

LOPA

ANALIZA WARSTW ZABEZPIECZEŃ



**MGR INŻ.
JACEK ŻACZYŃSKI**

Kierownik Działu Technicznego
Oddział w Szczecinie
Urząd Dozoru Technicznego



**MGR INŻ.
DAMIAN FIEDOROWICZ**

Kierownik Działu
Oceny Zgodności
Oddział w Szczecinie
Urząd Dozoru Technicznego

To już nasze prawie ostatnie spotkanie z analizą LOPA. Dziękujemy wszystkim, którzy razem z nami zgłębili tajniki tej powszechnie stosowanej półilościowej metody analizy i oceny ryzyka.

Przypomnijmy etapy naszej przygody z tą metodyką.

- W pierwszej części (Inspektor nr 1/2024) przybliżyliśmy historię powstania oraz metodologię analizy.
- W części drugiej (Inspektor nr 2/2024) przedstawiliśmy szczegółową procedurę przeprowadzania analizy LOPA.
- W trzeciej części (Inspektor 3-4/2024) omówiliśmy wymagania dotyczące Niezależnych Warstw Zabezpieczeń (IPL – ang. *Independent Protection Layers*).
- Czwartą część poświęcimy na wskazanie najczęściej popełnianych błędów podczas tej analizy.
- W części piątej, ostatniej, prześledzimy wszystkie etapy analizy LOPA na konkretnym przykładzie. Poszukamy też odpowiedzi na pytanie: „Czy zakład jest gotowy na zastosowanie analizy LOPA?”.

Pomimo że metoda LOPA ma już 25 lat, a na jej temat opublikowano wiele książek i artykułów, nadal zdarza się wiele nieporozumień i nadużyć w jej stosowaniu. Sprawdza się tu, stare powiedzenie, że metoda i jej wyniki są tak dobre, jak osoby ją stosujące. W oparciu o wiele wyników analiz, prezentujemy naszym zdaniem najczęściej występujące błędy. W końcu istnieje ziarno prawdy w stwierdzeniu, że lepiej uczyć się na błędach innych, niż popełniać je samemu.



Mamy nadzieję, że nasz artykuł pomoże Tobie i Twojej organizacji uniknąć niektórych z błędów najczęściej popełnianych podczas przeprowadzania analiz LOPA. Na potrzeby tego artykułu sklasyfikowaliśmy błędy występujące w analizach LOPA według etapów procedury.

I. OKREŚLENIE KATEGORII SKUTKÓW

Na tym etapie występujące błędy dotyczą niedoszacowania albo przeszacowania potencjalnych skutków rozpatrywanego scenariusza awaryjnego.

- **Zdarza się, że zespół bez ugruntowanej wiedzy w ocenie potencjalnych skutków sam dokonuje ich określenia, zakładając bardzo pesymistyczny scenariusz.**

Przykładem takiego podejścia podczas określania skutków związanych z przekroczeniem ciśnienia obliczeniowego reaktora jest założenie jego katastrofalnego rozerwania bez względu na wartość ciśnienia. Takie podejście, zarówno z inżynierskiego punktu widzenia, jak i w kontekście algorytmu obliczeniowego oraz przepisów dotyczących stosowanych zabezpieczeń, jest nieracjonalne. Należy zauważyć, że prawidłowe zadziałanie zaworu bezpieczeństwa dopuszcza wzrost ciśnienia w zbiorniku do 110% PS (ciśnienia obliczeniowego). Natomiast w przypadku zaworów bezpieczeństwa dobranych na scenariusz pożaru bardzo często przyjmuje się wartość 121% PS jako dopuszczalny chwilowy wzrost ciśnienia w zbiorniku. Przy takich przekroczeniach definiowanie skutków jako katastrofalne rozerwanie zbiornika jest zbyt pesymistyczne.

Orientacyjne wartości nadciśnienia oraz ich potencjalne konsekwencje dla zbiornika ciśnieniowego ujęte są w tabeli 1. Jeżeli zbiornik nie był odpowiednio kontrolowany i konserwowany, a jego stan techniczny jest nieznan, wówczas nie powinniśmy stosować poniższych założeń. Tabela **NIE MOŻE STANOWIĆ PODSTAWY** do rezygnacji z odpowiednich zabezpieczeń na wypadek przekroczenia ciśnienia obliczeniowego.

Tabela 1. Potencjalne konsekwencje vs. nadciśnienie w zbiorniku ciśnieniowym [1]

Przyrost ciśnienia (% powyżej MAWP*)	Znaczenie	Potencjalne skutki przyrostu nadciśnienia
10%	Dopuszczalny przyrost ciśnienia w zbiorniku w przypadku pojedynczego zaworu bezpieczeństwa	Nie przewiduje się żadnych poważnych skutków przy tej wartości nadciśnienia.
16%	Dopuszczalny przyrost ciśnienia w zbiorniku w sytuacji zastosowania kilku zaworów bezpieczeństwa	Nie przewiduje się żadnych poważnych skutków przy tej wartości nadciśnienia.
21%	Dopuszczalny przyrost ciśnienia w zbiorniku dla scenariusza pożaru	Nie przewiduje się żadnych poważnych skutków przy tej wartości nadciśnienia.
>21% do 30%	Typowa wartość nadciśnienia stosowana przy hydrostatycznej próbie ciśnieniowej	Wzrasta prawdopodobieństwo wystąpienia nieszczelności na połączeniach kolanowo-śrubowych.
>30%	Przekroczenie dopuszczalnych naprężeń (minimalna granica plastyczności, a tym samym ostateczna wytrzymałość zbiornika różnią się w zależności od rodzaju i gatunku materiału).	Katastrofalna awaria staje się coraz bardziej prawdopodobna. Ponieważ ten poziom nadciśnienia wykracza poza dopuszczalne wartości, konieczna będzie analiza uzupełniająca, aby ocenić skalę konsekwencji nadciśnienia.

*MAWP - maksymalne dopuszczalne ciśnienie robocze (ang. Maximum Allowed Working Pressure)



Przykład dotyczy zbiorników wykonanych ze stali węglowej zgodnie z przepisami ASME (BPVC), Section VIII, Division 1 (2013) [2]. W przypadku innych przepisów projektowych oraz innych materiałów konsekwencje w stosunku do procentowej akumulacji ciśnienia mogą być poważniejsze [3].

- **Przeciwieństwem zbyt pesymistycznego podejścia jest zbyt optymizm.**

Zdarzają się sytuacje, w których skutki, a co za tym idzie – ryzyko, zostały niedoszacowane z powodu założenia, że konsekwencje będą mniej dotkliwe, niż w rzeczywistości mogłyby być.



Ilustrującym to przykładem jest incydent z 2005 r. w Buncefield w Wielkiej Brytanii, gdzie przepełnienie jednego ze zbiorników benzyny spowodowało serię eksplozji, które wywołały ogromny pożar obejmujący 20 dużych zbiorników magazynowych. Był to największy pożar w Wielkiej Brytanii od czasu II wojny światowej. Pożar trwał 5 dni. Nikt nie zginął, ale 43 osoby odniosły lekkie obrażenia. Do zdarzenia doszło wcześniej rano w niedzielę. Gdyby jednak doszło do niego w normalny dzień pracy, liczba ofiar śmiertelnych mogłaby być znaczna. Straty finansowe wyniosły około 1 miliarda funtów (1,5 miliarda dolarów).

Większość zespołów przeprowadzających LOPA przy określaniu skutków dla scenariusza przepełnienia zbiornika magazynowego benzyny założyłoby, że benzyna będzie spływać po bokach zbiornika i gromadzić się w postaci cieczy w tacy zbiornika, co rzeczywiście miało miejsce.

? Jakie możliwe skutki końcowe należałoby uwzględnić, biorąc pod uwagę, że obszar w obrębie tacy zbiornika jest przestrzenią otwartą?

Byłby to najprawdopodobniej pożar powierzchniowy, skutki poważne, ale nie byłyby katastrofalne. Niewielu analityków przewidziałoby tak masowe eksplozje, ponieważ panowało powszechne przekonanie, że benzyna nie wybuchła łatwo. Konsekwencje, a tym samym ryzyko, zostałyby zatem niedoszacowane, a IPL, które obecnie uważamy za konieczne, uznano by za przesadę.

II. OKREŚLENIE CZĘSTOŚCI WYSTĄPIENIA SCENARIUSZA AWARYJNEGO (SPODZIEWANYCH SKUTKÓW W ANALIZOWANYM SCENARIUSZU)

Obliczanie częstotliwości wystąpienia skutków w analizowanym scenariuszu awaryjnym zależy przede wszystkim od danych dotyczących częstotliwości wystąpienia zdarzenia inicjującego (przyczyny) oraz PFD zidentyfikowanych zabezpieczeń IPL.

Równanie obliczenia częstotliwości zdarzenia awaryjnego:

$$f_i^c = IEF_i * PFD_{i1} * PFD_{i2} * \dots * PFD_{ij} \quad (\text{równanie 1})$$

gdzie:

f_i^c = częstotliwość konsekwencji występujących w scenariuszu awaryjnym „i”,

IEF_i = częstotliwość zdarzenia inicjującego IE scenariusza awaryjnego „i”,

PFD_{ij} = prawdopodobieństwo niezadziałania na żądanie niezależnej warstwy zabezpieczeń IPL „j” w scenariuszu awaryjnym „i”.

Należy jednakże zwrócić uwagę, że na wynik końcowy bardzo duży wpływ ma prawidłowe zastosowanie modyfikatorów, tj. zdarzeń umożliwiających oraz modyfikatorów warunkowych. Szeroki opis stosowania modyfikatorów można znaleźć w drugiej części artykułu („Inspektor” nr 2/2024). Nieprawidłowe użycie tych elementów w skrajnych przypadkach prowadzi do znaczącego niedoszacowania ryzyka, a co za tym idzie, obniża bezpieczeństwo.

TYPOWE PRZYKŁADY BŁĘDNEGO ZASTOSOWANIA MODYFIKATORÓW


1. Niewłaściwe określenie prawdopodobieństwa obecności człowieka w strefie narażenia

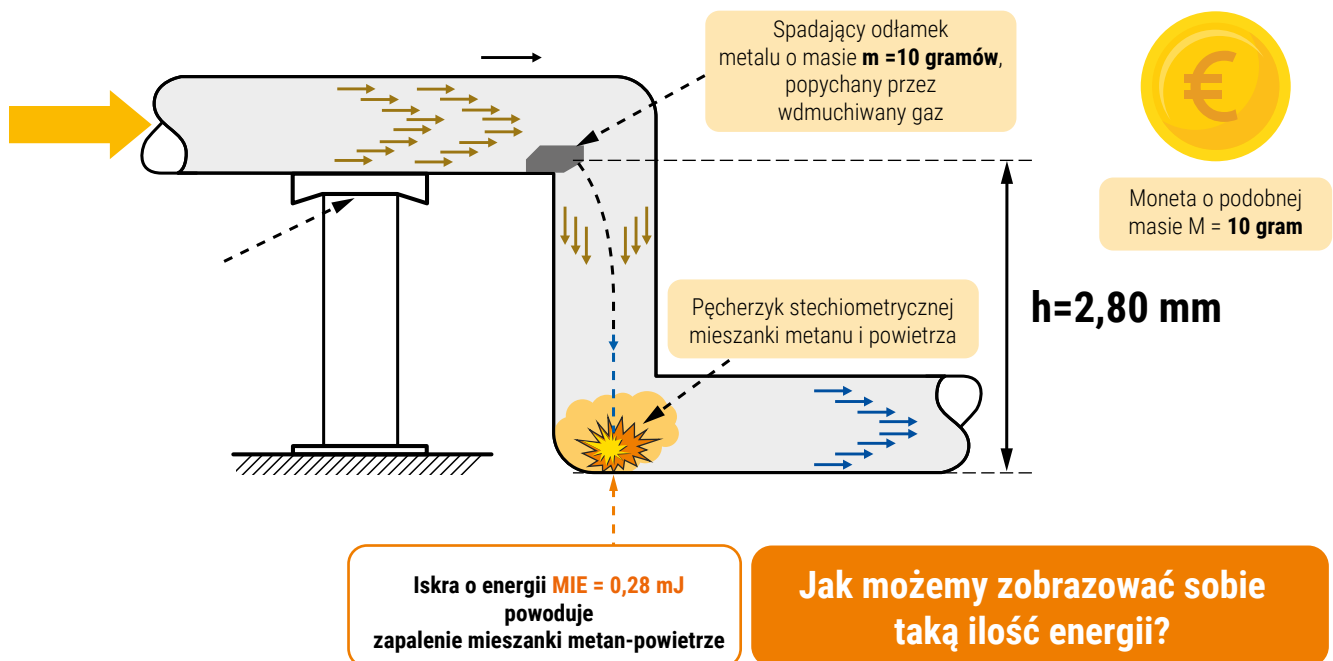
Najczęstszym błędem jest zastosowanie modyfikatora warunkowego braku obecności człowieka i równocześnie wskazanie jako zabezpieczenia IPL odpowiedzi operatora na alarm lub przyczyny związanej z obecnością człowieka (np. błąd operatora: zamknięcie zaworu).

2. Niewłaściwe określenie prawdopodobieństwa wystąpienia zapłonu

Jest to jeden z częściej występujących błędów. Niewłaściwe określenie tego modyfikatora wynika głównie z braku wiedzy w tym zakresie oraz dostępu do specjalistów podczas analizy LOPA. Prawdopodobieństwo zapłonu zależy od powstania atmosfery wybuchowej (paliwo + tlen w granicach między dolną a górną granicą wybuchowości DGW-GGW) oraz obecności źródła zapłonu. W przypadku wycieku węglowodorów, np. propanu czy butanu, istnieje duże prawdopodobieństwo powstania atmosfery wybuchowej. Energia potrzebna do zainicjowania zapłonu jest wyjątkowo niska, co sprawia, że wiele osób nieświadomie nadużywa stosowania tego modyfikatora. Wartości minimalnych energii zapłonu dla poszczególnych węglowodorów określone są w tabeli 2.

Tabela 2. Wybrane wartości węglowodorów, m.in. temperatura zapłonu, samozapłonu, dolna i górna granica zapłonu, minimalna energia zapłonu [4]

 MIE MINIMALNA ENERGIA ZAPŁONU						
MIESZANKI W POWIETRZU						
GAZY		Temperatura zapłonu [°C]	AIT [°C]	LFL [%V/V]	UFL [%V/V]	MIE [mJ]
Acetylen	C ₂ H ₂		305°C	2.50	81	0.020 mJ
Wodór	H ₂		400°C	4	75	0.018 mJ
Metan	CH ₄	-222.50	537°C	5	15	0.280 mJ
Butan	C ₄ H ₁₀	-60.00	287°C	1.80	8.40	0.260 mJ
Etan	C ₂ H ₆	-130.00	472°C	3	12.40	0.240 mJ
Heksan	C ₆ H ₁₄	-23.00	487°C	1.20	7.40	0.248 mJ
Pentan	C ₅ H ₁₂	-40.00	579°C	1.50	7.80	0.220 mJ
Propan	C ₃ H ₈	-104.40	450°C	2.20	9.50	0.250 mJ



$m = \text{masa} = 0,01 \text{ kg}$; $W = \text{ciężar okrusza metalu} = m \cdot g = (0,01 \cdot 9,81) \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 \approx 0,1 \text{ N [Newton]}$;
 $\text{Praca} = \text{Iskra} = \text{Ciepło} = \text{MIE} = 0,28 \text{ mJ (miliJoule} = \text{N} \cdot \text{m} \cdot 10^{-3})$;
 $h = \text{wysokość}$; $\text{MIE} = W \cdot h \rightarrow h = \text{MIE}/W = 0,28/0,1 = 2,8 \text{ mm}$

Moneta o masie **10 gramów** generuje iskrę o energii 0,28 mJ spadając z wysokości 2,8 milimetra.

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY Z ZASTOSOWANIEM NIEWŁAŚCIWYCH MODYFIKATORÓW



Napełnianie zbiornika V-1 gazem płynnym LPG sterowane jest przez układ regulacyjny przepływu. Następnie, przy pomocy pomp P1A-B, LPG jest przesyłany do dalszej części instalacji. Podczas analizy zagrożeń zespół zidentyfikował zagrożenie związane z brakiem dopływu LPG do pomp P1A-B, co może prowadzić do ich uszkodzenia w wyniku suchobiegu. W rezultacie może dojść do uszkodzenia uszczelnień pompy, wycieku LPG, powstania atmosfery palno-wybuchowej oraz wybuchu typu BLEVE (ang. Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion), który może skutkować jedną ofiarą śmiertelną. Przyczyną powstania scenariusza awaryjnego jest awaria układu regulacji przepływu FIC-1 skutkująca zamknięciem zaworu na zasilaniu zbiornika.

Podczas analizy LOPA jako zabezpieczenie wskazano działania operatora w odpowiedzi na alarm spowodowany niskim poziomem w zbiorniku V-1. W ramach działania musi on albo wyłączyć pompy P1A-B, albo otworzyć zawór na obejściu (*by-pass*) układu regulacji FIC-1. Obie operacje odbywają się z poziomu lokalnego na instalacji.

(a)				(b)			
Arkusz LOPA				Arkusz LOPA			
Proces: Zbiornik LPG V-1		Data: 30.01.2025		Proces: Zbiornik LPG V-1		Data: 30.01.2025	
Źródło scenariusza: HAZOP				Źródło scenariusza: HAZOP			
Zespół analityczny: Zespół LOPA				Zespół analityczny: Zespół LOPA			
Nr scenariusza: 2	Opis scenariusza: Awaria układu regulacji FIC-1, zamknięcie zaworu FV-1, brak napływu LPG do zbiornika V-1, spadek poziomu w zbiorniku, brak napływu na pompy P1A-B, uszkodzenie uszczelnienia pompy, wyciek LPG, powstanie atmosfery pożarowo-wybuchowej, wybuch typu BLEVE	Identyfikacja urządzenia: R-1		Nr scenariusza: 2	Opis scenariusza: Awaria układu regulacji FIC-1, zamknięcie zaworu FV-1, brak napływu LPG do zbiornika V-1, spadek poziomu w zbiorniku, brak napływu na pompy P1A-B, uszkodzenie uszczelnienia pompy, wyciek LPG, powstanie atmosfery pożarowo-wybuchowej, wybuch typu BLEVE	Identyfikacja urządzenia: R-1	
Element	Opis	Prawdopodobieństwo	Częstotliwość	Element	Opis	Prawdopodobieństwo	Częstotliwość
Skutki	Pojedyncza ofiara śmiertelna			Skutki	Pojedyncza ofiara śmiertelna		
Zdarzenie inicjujące	Awaria układu regulacji FIC-1		1.0×10^{-1}	Zdarzenie inicjujące	Awaria układu regulacji FIC-1		1.0×10^{-1}
Zdarzenie lub warunki umożliwiający		n/a		Zdarzenie lub warunki umożliwiający		n/a	
Zdarzenia warunkowe (jeżeli występują)				Zdarzenia warunkowe (jeżeli występują)			
	Prawdopodobieństwo zapłonu	0,5			Prawdopodobieństwo zapłonu	0,1	
	Prawdopodobieństwo obecności człowieka	1			Prawdopodobieństwo obecności człowieka	0,1	
	Prawdopodobieństwo śmierci	1			Prawdopodobieństwo śmierci	0,5	
	Inne	n/a			Inne	n/a	
Całkowita częstotliwość wystąpienia skutków (bez IPL)			5.0×10^{-2}	Całkowita częstotliwość wystąpienia skutków (bez IPL)			5.0×10^{-4}
Niezależne warstwy zabezpieczeń IPL	Alarm niskiego poziomu - działanie operatora	1.0×10^{-1}		Niezależne warstwy zabezpieczeń IPL	Alarm niskiego poziomu - działanie operatora	1.0×10^{-1}	
Zabezpieczenia (nie-IPL)	Awaryjne zawory zrzutowe			Zabezpieczenia (nie-IPL)	Awaryjne zawory zrzutowe		
	System awaryjnego chłodzenia				System awaryjnego chłodzenia		
	short-stop				short-stop		
Całkowite PFD dla wszystkich IPLs		1.0×10^{-1}		Całkowite PFD dla wszystkich IPLs		1.0×10^{-1}	
Zredukowana częstotliwość wystąpienia skutków (z IPL)			5.0×10^{-2}	Zredukowana częstotliwość wystąpienia skutków (z IPL)			5.0×10^{-5}
Kryteria akceptacji ryzyka:		$< 1.0 \times 10^{-4}$		Kryteria akceptacji ryzyka:		$< 1.0 \times 10^{-4}$	
Wymagana redukcja ryzyka:		2.0×10^{-2}		Wymagana redukcja ryzyka:		n/a	
Dodatkowe wymagania: Wprowadzić dodatkowe zabezpieczenia IPL z PFD $> 2.0 \times 10^{-2}$				Dodatkowe wymagania: Brak, osiągnięto kryteria akceptacji			
Uwagi:				Uwagi:			

Rys. 2. Dwa przykłady arkuszy LOPA (na podstawie [6]) z prawidłowym (a) i z błędnym (b) zastosowaniem modyfikatorów warunkowych

Jak widać w arkuszu (rys. 2 a) prawidłowo zastosowane modyfikatory warunkowe wymagają zastosowania dodatkowych zabezpieczeń. Modyfikatory uwzględniają:

- prawdopodobieństwo obecności człowieka „1” – bo człowiek tam będzie, gdy alarm się aktywuje”,
- prawdopodobieństwo zapłonu i wybuchu „0,5”, bo w obrębie instalacji istnieją potencjalne źródła zapłonu,

a wielkość uwolnienia nie jest ograniczona i zależy tylko od działania operatora.

Natomiast błędne zastosowanie modyfikatorów warunkowych (rys. 2 b) sugeruje, że nie ma potrzeby stosowania dodatkowych zabezpieczeń, co rażąco obniża bezpieczeństwo.

Przypomnieć należy, że CCPS w książce *Layer of Protection Analysis: Simplified Process Risk Assessment* [6] sugeruje stosowanie konserwatywnych wartości prawdopodobieństwa zapłonu w przypadku braku bardziej szczegółowych lub dokładnych modeli zapłonu (wartości prawdopodobieństwa zapłonu wg. CCPS – tabela 3).

Tabela 3. Prawdopodobieństwo zapłonu wg CCPS

TYP SCENARIUSZA AWARYJNEGO	PZAPŁONU
W wyniku kolizji (np. upadek żurawia na zbiornik)	1,0
Duża emisja w sąsiedztwie urządzeń stwarzających zagrożenie pożaru	1,0
Emisja w obrębie instalacji procesowej	0,5
Emisja w obrębie zdalnie eksploatowanej instalacji procesowej (np. farma zbiorników)	0,1

Jeszcze bardziej konserwatywne wartości sugeruje UK Health and Safety Executive w dokumencie „Canvey: A Second Report”, Her Majesty's Stationery Office, London, UK, 1981.

Tabela 4. Prawdopodobieństwo zapłonu wg HSE

ŹRÓDŁO ZAPŁONU	PZAPŁONU
Brak (brak łatwo rozpoznawalnych źródeł zapłonu)	0,1
Bardzo mało (emisja w odległym obszarze)	0,2
Kilka (emisja w pobliżu obiektów drogowych/kolejowych)	0,5
Wiele (emisja w pobliżu zakładu lub w wyniku pobliskiego pożaru lub eksplozji)	0,9

Zapamiętaj!

Metodologia LOPA w przypadku używania „modyfikatorów warunkowych” wymaga dokumentowania ich wartości ze wskazaniem dokumentów odniesienia i/lub obliczeń prawdopodobieństwa, co pomaga w audytowalności. Dokumentacja ta zapewni również podstawę do udowodnienia i/lub utrzymania wymaganej niezawodności i skuteczności uznanych środków redukcji ryzyka w przypadku jakichkolwiek zmian.

Nie należy używać „modyfikatorów warunkowych” w przypadku, gdy firma nie posiada odpowiednich procedur opisujących ich stosowanie lub gdy istnieją jakiegokolwiek wątpliwości co do zasadności ich stosowania. Na analityku bezpieczeństwa spoczywa odpowiedzialność prawidłowego ich zastosowania oraz udokumentowania.

III. IDENTYFIKACJA NIEZALEŻNYCH WARSTW ZABEZPIEZAJĄCYCH (IPL)

Najczęstsze błędy w LOPA obejmują nieprzestrzeganie podstawowych zasad, w tym m.in. naruszenie samej definicji i zasad dotyczących tego, czym jest niezależna warstwa zabezpieczeń, w tym niespełnienia „siedmiu wymagań podstawowych”.

PAMIĘTAJ

Przypomnijmy, że IPL, czyli Niezależna Warstwa Zabezpieczeń, to urządzenie, system lub działanie, które ma na celu zapobieganie rozprzestrzenianiu się scenariusza awaryjnego do katastrofalnych skutków lub ich ograniczenie.

IPL musi spełniać siedem kluczowych wymagań, tzw. *core attributes*.

Każda IPL jest zabezpieczeniem, ale nie każde zabezpieczenie będzie IPL.

NAJCZĘŚCIEJ SPOTYKANE BŁĘDY

1. Wskazywanie „Procedur” jako zabezpieczeń IPL

Procedura nie wypełnia definicji IPL. Procedura to nic więcej niż słowa zapisane na kartkach papieru, które nie mogą zapobiec wypadkowi. Co innego, jeżeli wraz z procedurą wskażemy działanie operatora. W niektórych przypadkach działanie operatora w zgodzie z procedurą można uznać za IPL. Należy wtedy sprawdzić, czy takie zabezpieczenie spełnia również siedem wymagań podstawowych.

2. Wskazywanie czynności konserwacyjnych jako zabezpieczeń IPL

Prowadzenie konserwacji nie wypełnia definicji IPL. Są to działania niezbędne do zapewnienia poprawnej i bezpiecznej pracy elementów instalacji. Dlatego mogą być uwzględniane do określania prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia inicjującego, tj. przyczyny powstania scenariusza awaryjnego. Same w sobie nie zapobiegają wypadkowi i dlatego nie kwalifikują się jako zabezpieczenia.

3. Uznawanie zabezpieczeń jako IPL bez potwierdzenia ich „niezależności”

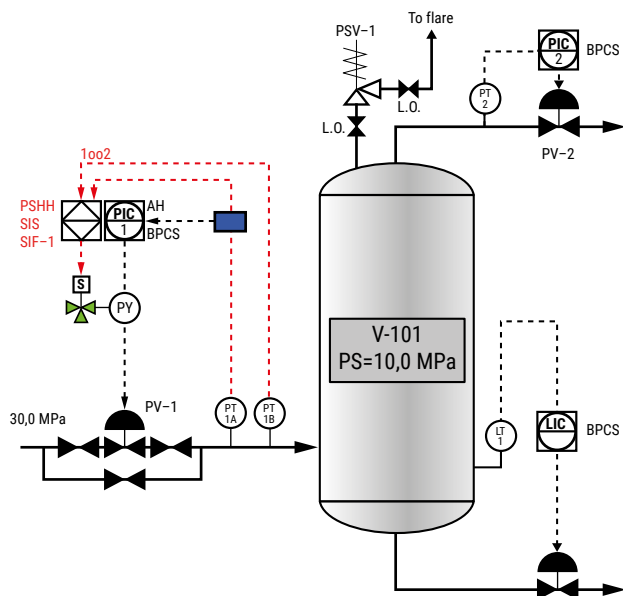
Temat podstawowych wymagań *core attributes* opisany został w poprzedniej części artykułu, dlatego tutaj skupimy się tylko na wskazywaniu przykładów błędnego użycia zabezpieczeń IPL.

PRZYPADKI Z RÓŻNYMI RODZAJAMI IPL

Poniżej przedstawiamy dwa przypadki (a, b) scenariusza awaryjnego.

Przypadek pierwszy

a) Przyczyną wzrostu ciśnienia w zbiorniku V-101 (rys. 3) jest awaria układu podstawowego systemu sterowania procesem BPCS (ang. Basic Process Control System). Awaria powoduje pełne otwarcie zaworu PV-1. W tej sytuacji funkcja bezpieczeństwa SIF-1 (ang. safety instrumented function) nie może być IPL ze względu na brak niezależności pomiędzy przyczyną a zabezpieczeniem tj. zaworem PV-1, który jest elementem wspólnym. Poniżej przedstawiamy dwa przypadki scenariusza awaryjnego:



Rys. 3. Schemat technologiczny zbiornika V-101

Przypadek drugi



b) Scenariusz awaryjny zakłada, że przyczyną np. wzrostu ciśnienia do wartości skutkujących katastrofalnym rozerwaniem reaktora jest błąd operatora. W takim przypadku wskazywanie działania **tego samego operatora** w odpowiedzi na alarm wysokiego ciśnienia jako zabezpieczenie IPL jest błędem, gdyż nie mamy tutaj zapewnionej niezależności pomiędzy przyczyną a zabezpieczeniem.

4. Uznawanie zabezpieczeń jako IPL bez potwierdzenia ich „funkcjonalności, nienaruszalności oraz niezawodności”

Bardzo częstym błędem popełnianym w analizach LOPA jest kwalifikowanie zabezpieczeń jako IPL bez potwierdzenia ich skuteczności, tj. funkcjonalności, nienaruszalności oraz niezawodności.

a) Przykładem takiego zabezpieczenia może być zawór bezpieczeństwa.

Aby móc uznać go za IPL, należy m.in. sprawdzić:

- scenariusz, na jaki zawór został dobrany (np. awaria układu regulacji, pożar itp.),
- poprawność zabudowy na urządzeniu,
- prowadzenie konserwacji i kontroli działania zgodnie z odpowiednią procedurą,
- istnienie procedury oraz nadzoru nad zaworami odcinającymi na dolocie i wylocie z zaworu bezpieczeństwa (w przypadku stosowania takich zaworów).

b) W przypadku wskazania działania operatora jako IPL należy potwierdzić, że:

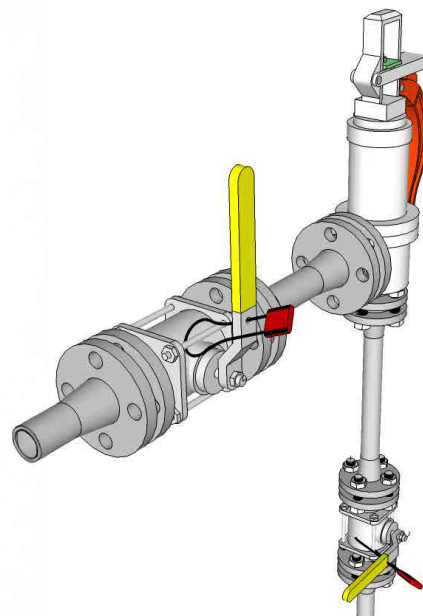
- istnieją pisemne procedury definiujące działanie operatora oraz dokumenty potwierdzające, że operator je zna,
- operator jest zawsze obecny w miejscu, gdzie alarm jest aktywowany,
- operator jest w stanie zidentyfikować problem na podstawie alarmu,
- operator ma wystarczająco dużo czasu na podjęcie skutecznego działania,
- operator został przeszkolony i dokładnie wie, jakie działanie ma wykonać na wypadek konkretnego alarmu,
- operator regularnie uczestniczy w szkoleniach w tym zakresie.



Bez potwierdzenia wszystkich powyższych wymagań działanie operatora nie może być wskazane jako zabezpieczenie IPL. Jest to jeden z najczęściej występujących błędów w analizach LOPA.

c) Równie często popełnianym błędem jest przypisywanie wartości PFD zabezpieczeń zakwalifikowanych jako IPL bez uwzględnienia wszystkich elementów wchodzących w skład zabezpieczenia. Przykładem tego typu błędu jest zbyt „wąska” ocena zabezpieczenia jako IPL.

Na przykładzie poniżej wyznaczenie PFD tylko dla zaworów bezpieczeństwa nie oddaje rzeczywistej niezawodności zabezpieczenia. Przy ocenie takiego rozwiązania, PFD należy wyznaczyć uwzględniając możliwość popełnienia błędu przez operatora polegającego na błędnym ustawieniu pozycji zaworów odcinających.



Rys. 4. System car seal na zaworach odcinających w obrębie PSV [7]

W podręczniku CCPS „Initiating Events and Independent Protection Layers in LOPA” [1] autorzy metody proponują przyjmować jako PFD takiego zabezpieczenia wartość 0,1, chyba że zakład wdrożył i stosuje procedury nadzoru nad zaworami odcinającymi.

Tabela 5. Sugerowana wartość PFD dla sprężynowego zaworu bezpieczeństwa [1]

Opis zabezpieczenia IPL
Sprężynowy zawór bezpieczeństwa
Sugerowana wartość PFD do stosowania w LOPA
<p>0,01 DLA AWARII ZWIĄZANEJ Z NIEPEŁNYM OTWARCIEM PRZY WARTOŚCI 100% CIŚNIENIA NASTAWY</p> <p>Jeżeli zastosowane są zawory odcinające na rurociągach do lotowych i wyrzutowych zaworów bezpieczeństwa, sugeruje się obniżenie wartości PFD do wartości 0,1. W przypadku występowania systemu LOTO (LO/LC) tj. zarządzania zaworami odcinającymi zapewniającym ich prawidłową pozycję na dołocie i wylocie z zaworów bezpieczeństwa wartość PFD może wynosić 0,01.</p>

IV. PRZEPROWADZENIE ANALIZY LOPA

Przykład przeprowadzenia analizy LOPA opiszemy w ostatniej części cyklu. Weźmiemy pod uwagę zbiornik separator V-101 zamontowany w kopalni gazu ziemnego wykorzystywany do separacji płynu złożowego od gazu ziemnego. Będzie to swoisty udział czytelników w dialogu podczas analizy między ekspertem prowadzącym a zespołem LOPA. Jako podsumowanie posłuży nam udzielenie odpowiedzi na pytanie, czy Wasza organizacja w sposób właściwy podchodzi do kwestii zarządzania ryzykiem, a zatem czy jest gotowa na zastosowanie analizy LOPA.

Literatura:

1. CCPS. (2014). Guidelines for Initiating Events and Independent Protection Layers in Layer of Protection Analysis. New York: AIChE.
2. ASME (BPVC.VIII.1) – BPVC (Boiler and Pressure Vessel Code) Section VIII-Rules for Construction of Pressure Vessels Division 1
3. CCPS. (2007). Guidelines for Safe and Reliable Instrumented Protective Systems. New York: AIChE.
4. Roberto Fernandez Blanco, Three Tools to Visualize and Prevent Boilers and Furnaces Firebox Explosions, Process Safety Progress (Vol.36, No.3) September 2017
5. Bridges W.G., & Dowell, A. M. III. (2016). „Identify SIF and Specify Necessary SIL, and Other IPLs, as Part of PHA/HAZOP – or – Why It Is Not Necessary to „Boldly Go Beyond HAZOP and LOPA“. Process Safety Progress, Vol. 35, No. 4, December 2016, pp. 349–359.
6. CCPS. (2001). Layer of Protection Analysis: Simplified Process Risk Assessment. New York: AIChE.
7. What does Car Seal Open, Car Seal Closed mean? <https://total-lockout.blogspot.com/2012/11/what-does-car-seal-open-car-seal-closed.html> [dostęp: 03.2025]
8. Dowell A. M. III. (2011). „Is It Really an Independent Protection Layer?“ Process Safety Progress, Vol. 30, No. 2, June 2011, pp. 126–131.
9. J. Żaczyński, D. Fiedorowicz, LOPA: Analiza warstw zabezpieczeń, magazyn UDT „Inspektor – Technika i bezpieczeństwo” numery 1/2024, 2/2024, 3–4/2024: <https://www.udt.gov.pl/inspektor-on-line>
10. Summers, A. (2014). „Safety Controls, Alarms, and Interlocks as IPLs.” Process Safety Progress, Vol. 33, No. 2, June 2014, pp. 186–194.

