniej nie traktowano jako potencjalnie niebezpieczne.

Otrzymujemy katalog dodatkowych środków kontroli ryzyka i na jego podstawie tworzymy listę prac do wykonania, w której określamy termin oraz osoby odpowiedzialne za poszczególne zadania konieczne do wykonania w celu ograniczenia ryzyka.

Jeżeli przebrnęliśmy przez ocenę ryzyka, kolejnym rozdziałem, który musimy zamieścić w dokumencie, jest określenie, jakie środki zastosowaliśmy do tej pory, aby zapobiec wystąpieniu wybuchu. Proponuję podział na trzy kategorie:

- warstwa zapobiegania – wszystkie środki, które mają zapobiec tworzeniu się atmosfer wybuchowych oraz potencjalnych źródeł zapłonu, np. utrzymywanie atmosfer beztlenowych, stosowanie mostkowania połączeń kołnierzowych, instalacji odgromowych, odpowiednich procedur i rygorów produkcji i magazynowania, szkoleń pracowników, instrukcji ruchowych, instrukcji eksploatacji itp.

- warstwa ochrony – zabezpieczenia, które zostają uruchamiane w przypadku pojawienia się źródła zapłonu lub atmosfery wybuchowej; mają one na celu zapobieżenie wybuchowi w tak zwanych sytuacjach krytycznych; zaliczyć do nich należy m.in.: systemy monitoringu stężenia substancji niebezpiecznych, przerywacze ognia, zawory bezpieczeństwa, automatycznie uruchamianą wentylację mechaniczną, systemy automatyki i pomiarów

wyposażone w alarmy oraz układy blokadowe uruchamiane w przypadku wystąpienia zagrożenia itp.

– warstwa reagowania – procedury uruchamiane w przypadku wystąpienia wybuchu, mające na celu zminimalizowanie jego skutków, np. wewnętrzny plan operacyjno-ratowniczy, obecność ratownictwa chemicznego, odpowiednie przeszkolenie pracowników na wypadek wystąpienia pożaru bądź wybuchu itp.

Kolejnym rozdziałem dokumentu wymaganym przez rozporządzenie ministra gospodarki, pracy i polityki społecznej z 29 maja 2003 r. są deklaracje, że stanowiska pracy i narzędzia pracy, a także urządzenia zabezpieczające i alarmujące są zaprojektowane, używane i konserwowane z uwzględnieniem zasad bezpieczeństwa. Należy się tutaj odnieść do posiadanej wymaganej dokumentacji technicznej, instrukcji ruchowych, prawidłowo zaprojektowanych instalacji, szkoleń pracowników, stosowania odpowiednich narzędzi, spełniania wszelkich przepisów prawnych w zakresie ochrony pracownika przed skutkami pożaru i wybuchu. Ten punkt dokumentu jest wbrew pozorom bardzo ważny, ponieważ kierownik danego obiektu, podpisując dokument, bierze na siebie odpowiedzialność wynikającą z deklaracji.

Kto powinien opracować dokument?

Autorem dokumentu zabezpieczenia przed wybuchem powinna być osoba (lub osoby) o co najmniej podstawowej wiedzy z zakresu przeciwwybuchowości oraz bezpieczeństwa procesowego. Autor powinien dobrze poznać proces technologiczny – stosowane substancje, parametry fizyczne, aparaturę, zachodzące przemiany fizyko-chemiczne, operacje jednostkowe. Jeżeli autorem ma być osoba niezatrudniona w danym wydziale produkcyjnym, magazynowym itp., dla którego opracowywany jest dokument, powinna ściśle współpracować ze służbami technologicznymi i nadzorem produkcyjnym, aby zgromadzić wiedzę wystarczającą do zidentyfikowania możliwie dużej liczby zagrożeń, źródeł emisji, efektywnych źródeł zapłonu itp.

Osobami opiniującymi dokument powinni być wybrani specjaliści z przedsiębiorstwa, zajmujący się zawodowo bezpieczeństwem procesowym, zabezpieczeniem przeciwpożarowym i przeciwwybuchowym.

Osobą zatwierdzającą dokument powinien być kierownik komórki organizacyjnej, kierownik zakładu lub dyrektor ds. technicznych – w zależności od zasad przyjętych w przedsiębiorstwie.

Terminy rewizji i aktualizacji dokumentu

Dokument należy aktualizować nie rzadziej niż raz w roku poprzez dokonanie rewizji jego treści, jednak każdorazowo – po wprowadzeniu zmian w instalacji technologicznej lub organizacji stanowisk pracy, mających wpływ na wynik oceny ryzyka wystąpienia wybuchu.

Lista pracowników zapoznanych z dokumentem

Z dokumentem zabezpieczenia przed wybuchem należy zapoznać wszystkich pracowników zajmujących stanowiska pracy znajdujące się w strefach zagrożenia wybuchem oraz nadzór techniczny, technologiczny i produkcyjny komórki organizacyjnej.

Wnioski

Dokument zabezpieczenia przed wybuchem jest jednym z wielu elementów wymaganych przez nowe rozporządzenie w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy pracowników zatrudnionych na stanowiskach pracy, na których może wystąpić atmosfera wybuchowa. Rozporządzenie to jest elementem dostosowującym polskie prawo do prawa Unii Europejskiej, a dokładniej – dyrektywy 1999/92/EC, zwanej dyrektywą Atex 137. Dyrektywa ta w nowatorski sposób podchodzi do zagrożenia wybuchem na stanowiskach pracy i włącznie z pokrewną dyrektywą Atex 100 określa całokształt wymagań dla zapewnienia ochrony przeciwwybuchowej ze strony użytkownika, jak również producenta sprzętu mającego się znaleźć w strefach zagrożenia wybuchem.

Dokument zabezpieczenia przed wybuchem, jako nowość w polskim prawie, jest obecnie sporym problemem dla większości zakładów chemicznych, przetwórstwa spożywczego i innych, gdzie występują substancje palne (gazy, ciecze i pyły). Największe trudności rodzą się przy próbach opracowywania oceny ryzyka wystąpienia wybuchu. Rozporządzenie nie określa metody wykonania oceny ryzyka, można się więc pokusić o zastosowanie pewnych uproszczeń i opracowanie oceny typowo jakościowej, dającej jedynie ogólny pogląd na stan instalacji, zabezpieczeń oraz organizacji pracy w danym przedsiębiorstwie. Teoretycznie wystarcza to do spełnienia wymagań rozporządzenia i daje komfort w przypadku kontroli Państwowej Inspekcji Pracy czy Państwowej Straży Pożarnej.

Chcąc jednak pełniej wykorzystać dostępną wiedzę ekspercką z zakresu wykonywania analiz ryzyka, bezpieczeństwa procesowego, fizykochemii substancji palnych itp., należy wykonać bardziej skomplikowaną analizę ryzyka.

O ile pełna metoda ilościowa oceny ryzyka sprawić może wiele trudności, o tyle najodpowiedniejsza do tego celu wydaje się metoda półilościowa z wykorzystaniem matrycy. Zastosowanie takiej właśnie metody w skrócie przedstawiono w niniejszym artykule.

Okazuje się, że żmudne analizowanie poszczególnych odcinków instalacji pod kątem:

- możliwości wystąpienia źródła zapłonu oraz jego skuteczności,
- prawdopodobieństwa wystąpienia źródła zapłonu,
- prawdopodobieństwa wystąpienia atmosfery wybuchowej,
- oceny skutków ewentualnego wybuchu,

dało efekty w postaci gotowych, często zaskakujących wyników końcowych oceny ryzyka. Można było dzięki temu w trafny sposób określić dodatkowe środki kontroli w przypadku otrzymania wyników nieakceptowalnych, dopuszczalnych i tolerowanych.

Wcześniejsze próby oceny bezpieczeństwa pożarowo-wybuchowego w rozpatrywanym wydziale produkcyjno-magazynowym dawały często odmienne wyniki analiz prowadzonych drogą domysłów i pobieżnych obserwacji. Skutkiem takiej oceny mogą być:

- znacznie powiększone koszty poprawy bezpieczeństwa pracy – nietrafione inwestycje,
- niezauważenie często istotnych zagrożeń ze strony pozornie mało skutecznych źródeł zapłonu.

Przedstawione powyżej argumenty mają uzmysłwić, że warto zainwestować w wiedzę ekspercką i otrzymać dokument będący nie tylko spełnieniem wymogów prawa, ale również przydatnym narzędziem służącym do zarządzania bezpieczeństwem pracowników zatrudnionych w strefach zagrożenia wybuchem.

Należy nadmienić, że wiedza w zakresie wybuchowości w przemyśle jest stale rozwijana i można w następnych latach oczekiwać coraz doskonalszych narzędzi do określania ryzyka wystąpienia wybuchu, zwłaszcza ze strony stosunkowo słabo poznanego źródła zapłonu – wyładowań elektrostatycznych. ■