

ANALIZA CZYNNIKÓW WPŁYWAJĄCYCH NA ZAGROŻENIA GAZOWE W ZAKŁADZIE PRZEMYSŁOWYM

Jolanta IGNAC-NOWICKA
Politechnika Śląska

WPROWADZENIE

We współczesnych przedsiębiorstwach wymagania dotyczące bezpieczeństwa pracy, ochrony mienia oraz oddziaływania na środowisko naturalne ciągle rosną. Celem powinna być analiza wszystkich zagrożeń występujących w danym zakładzie przemysłowym. Identyfikacja i kontrola zagrożeń oraz ocena ryzyka zawodowego wynikająca z przepisów prawa jest obowiązkiem pracodawcy. Z tego powodu w zakładach pracy powszechnie stosuje się urządzenia umożliwiające wczesne wykrycie zagrożeń oraz ich analiza w celu podjęcia odpowiednich środków zapobiegawczych.

Jednym z największych zagrożeń jest możliwość wycieku substancji niebezpiecznej do atmosfery, który może spowodować katastrofalne konsekwencje dla ludzi, mienia i środowiska. Na zagrożenia gazowe w przedsiębiorstwie składa się wiele czynników, wśród nich można wyróżnić: czynniki zewnętrzne (środowiskowe), awarie elementów technicznych instalacji gazowych oraz błędy ludzkie (czynnik ludzki). Dla każdej grupy czynników należy dobierać odpowiednie metody identyfikacji i kontroli zagrożenia.

Identyfikację czynników wpływających na zagrożenia gazowe przeprowadzono na przykładzie analizy eksploatacji instalacji gazowej w wybranym przedsiębiorstwie branży chemicznej. Analizie poddano czynniki techniczne oraz osobowe ze szczególnym uwzględnieniem specyfiki czynnika ludzkiego.

CHARAKTERYSTYKA PRZEMYSŁOWEJ INSTALACJI GAZOWEJ

W przedsiębiorstwach, w których użytkuje się instalacje gazowe, konieczne jest stosowanie systemu sygnalizacji zagrożeń gazowych. Zasada działania i elementy tworzące system sygnalizacji gazowej w zakładzie pracy są spójne z zasadami działania systemu sygnalizacji pożarowej. Zadaniem takiego systemu są przede wszystkim wykrycie i zasygnalizowanie niebezpiecznego stężenia monitorowanego gazu. Pozostałymi zadaniami systemu są zaalarmowanie pracowników o groźącym niebezpieczeństwie wybuchowym i pożarowym (przeciwpożarowe urządzenia zabezpieczające), oraz uruchomienie środków zaradczych ograniczających zaistniałe zagrożenie [1].

Jedną z ważniejszych cech systemów detekcji gazów jest możliwość łatwej adaptacji do wymogów konkretnej instalacji przemysłowej. Zmienna liczba czujników gazów, rodzaj wykrywanej substancji, ilość stref alarmowych, wymagane algorytmy sterowania oraz parametry typu wyjść wymagają specjalnego projektu ochrony gazowej.

Budowa systemu sygnalizacji gazowej

System sygnalizacji gazowej tworzą następujące elementy: centrala sygnalizacji, czujniki gazowe (w postaci sensorów elektrochemicznych), sygnalizatory alarmowe, ręczne ostrzegacze alarmowe oraz linie dozorowe. Wszystkie elementy tworzące system sygnalizacji podlegają obowiązkowej certyfikacji.

Centrala sygnalizacji gazowo-pożarowej jest urządzeniem decyzyjnym, które koordynuje pracę całego systemu sygnalizacji. Głównymi zadaniami współczesnych centrali sygnalizacji są:

- odbieranie sygnałów od dołączonych czujek i ręcznych ostrzegaczy pożarowych,
- decydowanie, które z odebranych sygnałów odpowiadają kryteriom alarmu oraz powiadamianie w sposób optyczny i akustyczny o niebezpieczeństwie ludzi,
- przekazywanie przez urządzenia transmisyjne sygnału alarmowego do stacji monitoringu lub do straży pożarnej,
- wskazanie miejsca powstania zagrożenia,
- w zależności od funkcjonalności uruchomienie urządzeń neutralizujących zagrożenie,
- nadzorowanie sprawności funkcjonowania całej instalacji, w tym kontrolowanie współpracujących urządzeń automatyki przeciwpożarowej i sygnalizowanie uszkodzeń,
- rejestrowanie zachodzących w systemie zdarzeń [1].

Włączenie sygnalizacji alarmu centrala powinna zainicjować w ciągu maksymalnie 10 s od uruchomienia ręcznego ostrzegacza pożarowego lub od momentu zadziałania czujki. Czas ten jest niezbędny na wymianę informacji między centralą a ostrzegaczami pożarowymi na linii dozorowej [6]. Funkcją centrali sygnalizacji jest także uruchamianie zewnętrznych sygnalizatorów alarmowych. Inne typowe funkcje centrali to: wykrywanie i wskazywanie miejsca zagrożenia oraz kontrola niezawodności systemu (wykrywanie i zgłaszanie uszkodzeń). Centrala sygnalizacji może posiadać dwustopniowe alarmowanie – alarm I stopnia i alarm II stopnia, jeśli dotyczy instalacji dla gazów bardzo toksycznych lub wybuchowych.

Sensory chemiczne według IUPAC (Międzynarodowa Unia Chemii Czystej i Stosowanej) są urządzeniami, które przetwarzają informację chemiczną (stężenie określonego składnika próbki) na sygnał użyteczny analitycznie. Sensor chemiczny zawiera dwa podstawowe elementy: chemicznie selektywną warstwę detektorową i element przetwornikowy. Głównym zadaniem przetwornika jest przetworzenie mierzonego parametru na sygnał elektryczny, optyczny lub akustyczny. Wzrastająca popularność sensorów chemicznych wynika głównie z możliwości wyboru optymalnej metody pomiaru i optymalnego rozwiązania konstrukcyjnego dopasowanego do potrzeb procesu technologicznego [2, 4].

Sygnalizatory alarmowe są ważnym elementem systemu sygnalizacji - pozwalają na szybkie powiadomienie ludzi znajdujących się w pobliżu zagrożenia. Przyczyniają się one do przyspieszenia interwencji w celu zneutralizowania zagrożenia lub zminimalizowania

strat w ludziach i mieniu. Najczęściej stosowanymi sygnalizatorami alarmowymi są sygnalizatory akustyczne lub sygnalizatory optyczno-akustyczne. Dźwięk wyzwalany z sygnalizatora akustycznego powinien wyróżniać się w otoczeniu. Zaleca się, aby alarm był dźwiękiem ciągłym lub o zmiennej częstotliwości i amplitudzie [3, 6].

Wszystkie elementy systemu sygnalizacji gazowej w zakładzie przemysłowym są wykonywane jako iskrobezpieczne. W celu bezpiecznej eksploatacji instalacji gazowej i systemu monitorowania istnieje obowiązek okresowej kalibracji czujników wykonywanej co 6 miesięcy. Taka kontrola gwarantuje niezawodną pracę systemu monitoringu gazów oraz żywotność czujników elektrochemicznych od 3 do 5 lat [1].

Inne systemy zabezpieczeń i stosowane urządzenia

W celu zapewnienia bezpieczeństwa gazowego i uniknięcia poważnej awarii przemysłowej lub ograniczenia skutków awarii, najczęściej stosuje się następujące techniczne systemy zabezpieczeń:

- instalacja zraszaczowa w halach produkcyjnych,
- sieć wodociągowa przeciwpożarowa z hydrantami wodnymi – naziemnymi,
- instalacja sygnalizacji pożaru, instalacja odgromowa i elektryczności statycznej,
- zawory bezpieczeństwa na instalacjach gazów technicznych,
- przyciski alarmowe wstrzymujące procesy technologiczne oraz gaśnice,
- podwójne zasilanie szczególnie istotnych elementów instalacji produkcyjnej,
- instalacje (azotowa lub inna) służąca do celów bezpieczeństwa i gaśniczych,
- wyłączniki ciśnieniowe pomp oraz podręczne analizatory gazów na wyposażeniu pracowników.

Obok technicznych systemów zabezpieczeń, w przedsiębiorstwie funkcjonuje także szereg znaków i sygnałów ostrzegawczych, których głównym zadaniem jest informowanie pracowników o występujących w pracy zagrożeniach. Wszystkie miejsca zakładu, w których występują zagrożenia gazowe powinny być oznakowane specjalnymi znakami lub barwami bezpieczeństwa zgodnie z ogólnymi przepisami bezpieczeństwa i higieny pracy. Dodatkowym zabezpieczeniem jest stosowanie sygnałów dźwiękowych i świetlnych zlokalizowanych wewnątrz i na zewnątrz obiektów [2].

METODY IDENTYFIKACJI ZAGROŻEŃ

W literaturze przedmiotu istnieje wiele metod wspomagających identyfikację zagrożeń. Najczęściej są to metody retrospektywne takie jak: analiza dokumentów, listy kontrolne lub analiza kart wypadkowych. Dla identyfikowania dynamicznych niebezpieczeństw (np. zagrożeń gazowych) najczęściej stosuje się prospektywne metody rozpoznawania zagrożeń. Polegają one na ustaleniu czynników zagrażających i przewidywaniu możliwych zagrożeń. Do metod tych należą: analiza zmian, analiza awarii i ich skutków (FMEA), analiza dużych zagrożeń (GHA), analiza zagrożeń procesowych (HAZOP), analiza bezpieczeństwa pracy (JSA), analiza czynności (TOR), komputerowa

analiza pracy (TJA). Często stosuje się metody dedukcyjne takie jak: analizę drzewa błędów (FTA) oraz analizę drzewa zdarzeń [5].

Metoda drzewa błędów jest stosowana do określania sekwencji lub kombinacji czynników będących przyczynami zagrożenia. Metoda bazuje na ustaleniu zdarzenia szczytowego, dla którego należy ustalić przyczyny. Drzewo błędów jest graficznym przedstawieniem logicznych kombinacji zdarzeń, które mogą prowadzić do zdarzenia szczytowego. Drzewo błędów wskazuje na przyczyny powstania zagrożenia. Metodę można stosować, gdy można przewidzieć zdarzenia, a zależności między nimi są proste.

Metoda drzewa zdarzeń rozpoczyna analizę od ustalenia przyczyn (czynników zagrażających) i prowadzi do określenia wynikających z nich zagrożeń. Na schemacie drzewa zdarzeń wyodrębnia się obszary: nagłówka zdarzeń (opis zdarzenia inicjującego) i drzewa zdarzeń (sekwencja możliwych zdarzeń). Metoda pozwala na analizę złożonych systemów zabezpieczających i procedur postępowania awaryjnego z udziałem człowieka – operatora [5].

ANALIZA ZAGROŻEŃ TECHNICZNYCH W EKSPLOATACJI INSTALACJI GAZOWEJ

W przedsiębiorstwach, które użytkują instalacje gazowe, niebezpieczne czynniki w środowisku pracy występują głównie w postaci obecności: sprężonych gazów, substancji palnych w postaci gazowej lub płynnej, gorącego powietrza oraz toksycznych gazów i par. W przestrzeniach, w których produkuje się, użytkuje lub przechowuje gazy palne lub toksyczne istnieje możliwość przenikania tych gazów do przestrzeni i tworzenia z powietrzem mieszanin. Gdy w mieszaninie z powietrzem zawarta jest dostateczna ilość gazu palnego o stężeniu powyżej dolnej granicy wybuchowości (DGW) i poniżej górnej granicy wybuchowości (GGW) powstaje mieszanina wybuchowa, która gwałtownie zapala się.

W takich warunkach każda nieszczelność instalacji gazowej lub jej elementów takich jak: zbiorniki z gazem, zawory, reduktory, manometry i inne, grozi wybuchem lub zatruciem pracowników. Inne zagrożenia mogą wiązać się z czynnikami zewnętrznymi takimi jak: działanie wysokiej temperatury na elementy instalacji gazowej (np. podczas pożaru), niewłaściwie przeprowadzana konserwacja urządzeń wchodzących w skład instalacji i inne.

W analizie zagrożeń technicznych wynikających z eksploatacji instalacji gazowej i urządzeń pomocniczych, najlepiej sprawdzają się takie metody identyfikacji jak: metoda drzewa błędów, analiza dużych zagrożeń, analiza awarii i ich skutków oraz analiza zagrożeń procesowych.

Metoda drzewa błędów (FTA) prowadzi do ustalenia przyczyn zagrożeń – czynników zagrażających, pokazuje ich logiczne powiązania, które mogą doprowadzić do powstania zagrożenia. Podczas stosowania tej metody należy ustalić zdarzenia, których kombinacje prowadzą do zdarzenia szczytowego. Metoda analizy awarii i ich skutków (FMEA) umożliwia identyfikację uszkodzeń poszczególnych elementów (np. instalacji gazowej), które mogą powodować zagrożenia. Identyfikacji zagrożeń dokonuje się na

podstawie analizy elementów lub modułów obiektu technicznego. Metoda analizy zagrożeń procesowych (HAZOP) umożliwia identyfikację odchyień od zamierzonego funkcjonowania, które mogą prowadzić do powstania zagrożeń. Analizę prowadzi się na podstawie właściwości fizycznych analizowanych elementów.

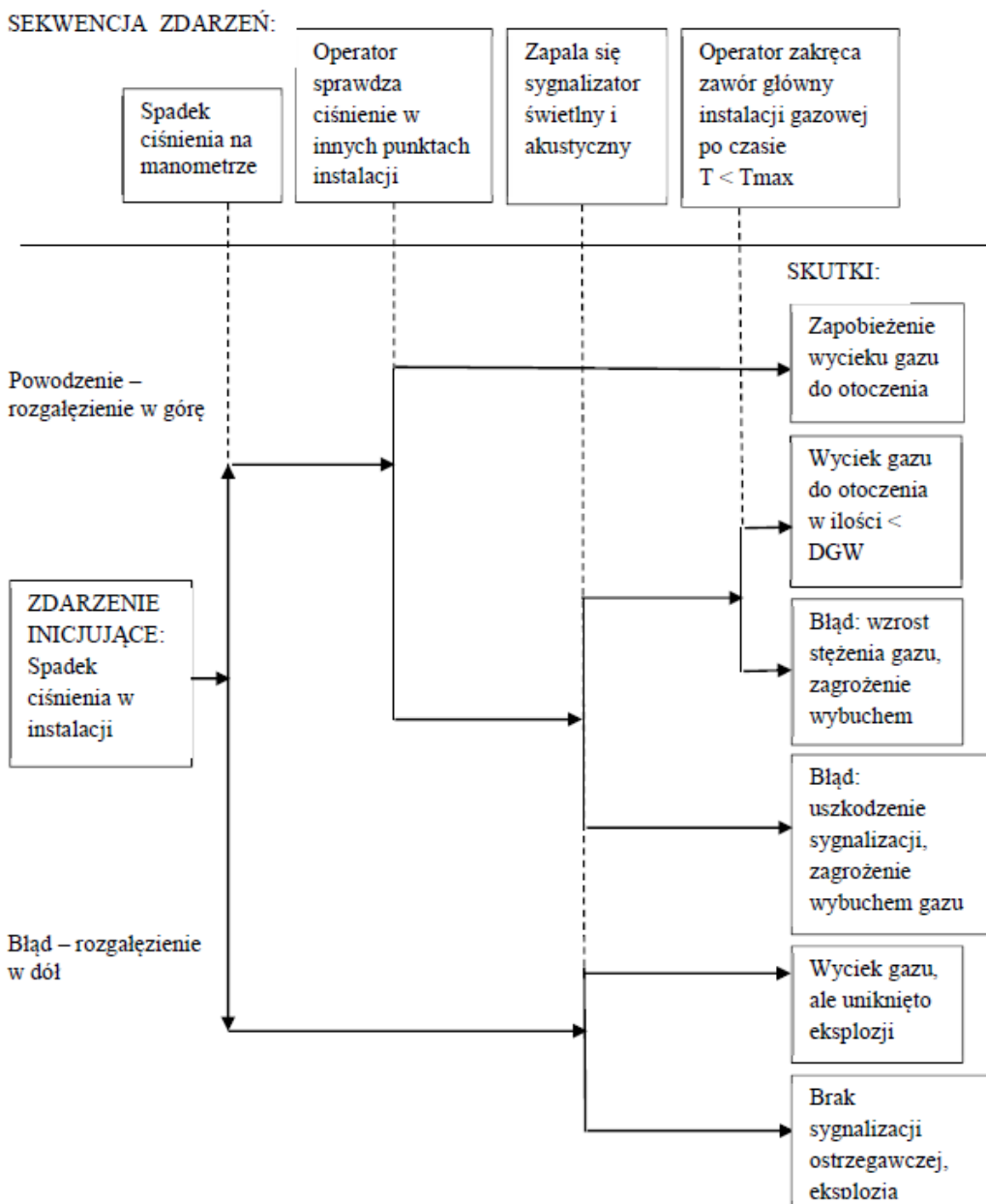
ANALIZA ZAGROŻEŃ Z UDZIAŁEM CZYNNIKA LUDZKIEGO

Poziom bezpieczeństwa ludzi zależy od ich wiedzy, doświadczenia, postawy wobec ryzyka, motywacji do bezpiecznego postępowania oraz aktualnej w danym dniu sprawności psychofizycznej. Sprawność człowieka zmienia się wraz z wiekiem pod wpływem zmęczenia, stresu i stanu zdrowia. Przyczyną pomyłek są również niedostosowanie pracy do możliwości pracowników, złe warunki fizycznego środowiska pracy oraz źle zorganizowane zadania, np. wywołujące sytuacje presji czasowej lub generujące stany przeciążenia fizycznego lub psychicznego. Podstawowymi przyczynami wypadków spowodowanych niebezpiecznymi błędami ludzkimi są: utrata kontroli nad zagrożeniami lub nad własnym zachowaniem. W szczególności mogą to być: czynniki ludzkiej niesprawności, trudne i niebezpieczne zadania, społeczne wzorce postępowania, zaniedbania i łamanie przepisów.

Czynniki, które mogą powodować trwałą niesprawność do bezpiecznej pracy to: brak przeszkolenia, niedostateczna wiedza, brak wprawy i doświadczenia, niedostateczna motywacja do bezpiecznego postępowania, niedostateczna sprawność fizyczna. Czynniki powodujące czasową niesprawność do bezpiecznej pracy to: rutyna, choroba lub zły stan organizmu, stres, gniew, strach i zmęczenie. Elementy te mogą prowadzić do takich sytuacji jak: wypadek, niemal wypadek, awaria lub sytuacja bez następstw [5].

Badania sekwencji niebezpiecznych zdarzeń wykazują, że zastosowanie metod identyfikacji zagrożeń może służyć do konstrukcji skutecznych procedur bezpiecznego postępowania w procesie pracy. Przykładowy fragment przeprowadzonej analizy zagrożenia dla czynności obsługi instalacji gazowej metodą drzewa zdarzeń przedstawiono na rysunku 1.

Metoda drzewa zdarzeń pozwala wskazać zdarzenie inicjujące zagrożenie, skutki sekwencji zdarzeń oraz decyzje podejmowane przez operatora. W tym przypadku stopień zagrożenia zależy od zachowania się pracownika.



Rys. 1 Schemat fragmentu drzewa zdarzeń dla procedury bezpieczeństwa instalacji gazowej (zagrożenie wybuchem)

Źródło: opracowanie własne

PODSUMOWANIE

Metody drzewa zdarzeń oraz drzewa błędów wydają się najbardziej przejrzystymi metodami do identyfikacji zagrożeń w przypadku niebezpieczeństw łączących elementy techniczne z działaniem człowieka. Metoda drzewa zdarzeń pozwala prześledzić, jak pokazano na rysunku 1, całą sekwencję zdarzeń od zdarzenia inicjującego do skutków.

Prezentowana na przykładzie metoda drzewa zdarzeń może być stosowana do oceny ryzyka wystąpienia wybuchu lub zatrucia załogi gazami w przedsiębiorstwach przemysłowych takich jak: zakłady chemiczne, maszynowo-remontowe (głównie w

procesach spawania), zakłady górnicze, ciepłownicze oraz huty stali i metali kolorowych, gdzie zagrożenie gazami toksycznymi i wybuchowymi jest duże.

LITERATURA

1. K. Chmielewski. „Zasady stosowania stacjonarnych systemów detekcji gazów”, *Ochrona Mienia i Informacji*, nr 4, s.69-71, 2011.
2. J. Ignac-Nowicka. „Monitorowanie mieszanin gazowych dla bezpieczeństwa procesu produkcji acetylenu”. *Studia i materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą*, t. 40, s. 159-169, Bydgoszcz 2011.
3. J. Ignac-Nowicka. „Zastosowanie sensorów w inżynierii bezpieczeństwa dla rozwoju inteligentnej specjalizacji” w: *Bezpieczeństwo jako determinanta doskonalenia systemu zarządzania organizacjami*, Red. M. Górską, E. Staniewską, Wyd. Wydziału Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2016, s. 80-89.
4. PN-EN 1127-1:2001. *Atmosfery wybuchowe. Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem. Pojęcia podstawowe i metodologia*.
5. R. Studenski. *Organizacja bezpiecznej pracy w przedsiębiorstwie*. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 1996, s. 64-65.
6. A. Wójcik. *Mechaniczne i elektroniczne systemy zabezpieczeń. Literatura fachowa dla firm i instytucji*. Wyd. Verlag Dashofer, Warszawa 2004, s. 1020-1025.

Data przesłania artykułu do Redakcji: 04.2017

Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 05.2017

dr inż. Jolanta Ignac-Nowicka

Politechnika Śląska

Wydział Organizacji i Zarządzania

Instytut Inżynierii Produkcji

ul. Roosevelta 26, 41-800 Zabrze, Polska

tel.: +4832 277 73 72, e-mail: jolanta.ignac-nowicka@polsl.pl

ANALIZA CZYNNIKÓW WPŁYWAJĄCYCH NA ZAGROŻENIA GAZOWE W ZAKŁADZIE PRZEMYSŁOWYM

Streszczenie: *W artykule przedstawiono charakterystykę przemysłowych instalacji gazowych oraz zagrożeń związanych z ich eksploatacją. Przeanalizowano metody identyfikacji zagrożeń stosowane w procesach przemysłowych. Przedstawiono analizę zagrożenia wybuchem metodą drzewa zdarzeń z uwzględnieniem czynników wpływających na błędy pracownika (czynnik ludzki).*

Słowa kluczowe: *metody identyfikacji zagrożeń, instalacje gazowe, system sygnalizacji gazowej, czynnik ludzki*

ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING GAS HAZARDS IN INDUSTRIAL PLANTS

Abstract: *The article presents characteristics of industrial gas installations and hazards associated with their operation. The methods of hazard identification used in industrial processes have been analyzed. An explosion hazard analysis was performed using the event tree method, taking into account the factors influencing employee error (human factor).*

Key words: *hazard identification methods, gas installations, gas signaling system, human factor*