Bartłomiej Ambrożkiewicz, Krzysztof Przystupa, Marcin Szewczyk

Wykrywanie dolnej granicy wybuchowości z wykorzystaniem stacjonarnych systemów detekcji gazów

JEL: R41 DOI: 10.24136/atest.2018.352

Data zgłoszenia: 19.11.2018 Data akceptacji: 15.12.2018

W artykule przedstawiono analizę obecnie stosowanych metod wykrywania dolnej granicy wybuchowości na przykładzie tłoczni gazu. Praca obejmuje: wybranie metody analizy bezpieczeństwa i oceny ryzyka, wykonanie obliczeń, zidentyfikowanie mechanizmów wystąpienia zagrożeń, oraz zaproponowanie działań mających na celu eliminację skutków ich wystąpienia. Poruszony problem, w uproszczeniu można sprowadzić do pytania czy wykrywanie zagrożeń jakie mają miejsce na tłoczniach gazu jest wykonywane w sposób optymalny oraz czy występujące z tym problemy są na bieżąco eliminowane?

Słowa kluczowe: analiza zagrożeń, ocena niezawodności, analiza bezpieczeństwa.

Wstęp

Wykrywanie dolnej granicy wybuchowości w powietrzu jest kluczowym elementem systemów bezpieczeństwa w różnych gałęziach przemysłu. Szczególnie ważne jest to w gazownictwie. Wiedza z zakresu parametrów wybuchowości gazów i par cieczy umożliwia ocenę zagrożenia wybuchem pomieszczeń oraz przestrzeni zewnętrznych, a także określenie bezpiecznych warunków pracy i doboru urządzeń działających w strefach zagrożenia wybuchem, w tym opracowanie technik zabezpieczenia przeciwwybuchowego oraz środków ochrony przeciwwybuchowej [1, 2].

Poprzez granice wybuchowości rozumie się dolną granicę wybuchowości (DGW Lower Explosion Limit) oraz górną granicę wybuchowości (GGW Upper Explosive Limit).

Dolna granica wybuchowości to najniższe stężenie składnika palnego w mieszaninie z powietrzem lub innym gazem utleniającym, przy którym zapłon jest już możliwy. Analogicznie, górna granica wybuchowości to najwyższe stężenie paliwa, przy którym mieszanina ma wystarczającą ilość utleniacza, aby po zainicjowaniu doszło do wybuchu [1].

1 Opis instalacji

Pojęcie sieci gazowej obejmuje swoim zakresem gazociągi ze stacjami gazowymi, układami pomiarowymi, tłoczniami gazu, magazynami gazu, połączone i współpracujące ze sobą, które służą do przesyłania i dystrybucji gazu.

Rozróżnia się różne rodzaje sieci gazowych. Jeden z podziałów wynika ze znajdujących się w niej elementów. Praktycznie zawsze wśród wyróżnianych elementów są:

- gazociągi,
- stacje gazowe,
- tłocznie gazu.

Jednym z ważniejszych obiektów w sieci są tłocznie gazu [3]. Tłocznia gazu to zespół urządzeń do sprężania i regulacji wielkości charakteryzujących przepływający gaz. Przykładową strukturę tłoczni pokazano na Rys. 1.

Rys. 1. Schemat blokowy tłoczni gazu

W sieci gazowej wyróżnia się gazociągi wysokiego (1,6-10MPa), średniego podwyższonego (0,5-1,6MPa), średniego (10-500kPa) i niskiego (do 10kPa) ciśnienia [4].

2 Wykrywanie zagrożeń

W celu zwiększenia bezpieczeństwa, stosowane są dwa rodzaje urządzeń automatyki przemysłowej. Urządzenia prewencyjne - służące do wykrywania zagrożeń gdy są one możliwe do zidentyfikowania ale ich poziom nie jest jeszcze niebezpieczny (zagrożenia narastają) i urządzenia restytucyjne działające w sytuacji gdy następuje przekroczenie wyznaczonych niebezpiecznych limitów. Urządzenia te natychmiast po wykryciu przekroczonego limitu podejmują działania ustalone dla potrzeb zmniejszenia istotności poziomu zagrożenia. Podstawowe urządzenia stosowane w tych grupach to detektory oraz analizatory.

2.1 Detektory

Zadaniem przetwornika pomiarowego, zawierającego w swej strukturze wewnętrznej detektor gazu jest wykrycie dolnej granicy wybuchowości mieszaniny utleniającego się metanu w powietrzu.

Na Rys. 2 i Rys.3. pokazano przykładowe detektory gazu ziemnego produkowane przez firmę GAZEX i Dräger.

Rys. 2. Przetwornik pomiarowy DEX/A firmy GAZEX [5]

Rys. 3. Przetwornik pomiarowy Dräger Polytron SE Ex [6]

Detektory wykrywają mieszaniny gazów np. LNG, CNG, LPG z powietrzem. Zastosowane skróty oznaczają:

- LNG (*Liquefied Natural Gas*) – gaz ziemny w ciekłym stanie skupienia.
- CNG (*Compressed Natural Gas*) – sprężony gaz ziemny.
- LPG (*Liquefied Petroleum Gas*) – propan- butan.

Detektory stosowane są wszędzie tam gdzie istnieje zagrożenie wybuchem spowodowane ulatnianiem się gazu do powietrza.

2.2 Analizatory

Analizatory przeznaczone do pracy w strefach zagrożenia wybuchem wykrywają różnego rodzaju możliwe kombinacje gazów np. metan - tlen, tlenek węgla - siarkowodór. Urządzenia te często, posiadają możliwość skonfigurowania w celu wykrycia tylko jednego gazu w mieszaninie. Na Rys. 4 i 5 pokazano przenośne analizatory gazu ziemnego.

Rys. 4. Analizator wielofunkcyjny serii PS200 firmy ARMATECH [7]

Rys. 5. Przenośny analizator X-am 2500 firmy Dräger [8]

Wyniki pomiarów poszczególnych gazów są wyświetlane na panelu pomiarowym, a użytkownik ma możliwość przeprowadzenia testu kontrolnego w czasie rzeczywistym. Urządzenie po włączeniu dokonuje pomiaru ciągłego zarówno gazu niebezpiecznego jak i zawartości tlenu w swoim otoczeniu. W chwili przekroczenia na-

stawionej wartości urządzenie wysyła sygnał ostrzegawczy np. optyczno – akustyczny, który wskazuje na potrzebę natychmiastowego opuszczeniu strefy niebezpiecznej. Detektor bardzo często oprócz wysłania sygnału ostrzegawczego uruchamia inne działania np. urządzenia wentylacyjne lub zawory sterujące zamykające przepływ.

Działanie analizatora polega na pomiarze i wyświetleniu składu badanej mieszaniny.

3 Metody analiz bezpieczeństwa

Analiza bezpieczeństwa służy do oceny poziomu ryzyka związanego z badanym procesem, może również identyfikować mechanizm występowania zdarzeń niebezpiecznych [9]. Analiza bezpieczeństwa jest procedurą znormalizowaną, wykonywaną według standardu IEC 1508. Zgodnie z normą analizę bezpieczeństwa realizuje się na każdym etapie procesu (projektowania, budowania i użytkowania). Norma ta ustala terminologię opisu problemu, precyzuje miary bezpieczeństwa systemu, definiuje strategię postępowania, rekomenduje metody odpowiednie do zastosowania w różnych fazach realizacji projektu [10].

3.1 Analiza drzewa usterek FTA

Metoda drzewa błędów jest jakościową analizą ryzyka wykorzystującą strukturę drzew logicznych, pozwalającą na modelowanie przebiegu awarii i jej analizę. FTA (*Fault Tree Analysis*) w projektowaniu systemów gwarantuje wysoki poziom bezpieczeństwa, wiarygodności i niezawodności w przemyśle gazowniczym, chemicznym, kolejowym, informatyce, medycynie. Stała się również często wykorzystywaną metodą w analizie zagrożeń i szacowaniu ryzyka obok HAZOP (*HAZards and OPerability studies*) i FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*).

W metodzie tej poszczególne czynniki mogące doprowadzić do zdarzenia oraz ich potencjalne skutki obrazowane są w postaci graficznej tzw. drzewa błędów, które ukazuje współzależności pomiędzy potencjalnym, głównym zdarzeniem i przyczynami tego zdarzenia. Zidentyfikowane czynniki (przyczyny) naniesione na drzewo błędów są ze sobą powiązane i mogą być określane jako: specyficzne awarie (np. maszyn i urządzeń), błędy ludzkie (np. na linii produkcyjnej), błędy pierwszego i drugiego rodzaju, warunki środowiskowe, inne zdarzenia mogące doprowadzić do awarii. Błędy pierwszego rodzaju to wady produkcyjne ujawniające się podczas eksploatacji w warunkach projektowych. Błędy drugiego rodzaju stanowią błędy elementu pracującego w warunkach, do których urządzenie nie było przeznaczone. Jest to zazwyczaj błąd związany ze złym doбором do warunków procesowych [11].

Analiza drzewa błędów FTA jest zatem graficznym modelem zależności przyczynowo – skutkowych. Dzięki schematowi FTA zostają zilustrowane przyczyny, których skutek określany jest jako nie- pewne zdarzenie bądź ryzyko.

3.2 Metody analizy HAZOP

Celem analizy HAZOP jest zidentyfikowanie wszystkich potencjalnych zagrożeń oraz problemów związanych ze zdolnością do działania, jakie mogą wystąpić w rozpatrywanym systemie technologicznym. Analizę HAZOP przeprowadza się zgodnie z normą PN-EN 61882: w oparciu o systematyczną identyfikację wiarygodnych odchyśleń procesowych oraz ich możliwych przyczyn i skutków. Zidentyfikowane zdarzenia awaryjne oceniane są pod kątem wymagań odnośnie skutecznego dla minimalizacji ryzyka poziomu zabezpieczeń, a w uzasadnionych przypadkach rekomenduje się działania dodatkowe w celu podwyższenia poziomu bezpieczeństwa i zachowania zdolności operacyjnych [12].

3.3 Analiza przyczyn i skutków FMEA

Głównym zadaniem metody FMEA jest ocena ryzyka w poszczególnych fazach projektowanego procesu oraz wskazanie koniecznych do wprowadzenia usprawnień w zakresie wykrywania niezgodności lub częstości ich występowania. Metoda FMEA polega na analitycznym ustalaniu związków przyczynowo - skutkowych powstawania potencjalnych wad w procesach oraz uwzględnieniu w analizie czynnika krytyczności ryzyk. Podobnie jak poprzednie również ta metoda jest znormalizowana przez IEC 812.

Stosując metodę FMEA możliwe jest ciągle doskonalenie procesów, poprzez poddawanie ich kolejnym analizom i na podstawie uzyskanych wyników wprowadzanie nowych rozwiązań, skutecznie eliminujących źródła wad [13].

Analiza FMEA:

- Jest skuteczną metodą doskonalenia procesów.
- Szczegółowo wskazuje wszystkie potencjalne problemy i niezgodności, które mogą wystąpić w procesie.
- Identyfikuje przyczyny mogących wystąpić problemów w procesie, szacuje częstotliwość występowania tych przyczyn.
- To metoda, która określa znaczenie problemów i niezgodności dla użytkownika.
- Pozwala liczbowo zobrazować na ile poważna jest dana przyczyna niezgodności.
- Umożliwia zaplanowanie działań doskonalących w odniesieniu do przyczyn o największym ryzyku.

Bardzo często analizy FMEA oraz FTA uzupełniają się. Analiza FMEA może być wykorzystana do uzasadnienia poprawności wyborów w trakcie analizy FTA, dotyczących zdarzeń elementarnych [14].

4 Przykład praktyczny

4.1 Scenariusz awarii

Przykładowy scenariusz awarii zakłada, że powodem wystąpienia awarii jest błąd ludzki. Pracownik zapomina uzupełnić olej w instalacji olejowej zasilającej punkty smarowania sprężarki gazu ziemnego (Rys. 1) – w wyniku czego następuje zatarcie tłoka i jego zatrzymanie oraz wzrost ciśnienia w przestrzeni cylindra sprężarki. Wysokie ciśnienie w przestrzeni cylindra uszkadza uszczelkę i następuje rozszczelnienie połączenia, czego skutkiem jest emisja gazu pod wysokim ciśnieniem. W wyniku tego dochodzi do powstania atmosfery wybuchowej, w przypadku obecności czynnika inicjującego powstania pożaru (może nastąpić wybuch, pożar powstałej chmury mieszaniny wybuchowej, wzrost ciśnienia, promieniowanie termiczne, hałas itp.).

4.1. Środki zapewnienia bezpieczeństwa i ocena ryzyka

Do zapewnienia bezpieczeństwa przyjęto następujące środki:

- Monitoring ciśnienia i temperatury w instalacji.
- System alarmowania akustycznego i świetlnego o przekroczeniu poziomu założonego ciśnienia w instalacji.
- Stacjonarny system detekcji gazów (np. GAZEX) wraz z przetwornikami pomiarowymi.
- Przetworniki pomiarowe wykrywające dym.
- Przetworniki pomiarowe ilości oleju w zbiorniku olejowym.

W przyjętym systemie zapewnienia bezpieczeństwa rozszczelnienie połączeń wysokiego ciśnienia powoduje emisję gazu poza zamkniętą instalację. Zdarzenie takie jest wykrywane przez stacjonarny system detekcji gazów, analizatory gazu i kontroli ciśnienia w poszczególnych elementach instalacji oraz detektory, które zamykają automatycznie zawory odcinające część instalacji. Odcięta część instalacji jest rozgazowywana za pomocą wentylatorów wyciągowych w momencie wystąpienia I stopnia DGW i uwolnienia gazu

poprzez systemy zrzutowe gazu ponad budynkiem. W przypadku wystąpienia II stopnia DGW system dodatkowo wyłącza rozdzielnie elektryczne zasilające napędy elektryczne zlokalizowane w budynku tłoczni. System automatycznego odcięcia instalacji, włącza alarm w dyspozytorni nadzorowanej stale przez przeszkoloną osobę z nadzoru, która podejmuje działania zgodnie z procedurami obowiązującymi w przedsiębiorstwie.

Definicja oceny ryzyka mówi, że ryzyko jest to prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzeń niepożądanych, które są ściśle związane z pracą jaka jest wykonywana i jego wystąpienie powoduje straty. Wspomniane ryzyko zostało skategoryzowane i oznaczone w Tabeli 1.

Tab. 1. Ocena ryzyka

Kategoria ryzyka	Ryzyko	Znaczenie
A	AKCEPTOWALNE	Nie są wymagane żadne dodatkowe środki bezpieczeństwa i ochrony.
TA	TOLEROWANE AKCEPTOWANE	Rozważyć wprowadzenie dodatkowych środków bezpieczeństwa i ochrony, jeśli są one uzasadnione.
TNA	TOLEROWANE NIEAKCEPTOWANE	Wprowadzić dodatkowe środki bezpieczeństwa i ochrony w krótkim okresie czasu.
NA	NIEAKCEPTOWANE	Zatrzymać instalację i natychmiast wprowadzić dodatkowe środki bezpieczeństwa i ochrony.

Pomimo wypełnienia obowiązków wynikających z określenia ryzyka zawodowego należy mieć na uwadze skutki różnego rodzaju awarii lub usterek, które mogą nastąpić (Tabeli 2).

Tab. 2. Kategorie skutków

Kategoria skutków	Pracownicy	Ludność	Środowisko	Straty majątkowe
Kat. I Pomijalne	Bardzo drobne urazy	Brak	Brak	Minimalne
Kat. II Małe	Pojedyncze średnie urazy	Odory, hałas	Małe, odnotowane w raportach	do 100 tys. PLN
Kat. III Średnie	Średnie i ciężkie urazy	Małe urazy	Średnie zniszczenia	do 1 mln. PLN
Kat. IV Duże	Poważne urazy	Średnie urazy	Poważne zniszczenia	do 10 mln. PLN
Kat. V Katastroficzne	Ofiary śmiertelne	Poważne urazy	Katastrofa ekologiczna	> 10 mln. PLN

4.2. Obliczanie ryzyka

Ryzyko rozumiane jest jako funkcja dwóch zmiennych – prawdopodobieństwa (szansy, częstotliwości) wystąpienia określonego zdarzenia i skali (skutków, rozmiarów) usterki, awarii w przypadku jej wystąpienia. Wartość ryzyka można wyrazić jako iloczyn prawdopodobieństwa i skutków w następujący sposób:

$$R = S \cdot C \quad (1)$$

gdzie:

R – poziom ryzyka,

S – skutki awarii,

C – częstość występowania (prawdopodobieństwo).

Ponieważ w wyniku opisanego scenariusza awaryjnego możliwe są ofiary śmiertelne do analiz przyjęto V kategorię skutków ($S = 5$) zgodnie z Tabelą 2. Następnie określono częstość występowania awarii ($C = 5$).

W wyniku analizy oceny ryzyka przyjęto wstępnie, że zarówno skutki jak i częstość występowania ryzyka obliczono (1) na poziomie 25 co w Tabeli 3. odpowiada wartości ryzyka (NA) nieakceptowalnej.

Tab. 3. Matryca ryzyka procesowego dla jednego przetwornika.

			SKUTKI „S”				
			1	2	3	4	5
CZĘSTOŚĆ „C”	7	Bardzo często $c \geq 10^{-1}$	TNA 7	TNA 14	NA 21	NA 28	NA 35
	6	Często $10^{-2} \leq c < 10^{-1}$	TA 6	TNA 12	TNA 18	NA 24	NA 30
	5	Dość często $10^{-3} \leq c < 10^{-2}$	TA 5	TA 10	TNA 15	TNA 20	NA 25
	4	Umiarkowanie $10^{-4} \leq c < 10^{-3}$	A 4	TA 8	TA 12	TNA 16	TNA 20
	3	Rzadko $10^{-5} \leq c < 10^{-4}$	A 3	A 6	TA 9	TA 12	TNA 15
	2	Bardzo rzadko $10^{-6} \leq c < 10^{-5}$	A 2	A 4	A 6	TA 8	TA 10
	1	Pomijalnie rzadko $c < 10^{-6}$	A 1	A 2	A 3	A 4	TA 5

Na Rys. 6. pokazano drzewo błędów FTA dla ryzyka zatarcia tłoka i cylindra dla pojedynczego czujnika poziomu oleju.

Rys. 6. Drzewo błędów FTA dla pojedynczego czujnika poziomu oleju

Aby obliczyć ryzyka do drzewa błędów przedstawionej awarii należy posłużyć się wartościami prawdopodobieństwa przedstawionymi w Tabeli 4 opracowanymi na podstawie doświadczenia zawodowego.

Tab. 4. Prawdopodobieństwo awarii elementów składowych.

Nazwa	Prawdopodobieństwo
Przetwornik poziomu oleju LI 1, LI 2	0,03
Sterownik DCS	0,0003
Zawór L1	0,0008
Błąd ludzki	0,2

Obliczone prawdopodobieństwo awarii elementów składowych analizowanej funkcji bezpieczeństwa (Rys. 6) wynosi:

$$P_1 = (A + B + C) \cdot D = (0,03 + 0,0003 + 0,0008) \cdot 0,2 = 6,22 \cdot 10^{-3}$$

Kategoryzując otrzymany wynik prawdopodobieństwa zgodnie z Tabelą 3 otrzymujemy wartość na poziomie zagrożenia nieakceptowalnego. W przypadku oceny ryzyka jako nieakceptowalnego (NA), natychmiast wymagana jest jego redukcja. W tym celu postanowiono zastosować dodatkowy przetwornik poziomu oleju oraz zbudować dodatkową automatyczną instalację uzupełniania oleju. Tym samym powstać drzewa błędów FTA dla ryzyka zatarcia tłoka i cylindra dla podwójnego czujnika poziomu oleju, przyjęła postać zgodną z Rys. 7.

Rys. 7. Drzewo błędów FTA dla podwójnego czujnika poziomu oleju

Dla zaproponowanego rozwiązania ponownie wyznaczono wartość prawdopodobieństwa na podstawie drzewa błędów Rys. 7.

$$P_2 = [A \cdot B + C + D] \cdot E = [0,03 \cdot 0,03 + 0,0003 + 0,0008] \cdot 0,2 = 400 \cdot 10^{-6}$$

W wyniku modernizacji układu sterowania częstość klasyfikujemy na drugim poziomie, kategoria skutków pozostaje piąta zgodnie z Tabelą 5.

Tab. 5. Matryca ryzyka procesowego dla dwóch przetworników

			SKUTKI „S”				
			1	2	3	4	5
CZĘSTOŚĆ „C”	7	Bardzo często $c \geq 10^{-1}$	TNA 7	TNA 14	NA 21	NA 28	NA 35
	6	Często $10^{-2} \leq c < 10^{-1}$	TA 6	TNA 12	TNA 18	NA 24	NA 30
	5	Dość często $10^{-3} \leq c < 10^{-2}$	TA 5	TA 10	TNA 15	TNA 20	NA 25
	4	Umiarkowanie $10^{-4} \leq c < 10^{-3}$	A 4	TA 8	TA 12	TNA 16	TNA 20
	3	Rzadko $10^{-5} \leq c < 10^{-4}$	A 3	A 6	TA 9	TA 12	TNA 15
	2	Bardzo rzadko $10^{-6} \leq c < 10^{-5}$	A 2	A 4	A 6	TA 8	TA 10
	1	Pomijalnie rzadko $c < 10^{-6}$	A 1	A 2	A 3	A 4	TA 5

Poziom ryzyka będzie zatem wynosił:

$$R = 2 \cdot 5 = 10$$

W wyniku zastosowania dodatkowego zabezpieczenia w postaci przetwornika poziomu oleju redukcja ryzyka została sprowadzona do poziomu akceptowalnego (Tabela 5).

5. Sprowadzenie zagrożenia do bezpiecznego poziomu

Jednym z najważniejszych obowiązków spoczywających na przedsiębiorstwie z branży energetycznej jest zapewnienie bezpieczeństwa i niezawodności sieci gazowniczej, jak również jej poszczególnych elementów. Kluczowym zadaniem jest dostarczenie gazu ziemnego poprzez system przesyłowy do systemów dystrybucyjnych lub do końcowych użytkowników przyłączonych bezpośrednio do systemu przesyłowego. W Europie i na świecie, podejście do

sprawy bezpieczeństwa gazociągów w ostatnim okresie uległo zmianie. Zmiana ta polega na odchodzeniu od postrzegania bezpieczeństwa tylko w świetle przepisów technicznych, określających odpowiedzialność oraz obowiązki operatora gazociągu. Wymogiem stało się opracowanie i wdrożenie Systemu Zarządzania Bezpieczeństwem. W systemie tym przedsiębiorstwo będące operatorem sieci gazowej jest zobowiązane do określenia potencjalnego ryzyka swojej działalności oraz niezbędnych środków zapobiegawczych ograniczających to ryzyko. Tak więc z jednej strony przedsiębiorstwa są zobowiązane do respektowania uregulowań prawnych, natomiast z drugiej strony do stworzenia własnej regulacji jakim jest System Zarządzania Bezpieczeństwem. Prawdopodobnie opracowany i wdrożony ogranicza ryzyko potencjalnej awarii gazociągów, pozwalając jednocześnie optymalizować koszty eksploatacji oraz efektywnie wykorzystywać środki finansowe przekazywane na bezpieczeństwo gazociągów. W swojej działalności przedsiębiorstwo energetyczne stosuje odpowiednie przepisy prawa w celu zapewnienia bezpieczeństwa gazociągów w procesie budowy i użytkowania, jak również z poszanowaniem środowiska naturalnego.

Podsumowanie

W niniejszej publikacji przedstawiono możliwości wykrywania zagrożeń, metody analizy bezpieczeństwa, oraz pokazano przykład opracowania oceny ryzyka wraz z jej obliczeniem. Wykonane obliczenia prawdopodobieństwa znajdują się w obszarze akceptowalnym. Analiza scenariuszy ryzyka zaprezentowana w artykule pokazuje, że każdy element systemu jest niezbędny. Ważnym jest, że pomimo długiego czasu, kiedy systemy detekcji zostały zainstalowane na obiektach nie zdarzają się poważniejsze usterki lub awarie ale nie zwalnia to operatorów z obowiązku doskonalenia rozwiązań technicznych. Wydaje się, że obecnie jedynym z niewrażliwych punktów, który może ulec usterek są przetworniki pomiarowe, które zawsze i w miarę szybko można wymienić, aby przywrócić system do pełniej sprawności i niezawodności.

Podsumowując dotychczasowe rozważania można stwierdzić, że przeglądy instalacji i systemów stanowią istotny element bezpieczeństwa każdego zakładu przemysłowego, gdzie występują gazy palne, lecz aby system detekcji gazów mógł skutecznie strzec bezpieczeństwa obiektów i ludzi musi być prawidłowo zaprojektowany, zainstalowany oraz dobrze serwisowany.

Bibliografia

1. Ignac-Nowicka J., Monitorowanie mieszanin gazowych dla bezpieczeństwa procesu produkcji acetylenu, *Studia i Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedza/Studies & Proceedings Polish Association for Knowledge Management*, 2011, 40.
2. Makhniashvili I.; Makles Z., Zagrożenia w podziemnych parkingach samochodowych - toksyczne, pożarowe i wybuchowe, *Bezpieczeństwo Pracy: nauka i praktyka*, 2007, 10-13.

3. Dyakowska E., Pęgielska M., Demusiak G., Metody oceny emisji gazu ziemnego z obiektów systemu przesyłowego na przykładzie wybranych tłoczni gazu, *Prace Naukowe Instytutu Nafty i Gazu* 2012.
4. Domański W., Makles Z., Minimalne wymagania dotyczące bezpieczeństwa przy pracach zagrożonych atmosferą wybuchową, *Bezpieczeństwo Pracy* 6/2007
5. <https://www.gazex.pl/produkty/typ/dex-a/>
6. https://www.draeger.com/da_dk/Applications/Products/Stationary-Gas-Detection-Systems/Detection-of-Flammable-Gases-and-Vapours/Polytron-SE-Ex
7. <https://www.armatech.com.pl/Ochrona-osobista/Miernik-wielogazowy/flypage.tpl.html?redirected=1>
8. https://www.draeger.com/pl_pl/Applications/Products/Mobile-Gas-Detection/Multi-Gas-Detection-Devices/X-am-2500
9. Przystupa K., Wybór punktów krytycznych w systemie HACCP, *Przemysł Spożywczy*, 2013, nr 8, s. 42-46
10. IEC 1508: Functional Safety: Safety-Related Systems
11. Musyafa A.; Adiyagsa H., Hazard and operability study in boiler system of the steam power plant, *IEEE International Journal of Science and Technology*, 2012, 1.3: 1.
12. PN-EN 61882:2016-07 Badania zagrożeń i zdolności do działania (badania HAZOP) -- Przewodnik zastosowań.
13. IEC 812 Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA).
14. Przystupa K., An attempt to use FMEA method for an approximate reliability assessment of machinery, *ITM Web of Conferences* 2017, vol. 15.

Detection of the lower explosion limit using stationary gas detection systems

The article presents an analysis of currently used methods of detecting the lower limit of flammability on the example of the Gas Compressor Station. Its scope includes the development of methods of safety analysis, risk assessment together with calculations and identification of mechanisms of occurrence of threats, as well as taking actions aimed at eliminating the effects of their occurrence. The problem raised is the question whether the detection of hazards that take place at gas compressor stations are carried out correctly and whether the problems involved are eliminated.

Keywords: hazard analysis, reliability assessment, security analysis.

Autorzy:

mgr inż. Bartłomiej Ambrożkiewicz – Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Automatykacji, b.ambrozkiwicz@pollub.pl / Inżynier ds. Testów, F&T-Kraśnik S.A., bambrozkiwicz1@fft.krasnik.pl,

dr inż. Krzysztof Przystupa – Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Automatykacji, k.przystupa@pollub.pl.

Marcin Szewczyk – dyplomant Katedry Automatykacji, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska.