

A background image of an industrial facility, possibly a refinery or chemical plant, at night. The scene is illuminated by numerous bright lights, creating a high-contrast, yellowish glow. Several tall, cylindrical structures, likely distillation columns, are visible, some with lights at their tops. A complex network of pipes, walkways, and structural steel is visible throughout the facility. In the foreground, there is a dark, silhouetted fence or barrier. The overall atmosphere is industrial and somewhat ominous due to the night setting and the scale of the operations.

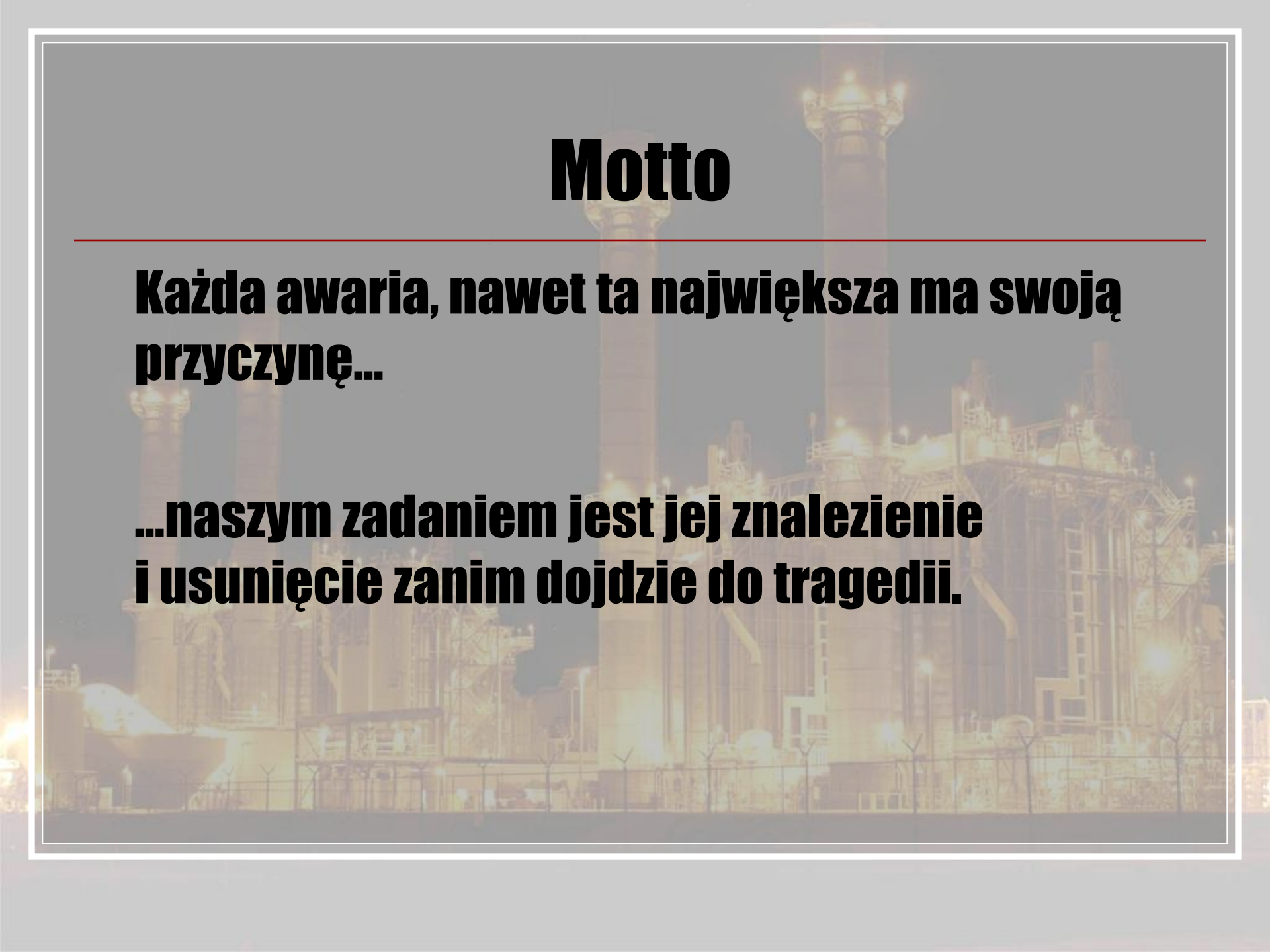
Atmosfery wybuchowe - potencjalna przyczyna poważnych awarii przemysłowych

st. kpt. mgr inż. Robert Żuczek

Motto

Każda awaria, nawet ta największa ma swoją przyczynę...

...naszym zadaniem jest jej znalezienie i usunięcie zanim dojdzie do tragedii.



Przykłady awarii wywołanych przez wybuch

Flixborough, 1 czerwca 1974 r. Wielka Brytania

Uwolnienie 80 t gorącego (155 °C) ciekłego cykloheksanu, znajdującego się pod ciśnieniem 8 barów.

Skutki: wybuch o sile równoważnej wybuchowi 30 t TNT (śmierć 28 pracowników zakładu, kilkaset osób rannych)

Asza-Ufa, okolice Czelabińska, b. ZSRR (Rosja) 1989 r.

Uwolnienie gazu ziemnego z rurociągu

Skutki: eksplozja nastąpiła w chwili, gdy dwa pociągi osobowe, przewożące około 1200 pasażerów mijały się w pobliżu rurociągu. Iskry kół przejeżdżających pociągów były źródłem zapłonu. Zginęło 645 osób.

Bazia paliw Buncefield, 11 grudnia 2005r. Wielka Brytania

Uwolnienie produktów ropopochodnych ze zbiornika magazynowego

Skutki: seria wybuchów i w konsekwencji ogromny pożar, który pochłonął 21 dużych naziemnych zbiorników magazynowych. W wyniku zdarzenia 43 osoby zostały ranne.

Przykłady awarii wywołanych przez wybuch







Poważne awarie w Polsce

Według ustawy Prawo Ochrony Środowiska **poważna awaria** to zdarzenie (w zakładzie), w szczególności emisja, pożar lub **eksplozja**, powstałe w trakcie:

- procesu przemysłowego,
- magazynowania lub
- transportu,

w których występuje jedna lub więcej **niebezpiecznych substancji**, prowadzące do natychmiastowego powstania **zagrożenia życia lub zdrowia ludzi lub środowiska** lub powstania takiego zagrożenia z opóźnieniem.

Awarie przemysłowe w Polsce

Na podstawie danych GIOŚ na dzień 31 grudnia 2008 r. Rejestr obejmował 1173 zakładów, w tym:

- **161 zakładów o dużym ryzyku,**
- **195 zakładów o zwiększonym ryzyku,**
- **817 pozostałych zakładów mogących spowodować poważne awarie.**

W 2008 r. organy Inspekcji Ochrony Środowiska przyjęły informacje o wystąpieniu 109 zdarzeń o znamionach poważnej awarii.

Awarie przemysłowe w Polsce

Liczba zdarzeń z uwzględnieniem klasyfikacji ADR przedstawiała się następująco:

- **klasa 2 (gazy)** - 29 zdarzeń, (28%)
- **klasa 3 (materiały ciekłe zapalne)** - 48 zdarzeń, (46%)
- **klasa 4.2 (materiały samozapalne)** - 2 zdarzenia, (2%)
- **klasa 6.1 (materiały trujące)** - 5 zdarzeń, (5%)
- **klasa 8 (materiały żrące)** - 16 zdarzeń, (15%)
- **klasa 9 (materiały niebezpieczne)** - 4 zdarzenia, (4%)
- **materiały poza klasyfikacją** - 5 zdarzeń.

Awarie przemysłowe w Polsce

- W dniu 15 lutego 2008 r. w Kutnie (województwo łódzkie) na terenie rozlewni gazu SAGA Gaz Sp. z o.o. doszło do wybuchu gazu i pożaru w trakcie prac remontowych przy autocysternie. Przyczyną wybuchu było niedostateczne wywietrzenie zbiornika przed rozpoczęciem prac remontowych.
- W dniu 16.04.2008 w Ustroniu (woj. Śląskie) doszło do wybuchu gazu na instalacji LPG. Z powodu rozszczelnienia zaworu bezpieczeństwa na zbiorniku magazynowym doszło do wycieku i zapłonu mieszaniny gazów propan i butan. Jedna osoba ranna.
- W dniu 3.07.2008 miała miejsce emisja propanu z jego zapłonem. Zdarzenie miało miejsce remontowanej instalacji olefin II w Płocku. Poparzeniu uległo 2 pracowników firmy zewnętrznej.
- W dniu 2.08.2008 w Bochni doszło do wybuchu wodoru. Z nieustalonych przyczyn doszło do emisji wodoru ze zbiornika dzwonowego gazometru (o poj. 300 m³) a następnie wybuchu substancji. Nie było osób poszkodowanych w związku ze zdarzeniem.
- W dniu 12 grudnia 2008 r. w Rudzie Śląskiej (woj. Śląskie) na terenie zakładu Technogaz, doszło do wybuchu acetylenu. W wyniku wybuchu dwie osoby poniosły śmierć, a jedna została ranna.

W 2008 r. odnotowano łącznie 10 zgłoszeń o poważnych awariach, spełniających kryteria określone w rozporządzeniu Ministra Środowiska. z dnia 30.12.2002 r. w sprawie poważnych awarii objętych obowiązkiem zgłoszenia do GIOŚ. (Dz. U. z dnia 17 stycznia 2003 Nr 5 poz. 58)

Awarie przemysłowe w Polsce

Na podstawie danych GIOŚ za I połowę 2009 r. Rejestr ten obejmował 1169 zakładów, w tym:

- **156 zakładów o dużym ryzyku,**
- **208 zakładów o zwiększonym ryzyku,**
- **805 pozostałych zakładów mogących spowodować poważne awarie.**

W I półroczu 2009 r. organy Inspekcji Ochrony Środowiska przyjęły informacje o wystąpieniu 63 zdarzeń o znamionach poważnej awarii.

Awarie przemysłowe w Polsce

Liczba zdarzeń z uwzględnieniem klasyfikacji ADR przedstawiała się następująco:

- **klasa 2 (gazy)** - 17 zdarzeń, (31%)
- **klasa 3 (materiały ciekłe zapalne)** - 24 zdarzeń, (45 %)
- **klasa 6.1. (materiały trujące)** - 4 zdarzenia, (7%)
- **klasa 8 (materiały żrące)** - 7 zdarzeń, (13%)
- **klasa 9 (materiały niebezpieczne)** - 2 zdarzenie, (4%)
- **materiały poza klasyfikacją** - 9 zdarzeń.

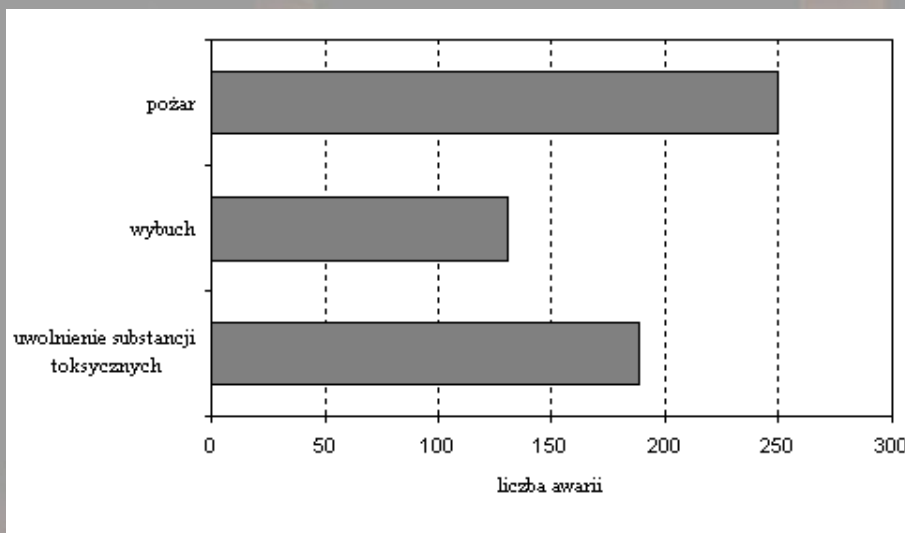
Awarie przemysłowe w Polsce

- W dniu 7 maja 2009 r. we Włocławku (województwo kujawsko-pomorskie) na terenie Zakładów Azotowych „Anwil” S.A. nastąpił zapłon wodoru. Zdarzenie nie spowodowało skutków dla ludzi.
- W dniu 24 marca 2009 r. w miejscowości Świdry (województwo warmińsko-mazurskie) miał miejsce wypadek drogowy autocysterny przewożącej skroploną mieszaninę propanu butanu. Doszło do wycieku skroplonych gazów, co spowodowało zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi.

W I połowie 2009 roku w ZDR i ZZR nie odnotowano zdarzeń, spełniających kryteria określone w rozporządzeniu Ministra Środowiska. z dnia 30.12.2002 r. w sprawie poważnych awarii objętych obowiązkiem zgłoszenia do GIOŚ.

Jakie zagrożenie stwarzają wybuchy?

Przyczyny poszczególnych rodzajów zdarzeń awaryjnych.



pożary stanowiły ok. 45 %
wybuchy – ok. 22 %
uwolnienia substancji toks – ok. 33 %.

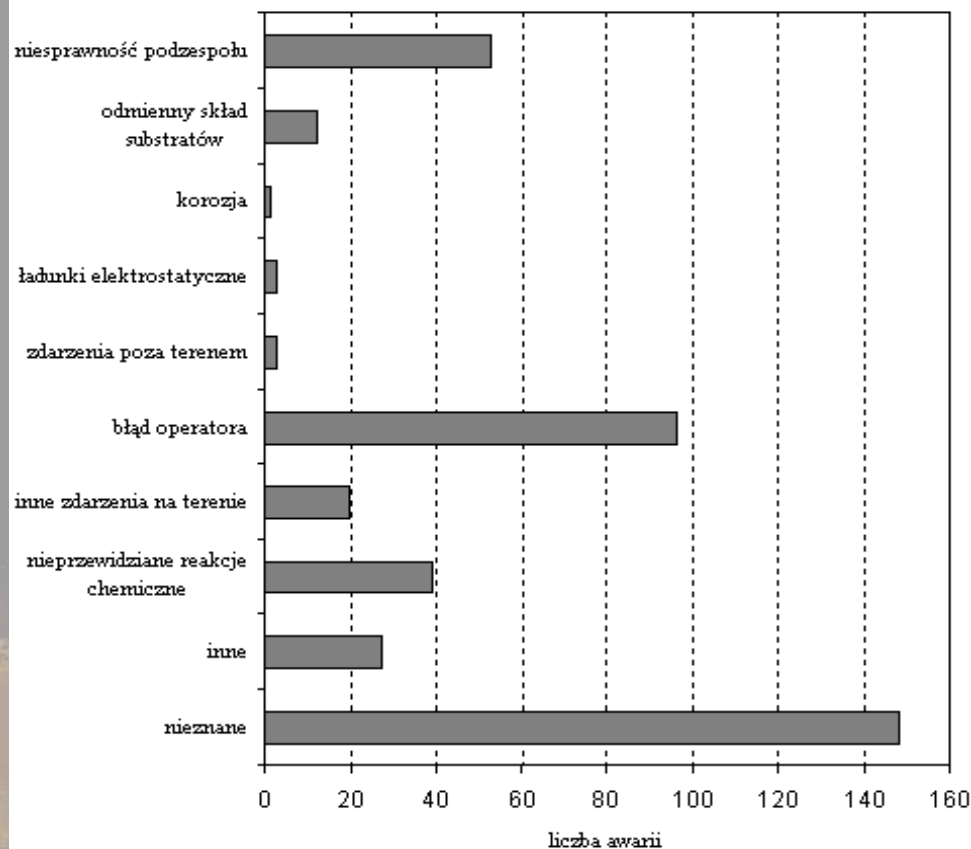
Analizie poddano dane o 550 awariach, które zawarto w bazach danych ARIA (Francja), FACTS (Holandia), MHIDAS (Wielka Brytania) oraz MARS i CDCIR (MAHB – UE)

Joint Research Centre - na zlecenie Komisji UE, w ramach działań koordynowanych przez MAHB (Major Accident Hazards Bureau)

Potencjalne skutki awarii (dane statystyczne)

- 15% awarii doprowadziło do zgonu co najmniej osoby, z czego 32 % wypadków śmiertelnych spowodowane było uwolnieniem substancji toksycznych,
- 55% awarii wymusiło ewakuację pracowników,
- 27% awarii wymusiło ewakuację ludności z otoczenia zakładów
- 13,5% awarii spowodowało uszkodzenie gleby i wód powierzchniowych

Rozkład wydarzeń inicjujących awarie



**dwie najważniejsze
przyczyny analizowanych
awarii to:**

„błąd operatora” – 15%

„awaria podzespołu” – 7%

**„nieznane” – 25%
(niedociągnięcia
organizacyjne i w
zarządzaniu)**

Ocena zagrożenia wybuchem dla gazów, cieczy, par i mgieł wykonywana zgodnie z:

- **Rozporządzenie MSWiA z w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. Nr 80 poz. 563) z 2006 r.**
- **PN-EN 60079-10:2003 Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem – Część 10. Klasyfikacja obszarów niebezpiecznych.**
- **PN-EN 1127-1:2009 Atmosfery wybuchowe. Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem. Pojęcia podstawowe i metodologia**

Ocena zagrożenia wybuchem obejmuje:

- **wskazanie pomieszczeń zagrożonych wybuchem (w których przyrost ciśnienia podczas wybuchu przekroczy 5 kPa)**
- **wyznaczenie w pomieszczeniach i przestrzeniach zewnętrznych, stref zagrożenia wybuchem**
Strefy 0,1,2: - gazy, pary cieczy palnych,
Strefy 20, 21, 22 – pyły, oraz ich zwymiarowanie
- **wskazanie czynników mogących zainicjować zapłon.**

Definicja:

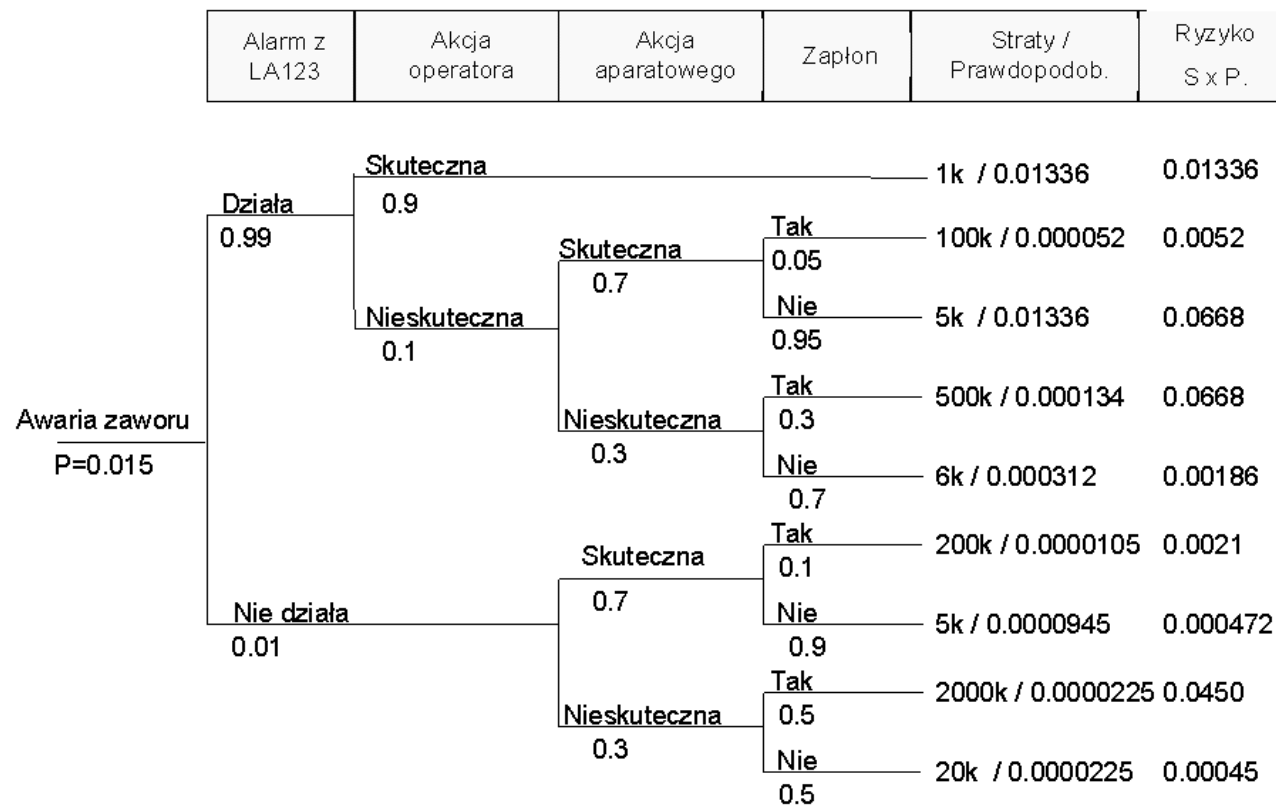
Ocena zagrożenia wybuchem odnosi się do normalnej pracy urządzeń i instalacji. Nie obejmuje ona sytuacji awaryjnych, czynności związanych z koniecznością rozhermetyzowania, takich jak konserwacje, naprawy, oraz remontów i wprowadzania zmian w technologii.

Identyfikacja zagrożeń

Identyfikacja zagrożeń poprzedza wszelkie inne prace związane z zarządzaniem bezpieczeństwem instalacji.

- ***Metody porównawcze*** wykorzystujące wiedzę z analiz bezpieczeństwa podobnych instalacji. Należą do nich metody indeksowe, listy kontrolne.
- ***Metody przeglądowe*** ułatwiające systematyczne przestudiowanie wszystkich potencjalnych, źródeł zagrożeń. Wśród tych metod najbardziej znana to HAZOP. Należą do nich także metody PHA, FMEA, What-If.
- ***Metody analityczne***, takie jak FTA, ETA, pozwalają zarówno na wykrycie źródeł zagrożeń, jak i na ocenę scenariuszy awaryjnych. Ze względu na wykorzystywanie precyzyjnych zależności logicznych zachodzących w analizowanych sytuacjach, pozwalają na numeryczne wyznaczanie wielkości ryzyka.

Drzewo zdarzeń - Event Tree Analysis (ETA)



Ocena zagrożeń

Ocena zagrożeń polega na określeniu prawdopodobieństwa wystąpienia i strat związanych z każdym ze zidentyfikowanych zagrożeń. Jest to najtrudniejsze zadanie przy określaniu ryzyka pracy instalacji. Wyróżnić można 3 typy metod szacowania ryzyka:

- ***Metody indeksowe*** np. DOW Index, MOND Index mają na celu syntetyczne określenie poziomu bezpieczeństwa całej instalacji. Każdy z branych pod uwagę czynników stwarzających zagrożenie, jest szacowany według zadanej skali punktowej.
- ***Metody jakościowe*** opierają się na jakościowym określeniu częstotliwości zdarzeń awaryjnych oraz na jakościowym określeniu ich zasięgu. Klasyczny przedstawicielem metod jakościowych jest *macierz ryzyka*.
- ***Metody ilościowe*** (QRA) polegają na obliczeniu ryzyka awarii na podstawie prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń elementarnych, takich jak pęknięcie korpusu pompy, awaria miernika poziomu, awaria zaworu, oraz na podstawie wielkości wynikających z takiego zdarzenia strat.

Analiza Warstw Zabezpieczeń LOPA (Layer of Protection Analysis)

W ostatnich latach daje się zauważyć tendencja do łączenia poszczególnych technik oceny ryzyka ze sobą. Ma to na celu łatwiejsze i precyzyjniejsze identyfikowanie i ocenianie zagrożeń.

Layer of protection analysis (LOPA) for determination of safety integrity level



NTNU

Norwegian University of
Science and Technology

Analiza Warstw Zabezpieczeń - LOPA (Layer of Protection Analysis)

Rodzaj zdarzenia inicjującego	Zakres częstości f_i [1/rok]	Wartość AWZ [1/rok]
Awaria zb. ciśnieniowego pęknięcie	10^{-5} do 10^{-7}	1×10^{-6}
Pęknięcie rurociągu na długości 100 m	10^{-5} do 10^{-6}	1×10^{-5}
Przeciek rurociągu	10^{-3} do 10^{-4}	1×10^{-3}
Uszkodzenie zbiornika	10^{-3} do 10^{-4}	1×10^{-3}
Wydmuchanie uszczelki	10^{-2} do 10^{-6}	1×10^{-2}
Udział osób trzecich	10^{-2} do 10^{-4}	1×10^{-2}
Duży zewnętrzny pożar	10^{-2} do 10^{-3}	1×10^{-2}
Błąd człowieka	10^{-1} do 10^{-3}	1×10^{-2}
Awaria uszczelnienia pompy	10^{-1} do 10^{-2}	1×10^{-1}
Uszkodzenie węża	1 do 10^{-2}	1×10^{-1}
Awaria układu automatyki	1 do 10^{-2}	1×10^{-1}
Awaria regulatora (dowolny)	1 do 10^{-1}	1×10^{-1}
Mały zewnętrzny pożar	10^{-1} do 10^{-2}	1×10^{-1}

Analiza Warstw Zabezpieczeń - LOPA (Layer of Protection Analysis)

Rodzaj zabezpieczenia - niezależna warstwa zabezpieczeń (NWZ) Aktywne systemy bezpieczeństwa	Przedział P_{NWZ} - prawdopodobieństwo niezadziałania	Wartość P_{NWZ} do AWZ
Reakcja operatora	1×10^{-1} do 1×10^{-3}	1×10^{-1}
Automatyka kontrolno – pomiarowa	1×10^{-1} do 1×10^{-2}	1×10^{-1}
Zawory bezpieczeństwa	1×10^{-1} do 1×10^{-5}	1×10^{-2}
Kanały dekompresyjne	1×10^{-1} do 1×10^{-5}	1×10^{-2}
Bezpieczniki ogniowe, obwałowanie, odporność na działanie ognia	1×10^{-1} do 1×10^{-5}	1×10^{-2}
Automatyka zabezpieczająca (blokady, samoczynne wyłączniki, układy detekcji ognia i gazu, alarmy krytyczne, systemy blokowania)		
Układ SIL1 - pewność zabezpieczenia (poj. czujnik, procesor i elem. wyk.	1×10^{-1} do 1×10^{-2}	1×10^{-1}
Układ SIL 2 -wielokrt. czujnik, wielkanał. procesor i wiel. el. wykon.(z tzw. tolerancją błędu)	1×10^{-2} do 1×10^{-3}	1×10^{-2}
Układ SIL 3.- wielokrt. czujnik, wielkanał. procesor i wielkr. el. wykon (bez tolerancji błędu)	1×10^{-3} do 1×10^{-4}	1×10^{-3}

Analiza Warstw Zabezpieczeń - LOPA (Layer of Protection Analysis)

Rodzaj zabezpieczenia - niezależna warstwa zabezpieczeń (NWZ) Pasywne systemy bezpieczeństwa	Przedział P_{NWZ} · prawdopodobieństwo niezadziałania	Wartość P_{NWZ} · do AWZ
Taca/wanna betonowa	1×10^{-2} do 1×10^{-3}	1×10^{-2}
Podziemny system drenażowy/kanalizacyjny/oczyszczalnia ścieków	1×10^{-2} do 1×10^{-3}	1×10^{-2}
Otwarty upust do atmosfery/zawór bezpieczeństwa	1×10^{-2} do 1×10^{-3}	1×10^{-2}
Odporność pożarowa stali, budynków	1×10^{-2} do 1×10^{-3}	1×10^{-2}
Ściany oddzieleni ppoż.	1×10^{-2} do 1×10^{-3}	1×10^{-2}
Wprowadzenie zasad bezpieczeństwa naturalnego	1×10^{-1} do 1×10^{-6}	1×10^{-2}
Wyprowadzenia antydetonacyjne	1×10^{-1} do 1×10^{-3}	1×10^{-2}

Analiza Warstw Zabezpieczeń - LOPA (Layer of Protection Analysis)

Przykład

Przykład



Matryca ryzyka

KATEGORIE PRAWDOPODOBIENSTWA	KATEGORIE SKUTKÓW				
	1 POMIJALNE	2 MAŁE	3 ŚREDNIE	4 DUŻE	5 KATASTROF.
$10^0 - 10^{-1}$ – bardzo często	TNA	TNA	NA	NA	NA
$10^{-1} - 10^{-2}$ – często	TA	TNA	TNA	NA	NA
$10^{-2} - 10^{-3}$ – możliwe	TA	TA	TNA	TNA	NA
$10^{-3} - 10^{-4}$ – sporadyczne	A	TA	TA	TNA	TNA
$10^{-4} - 10^{-5}$ – rzadkie	A	A	TA	TA	TNA
$10^{-5} - 10^{-6}$ – bardzo rzadkie	A	A	A	TA	TA
$10^{-6} - 10^{-7}$ – prawie niemożliwe	A	A	A	A	TA

Część graficzna - Rysunki

Należy dążyć do zobrazowania potencjalnego zagrożenia (rodzaju i zasięgu stref). Ma to na celu m.in:

- przedstawienie skali zagrożenia już na etapie projektowania,
- ułatwienie w doborze sprzętu Ex
- przedstawienie skali zagrożenia właścicielowi instalacji,
- wizualizację a przez to zrozumienie problematyki użytkownikowi instalacji oraz pracownikom firm zewnętrznych,
- łatwiejszą kontrolę przed pojawieniem się niepożądanych źródeł zapłonu.

Literatura anglojęzyczna

- **Area Classification Code for installations handling flammable fluids – part 15**
- **Classification for hazardous locations**
- **Hazardous Area classification of Natural Gas Instalation**
- **Recomended Practice for Classification of Location for Electrical Installations at Petroleum Facilities – American Petroleum Institute.**

Materiały źródłowe

- www.csb.gov
- www.tworzywa.com.pl
- www.gios.gov.pl
- www.buncefieldinvestigation.gov.uk
- CCPS (2001). *Layer of protection analysis - simplified process risk assessment*. American Institute of Chemical Engineers (AIChE), Centre for Chemical Process Safety (CCPS). 3 Park Avenue, New York
- Layer of protection analysis (LOPA) for determination of safety integrity level- NTNU – 2008
- Ryzyko awarii przemysłowych – jak rozpoznać i oceniać ryzyko? – Witold Głodek MPCo Polska S.C. Warszawa - BMP Chemia Przemysłowa nr 4-2002
- Zapobieganie Stratom w Przemysle – Część III Zarządzanie bezpieczeństwem procesowym – A.Markowski PŁ.2000.

Dziękuję za uwagę

Pytania???

