Wymagania ogólne do przeprowadzania analizy LOPA

Opracował:

Starszy Specjalista
Dział Bezpieczeństwa Procesowego
Maciej Gawlik
Maciej Gawlik

Akceptował:

Tomasz Borkowski
Kierownik
Dział Bezpieczeństwa Procesowego

Zatwierdził:

Dyrektor Wykonawczy
ds. Bezpieczeństwa Procesowego,
Pożarowego i Higieny Pracy
Dariusz Loska

Płock, maj 2026 r.

1. Cel dokumentu

Celem niniejszych wytycznych jest określenie zasad, zakresu, wymagań organizacyjnych oraz metodologii przeprowadzania analizy Layer of Protection Analysis (LOPA), metoda pozwalająca na ocenę skuteczności stosowanych systemów bezpieczeństwa i ochrony w kontekście występujących zagrożeń. Dokument ma zapewnić jednolite, inżynierskie podejście do analizy scenariuszy i oceny akceptowalności ryzyka.

2. Zastosowanie

Wytyczne dotyczą ORLEN S.A., jak również firm wykonujących analizy na rzecz ORLEN S.A.

3. Okres ważności i przegląd wytycznych

Niniejsze wytyczne podlegają przeglądowi co 2 lata lub częściej w przypadku zmian wymagań prawnych, organizacyjnych lub technicznych. Dokument obowiązuje od dnia 01.06.2026 r. Dokument ten zastępuje standard ST P2 T1 w zakresie analizy LOPA/AWZ (pkt. 7.2.3.).

4. Definicje i skróty

LOPA (Layer of Protection Analysis) - Półilościowa metoda analizy ryzyka służąca do oceny, czy istniejące i planowane warstwy ochrony zapewniają akceptowalny poziom ryzyka dla określonego scenariusza zagrożenia.

HAZOP (Hazard and Operability Study) - Jakościowa metoda identyfikacji zagrożeń i problemów operacyjnych; podstawowe źródło scenariuszy analizowanych w LOPA.

IPL (Independent Protection Layer) - Niezależna warstwa ochrony zapobiegająca zdarzeniu lub ograniczająca jego skutki, spełniająca kryteria skuteczności, niezależności i weryfikowalności.

RZA (Reprezentowalne Zdarzenia Awaryjne) - Wybrane, wiarygodne scenariusze awaryjne o istotnych skutkach, analizowane w LOPA i dokumentach SEVESO.

RRF (Risk Reduction Factor) - Współczynnik redukcji ryzyka przypisany warstwie ochrony; liczbowo określa skuteczność IPL.

SIF (Safety Instrumented Function) - Instrumentowana funkcja bezpieczeństwa realizująca wymaganą redukcję ryzyka.

SIL (Safety Integrity Level) - Poziom nienaruszalności bezpieczeństwa (SIL 1–4) określający wymaganą niezawodność funkcji SIF.

SIS (Safety Instrumented System) - System realizujący jedną lub więcej funkcji bezpieczeństwa (SIF).

PFDavg (Average Probability of Failure on Demand) - Średnie prawdopodobieństwo niewykonania funkcji bezpieczeństwa na żądanie; kluczowy parametr w analizie SIL.

ALARP (As Low As Reasonably Practicable) - Zasada redukcji ryzyka do poziomu tak niskiego, jak racjonalnie możliwe i uzasadnione.

SEVESO - Dyrektywa UE dotycząca zapobiegania poważnym awariom przemysłowym z udziałem substancji niebezpiecznych.

5. Zakres stosowania LOPA

LOPA może być stosowana na różnych etapach cyklu życia instalacji przemysłowej:

3.1. Faza projektowa

- Po analizach oceniających identyfikujących zagrożenie takich jak: HAZOP lub What-If,
- w procesie doboru zabezpieczeń technicznych,
- przy podejmowaniu decyzji o potrzebie SIF i wymaganym SIL.

3.2. Faza modernizacji lub zarządzania zmianą (MOC)

- przy ocenie wpływu zmian technologicznych,
- przy usuwaniu, modyfikacji lub konsolidacji zabezpieczeń,
- przy zmianie parametrów pracy lub surowców.

3.3. Faza eksploatacji

- w przypadku zdarzeń potencjalnie wypadkowych,
- przy przeglądzie adekwatności istniejących IPL,
- jako wsparcie dla decyzji inwestycyjnych w bezpieczeństwo.

6. Dokumentacja wejściowa wymagana do wykonania analizy LOPA

- Dokumentacja identyfikacji zagrożeń (obowiązkowa) - Analiza HAZOP / What-If / FMEA, Lista ZA/RZA;
- Dokumentacja techniczna instalacji:
    - Dokumentacja procesowa (PFD, P&ID, opisy procesu technologicznego, dane projektowe i eksploatacyjne (T, P, przepływy, poziomy)),
    - Charakterystyki substancji niebezpiecznych (karty charakterystyki (SDS), właściwości fizykochemiczne, klasyfikacja SEVESO (ilości progowe, kategoria zagrożenia).
- Dokumentacja dotycząca warstw ochrony (IPL):

    - Wykaz istniejących i planowanych IPL - dla każdej warstwy ochrony: opis funkcji, zakres działania, warunki aktywacji.
    - Dowody spełnienia kryteriów IPL (niezależność, skuteczność, możliwość weryfikacji).
- Dane do oceny częstotliwości i niezawodności:
    - Dane zdarzeń inicjujących (dane historyczne zakładowe, dane literaturowe (CCPS, OREDA, IE), dane korporacyjne).
    - Dane niezawodności IPL (PFDavg (jeśli dostępne), przyjęte współczynniki redukcji ryzyka (RRF), częstotliwości błędów ludzkich (jeśli stosowane)).
- Kryteria akceptowalności ryzyka - Polityka i kryteria ryzyka (kryteria ALARP, matryca ryzyka zakładowa lub korporacyjna, cele bezpieczeństwa (HSE / PSM));

7. Organizacja i odpowiedzialności

7.1. Odpowiedzialność za inicjację analizy

- dla projektów inwestycyjnych – Kierownik Projektu,
- dla aktywów istniejących – kierujący komórką organizacyjną.

7.2. Lider LOPA

Lider musi:

- posiadać szkolenie w zakresie analiz LOPA (moderacja, ocena IPL, dokumentowanie),
- mieć doświadczenie w instalacjach o profilu zbliżonym do analizowanej,
- zostać zatwierdzony przez Obszar Bezpieczeństwa Procesowego.

Możliwy jest lider zewnętrzny, jeśli brak kompetencji wewnętrznych.

7.3. Zespół analityczny

Minimalny skład:

- Lider,
- przedstawiciel Obszaru Bezpieczeństwa Procesowego,
- przedstawiciel inwestycji (jeśli dotyczy projektów inwestycyjnych),
- przedstawiciel przyszłego użytkownika (jeśli dotyczy).,
- Służba Utrzymania Ruchu (jeśli dotyczy).

Minimalna liczba uczestników (poza liderem i sekretarzem): 2 osoby.

8. Metodologia wykonania LOPA

8.1. Wymagania ogólne

Analiza zagrożeń może być rozpoczęta po zebraniu wymaganych dokumentów i danych niezbędnych do przeprowadzenia analizy i umożliwiających przeprowadzenie analizy w sposób efektywny i skuteczny w zaplanowanym adekwatnie do jej zakresu czasie. W przypadku niezapewnienia materiałów w porozumieniu z interesariuszami danej analizy, może być podjęta decyzja o przełożeniu terminu jej przeprowadzenia lub wydłużeniu czasu trwania niż wstępnie planowany.

Analiza zagrożeń powinna być przeprowadzona przez zespół w którym każdy posiada potwierdzone kompetencje w zakresie metodologii (np. certyfikaty, szkolenia z LOPA, HAZOP, SIL). Skład zespołu, role oraz zakres odpowiedzialności należy udokumentować w raporcie końcowym zgodnie z wymaganiami IEC 61511 oraz aktualnymi wytycznymi CCPS.

Wszystkie dane wejściowe, założenia, źródła danych oraz wersje dokumentów muszą być archiwizowane w sposób umożliwiający pełną ścieżkę audytu i walidacji.

Podstawowym językiem prowadzenia analizy zagrożeń jest język polski. W przypadku prowadzenia analizy w języku obcym należy zapewnić obecność tłumacza posługującego się językiem technicznym stosowanym w danej branży.

8.2. Algorytm postępowania w trakcie analizy LOPA

Algorytm postępowania w analizie LOPA dotyczy zidentyfikowanych dla danej instalacji zdarzenia awaryjnego (w tym reprezentatywnych zdarzeń awaryjnych (RZA)) obejmuje następujące kroki:

1. Analiza wystąpienia zdarzenia awaryjnego bez zabezpieczeń,
2. Analiza wystąpienia zdarzenia awaryjnego z zabezpieczeniami,
3. Ocena ryzyka,
4. Analiza wyników.

Wyniki analizy zapisuje się w arkuszu roboczym LOPA (Tabela nr 1).

1) Analiza wystąpienia zdarzenia awaryjnego bez zabezpieczeń

Podstawowymi działaniami w trakcie dokonywania analizy zaistnienia zdarzenia awaryjnego (ZA) bez zabezpieczeń są:

1. Identyfikacja zdarzenia awaryjnego, czyli uwolnienia substancji niebezpiecznej,

2. Wybór pierwszego ZA i oszacowanie potencjalnych skutków (S0), analizowanego zdarzenia ZA, przy wykorzystaniu ustalonych kategorii skutków przedstawionych w Tabeli 2,

3. Określenie poziomu dopuszczalnego ryzyka, czyli prawdopodobieństwa wystąpienia takiego zdarzenia na podstawie Matrycy ryzyka procesowego (Rysunek 1),

4. Identyfikacja zdarzenia inicjującego i określenie prawdopodobieństwa jego wystąpienia (fi) [1/rok.] - na podstawie Tabeli 3 i 4.

5. Oszacowanie prawdopodobieństwa wystąpienia tzw. zdarzeń warunkowych (PW) i prawdopodobieństwa zdarzeń umożliwiających (PU) powstanie określonych skutków bez uwzględnienia zabezpieczeń.

Obliczenie częstości wystąpienia skutków bez zabezpieczeń (F_{BZ}) za pomocą wzoru:

$$F_{BZ} = f_i \times \prod_{1}^{n} (P_W \times P_U)[1/rok]$$

gdzie:
F_{BZ} – częstości wystąpienia skutków bez zabezpieczeń,
P_W – prawdopodobieństwo zdarzeń warunkujących (np. obecność substancji niebezpiecznej),
P_U – prawdopodobieństwo zdarzeń umożliwiających wystąpienie negatywnych skutków (np. wystąpienie źródła zapłonu).

2) Analiza wystąpienia ZA z zabezpieczeniami

Podstawowymi działaniami w trakcie dokonywania analizy zaistnienia zdarzenia awaryjnego (ZA) z zabezpieczeniami są:

1. Identyfikacja niezależnych warstw zabezpieczeń (IPL) i oszacowanie dla każdej z nich prawdopodobieństwa ich niezadziałania na żądanie (P_{IPL}) na podstawie podanych Tabel 5.

2. Określenie innych warstw zabezpieczeń (IWZ) - bez uwzględnienia ilościowego.

3. Obliczenie sumarycznej wartości prawdopodobieństwa niezadziałania warstw zabezpieczeń (P_S).

$$P_S = (\prod_{i}^{n} P_n)$$

4. Obliczenie częstości występowania skutków z zabezpieczeniami tj. poziomu ryzyka z zabezpieczeniami (R_{ZZ})

$$F_{ZZ} = P_S \times F_{BZ} \text{ [1/rok] dla skutków } S_0$$

gdzie:
F_{ZZ} - częstość występowania skutków z zabezpieczeniami
P_S.- prawdopodobieństwo niezadziałania warstw zabezpieczeń
F_{BZ} - częstość wystąpienia skutków bez zabezpieczeń

3) Ocena ryzyka

W trakcie przeprowadzania oceny ryzyka metodą LOPA dokonywane jest wyznaczenie ogólnego poziomu ryzyka z Matrycy Ryzyka Procesowego.

Biorąc pod uwagę kategorie skutków (S_0) (według Tabeli 1) oraz obliczoną wartość częstości występowania skutków z zabezpieczeniami (F_{ZZ}) następuje wyznaczenie poziomu ryzyka (R_{ZZ}) według Matrycy Ryzyka Procesowego.

4) Ustalenie listy dodatkowych zabezpieczeń i możliwości realizacyjnych

Dla tych zagrożeń, dla których poziom ryzyka został oceniony na poziomie TNA i NA należy bezwzględnie ustalić propozycję dodatkowych zabezpieczeń technicznych i organizacyjnych oraz dokonać ustaleń możliwości realizacyjnych. Można ustalać dodatkowe zalecenia także dla zagrożeń o poziomie ryzyka TA i A mając na względzie np. dobrą praktykę inżynierską w przemyśle rafineryjno-petrochemicznym.

Oczekuje się, że wprowadzenie dodatkowych zabezpieczeń pozwoli na zmniejszenie poziomu ryzyka z TNA lub NA do TA lub A.

Uzyskane wyniki analizy LOPA pozwolą na stwierdzenie, że:

- Jeśli $R(ZA)_{ZZ} \leq R(ZA)_{A-TA}$ to uznaje się, że ryzyko poważnej awarii jest dopuszczalne i niewymagane są żadne dodatkowe zabezpieczenia tolerowane.
- Jeśli $R(ZA)_{ZZ} \geq R(ZA)_{A-TA}$ to uznaje się, że ryzyko poważnej awarii związanej ze zdarzeniem ZA jest nieakceptowane.

gdzie:

- $R(ZA)_{ZZ}$ – Ryzyko wystąpienia Zdarzenia Awaryjnego przy zastosowanych zabezpieczeniach.
- $R(ZA)_{A-TA}$ – Ryzyko akceptowalne lub tolerowane akceptowalne wystąpienia Zdarzenia Awaryjnego.

W przypadku stwierdzenia, że poziom ryzyka jest nieakceptowany wówczas należy:

1. Wprowadzić dodatkową warstwę zabezpieczeń,
2. Ulepszyć stosowane warstwy zabezpieczeń (zmniejszyć prawdopodobieństwo ich niezadziałania na żądanie P_{IPL}),
3. Wykonać bardziej szczegółową analizę poprzez zastosowanie techniki drzew błędu oraz ilościowej analizy ryzyka,
4. Oszacować wpływ proponowanych zabezpieczeń na poziom ryzyka wg tej samej procedury postępowania.

Kolejnym krokiem jest zastosowanie kryteriów eliminacji zdarzeń dla opracowania skróconej listy zdarzeń awaryjnych (ZA).

9. Raport LOPA

Raport końcowy powinien zawierać:

1. Stronę tytułową.
2. Wykaz skrótów i definicji.
3. Cel i zakres analizy.
4. Opis projektu lub obiektu.
5. Metodologię.
6. Listę zidentyfikowanych scenariuszy i źródło np.: HAZOP, .
7. Wyniki analizy w formie arkuszy.
8. Wnioski dotyczące poziomu ryzyka,
9. Wnioski dotyczące listy dodatkowych warstw zabezpieczeń technicznych i organizacyjnych,
10. Wykaz członków zespołu.
11. Dokumenty wejściowe.
12. Załączniki (schematy, SDS, itp.).

UWAGA

W przypadku analiz zagrożeń sporządzonych przez firmy zewnętrzne raport z analiz powinien zostać opracowany w języku polskim i języku kontraktowym w zgodzie z zapisami umowy

9.1. Ścieżka zatwierdzania

1. Lider – przygotowuje raport i akceptuje merytorycznie.
2. Uczestnicy – mogą zgłosić uwagi.
3. Obszar Bezpieczeństwa Procesowego – zatwierdza jako dokument końcowy.

Archiwizacja odbywa się w repozytorium: **ARCHEO**.

10. Materiały potrzebne do wykonania analizy LOPA

Tabela 1. Arkusz roboczy LOPA (wzór)

Wydział: Instalacja:	Proces: Aparat/urządzenie:	Rodzaj zdarzenia: Nazwa zdarzenia:	
Data analizy: Substancja: Kategoria zagrożeń:	Opis scenariusza zdarzenia awaryjnego:		
Karta charakterystyk :	ZZR [ton]:	ZDR [ton]:	
Stopień uwolnienia, U_{kol}:	Ocena kategorii skutków, S_0:	Ocena ryzyka wg. matrycy ryzyka	
Obszar:		PFD	Częstość [1/rok]
Zdarzenie inicjujące IE, (F_i) (tabela 3-4)			
Zdarzenie warunkujące, (P_W) (tabela 3-4)			
Zdarzenia umożliwiające powstanie skutków wymienionych w scenariuszu, (P_U)	Prawdopodobieństwo zapłonu opóźnionego (tabela 8)		
	Prawdopodobieństwo kierunku wiatru		
	Prawdopodobieństwo pobytu w strefie		
	Prawdopodobieństwo śmierci		
Zdarzenia zewnętrzne	Efekty domina		
Częstość wystąpienia skutków bez zabezpieczeń	$F_{BZ} = f_i \times P_W \times \Pi P_U$		=
Niezależne warstwy zabezpieczeń (IPL), $P_{IPL;}$ (tabela 5)			
Warstwa I (Projektowe oraz pasywne środku)			
Przykłady: Odpowiednia wytrzymałość rurociągów i zbiorników; Materiały odporne na temperaturę / korozję.			
Warstwa II (Podstawowy System Sterowania Procesem (BPCS))			
Przykłady: Regulacja poziomu, ciśnienia, temperatury; Automatyczne ograniczenie przepływu; Pętle sterowania.			
Warstwa III (Krytyczne Alarmy i Odpowiedź Operatora)			
Przykłady: Alarm HH + ręczne zamknięcie zaworu.			
Warstwa IV (Automatyczne Systemy Wyłączania)			
Przykład: SIF; ESD.			
Warstwa V (Zabezpieczenia mechaniczne – Zapobiegawcze)			
Przykład: Zawory PSV; Awaryjne odpowietrzenie.			
Warstwa VI (Zabezpieczenia mechaniczne – Ograniczające skutki)			
Przykład: Wały ochronne, Ściany przeciwwybuchowe.			
Warstwa VII (Reagowanie awaryjne)			**Zmiana Kategorii Skutków**

Działania Zakładowej Straży Pożarnej w ciągu 5 do 10 min. (od -1 do -2)			
Brak działań ZSPoż. i działania Państwowej Straży Pożarnej w ciągu 30 min. (od -1 do 1)			
		Wartość **S** po korekcie	
Końcowe prawdopodobieństwo PS dla wszystkich IPL	$P_S = \Pi P_{(IPL)}$		
Częstość występowania skutków z zabezpieczeniami	$F_{ZZ} = P_S \times F_{BZ}$		
Określenie ryzyka	$R_{ZZ}(S) = f(F_{ZZ})$	Ocena kategorii ryzyka (A, TA, TNA, NA)	
Dodatkowe zabezpieczenia niezbędne do osiągnięcia poziomu ryzyka co najmniej TA			
Wpływ dodatkowych zabezpieczeń:	na FZZ:	na wielkość skutków S0:	na poziom ryzyka, RZZD:
Referencje, odsyłacze:			
Zespół analizujący:			

Rys. 1. Matryca ryzyka procesowego

Kategoria skutków (S) / Częstość skutków 1/rok (P)		oznaczenie numeryczne	pomijalne	małe	średnie	duże	katastrofa
			1	2	3	4	5
bardzo częste	$<10^{0} – 10^{-1})$	1	TA	TNA	NA	NA	NA
częste	$<10^{-1} – 10^{-2})$	2	TA	TNA	TNA	NA	NA
możliwe	$<10^{-2} – 10^{-3})$	3	TA	TA	TNA	TNA	NA
sporadyczne	$<10^{-3} – 10^{-4})$	4	A	TA	TA	TNA	TNA
rzadkie	$<10^{-4} – 10^{-5})$	5	A	A	TA	TA	TNA
bardzo rzadkie	$<10^{-5} – 10^{-6})$	6	A	A	A	TA	TA
prawie niemożliwe	$<10^{-6} – 10^{-7}>$	7	A	A	A	A	A

gdzie:

A Ryzyko akceptowane (teoretycznie niewymagane są żadne dodatkowe środki bezpieczeństwa, jednakże mogą zostać wskazane do realizacji)

TA Ryzyko tolerowane – akceptowane (zasada ALARP – z ang. As Low As Resonably Possible – tj. tak nisko jak to możliwe w ramach środków zaangażowanych do usunięcia; dokonać przeglądu alternatyw)

TNA Ryzyko tolerowane nieakceptowane (wprowadzić dodatkowe środki bezpieczeństwa w terminie ustalonym odrębnie)

NA Ryzyko nieakceptowane (natychmiastowo przerwać proces)

Tabela 2. Kategorie skutków

Skutki	Pracownicy	Ludność	Środowisko	Majątek	Reputacja
pomijalne	Brak urazów	Brak urazów	Brak wpływu	Do 10 000 €	Bez wpływu
małe	Pojedyncze drobne urazy. *(Nie wywierające wpływu na wykonywanie pracy czy powodujące niezdolność do pracy)*	Odór, hałas *(Nie wymagana ewakuacja ludności ani pierwsza pomoc medyczna)*	Małe odnotowane w raportach. *(Lekkie zniszczenie środowiska w obrębie instalacji)*	Do 100 000 €	Lekki wpływ *(Zachwiane zaufani - możliwe do szybkiego odzyskania małym kosztem Może istnieć świadomość publiczna)*
średnie	Średnie urazy, pojedyncze ciężkie urazy *(Ograniczenie wykonywania obowiązków służbowych lub kilkudniowa absencja dla pełnego wyzdrowienia; małe, odwracalne skutki zdrowotne np.: podrażnienie skóry, zatrucie pokarmowe)*	Małe urazy *(Nie wymagana ewakuacja, wymagana pierwsza pomoc przedmedyczna)*	Średnie zniszczenia *(Wyraźnie zniszczenie lub emisja do środowiska, ale brak trwałego skutku; pojedynczy przypadek naruszenia ograniczenia ustawowego bądź pojedyncza skarga)*	Do 1.000 000 €	Ograniczony wpływ *(Naruszone zaufanie - możliwe do odzyskania w dłuższym czasie ze wsparciem PR.. Niesprzyjająca uwaga mediów lokalnych/ grup politycznych)*
duże	Liczne ciężkie urazy *(Nieodwracalne skutki zdrowotne z poważną niezdolnością do pracy np.: oparzenia środkami żrącymi, utrata słuchu wywołana hałasem detonacją, udar cieplny)*	Średnie urazy *(Ograniczone skutki zdrowotne dla ludzi nie wymagana ewakuacja, wymagana pomoc medyczna dla pojedynczych przypadków)*	Poważne zniszczenia *(Spółka musi podjąć obszerne działania odbudowy szkód środowiskowych; rozmiar szkód narusza ograniczenia ustawowe)*	Do 10 000 000 €	Krajowy wpływ *(Znaczny spadek zaufania — zaufanie możliwe do odzyskanie w dłuższym czasie, ale dużym kosztem. Rozległa, niesprzyjająca uwaga mediów krajowych)*
katastroficzne	Ofiary śmiertelne *(Pojedynczy lub zbiorowy wypadek śmiertelny)*	Ciężkie urazy *(Nieodwracalne skutki zdrowotne, wymagana ewakuacja i pomoc medyczna dla dużej liczby ludzi)*	Katastrofa ekologiczna *(Trwałe, poważne zniszczenie środowiska skutkujące dużymi konsekwencjami finansowymi dla Spółki; trwające skutki poważnie naruszają ograniczenia ustawowe)*	Powyżej 10 000 000 €	Międzynarodowy wpływ *(Poważnie nadszarpnięte zaufanie - niemożliwe w pełni do odzyskania. Międzynarodowa uwaga publiczna; rozległa, niesprzyjająca uwaga międzynarodowych mediów)*

10.1. DANE NIEZAWODNOŚCIOWE I WSPÓŁCZYNNIKI KOREKCYJNE

W poniższych tabelach 3-11 przedstawiono różne dane niezawodnościowe i współczynniki korekcyjne, które rekomendowane są do wykorzystania podczas oceny ryzyka procesowego metodą LOPA.

Tabela 3. Zdarzenia inicjujące scenariusze awaryjne

Zdarzenia inicjujące scenariusze awaryjne		
Zdarzenia zewnętrzne	**Awarie wyposażenia**	**Błędy ludzkie (niedopatrzenia i ominięcia)**
Wichury, powodzie i inne zagrożenia naturalne, Upadki samolotów, Poważne awarie w sąsiedztwie, Sabotaż lub terroryzm	Awarie lub błędne działania systemów kontrolnych (BPCS) i autom. zabezpiecz., Błędy w oprogramowaniu, Awarie mechaniczne: zmęczenie, korozja, wibracja, defekty, użycie poza zakresem projektowym	Błędy operatorskie, Błędy w konserwacji, Błędne reagowanie na alarmy, Błędy w programowaniu

Tabela 4. Częstość zdarzeń inicjujących stosowana w analizie LOPA

Częstość zdarzeń inicjujących stosowana w analizie LOPA		
Rodzaj zdarzenia inicjującego	**Zakres częstości fi [1/rok]**	**Wartość zwykle wybierana do LOPA [1/rok]**
Awaria zb. ciśnieniowego pęknięcie	10^{-5} do 10^{-7}	$1x10^{-6}$
Pęknięcie rurociagu-100m	10^{-5} do 10^{-6}	$1x10^{-5}$
Przeciek rurociągu	10^{-3} do 10^{-4}	$1x10^{-3}$
Awaria zbiornika atmosfer.	10^{-3} do 10^{-5}	$1x10^{-3}$
Wydmuchanie uszczelki	10^{-2} do 10-6	$1x10^{-2}$
Przeciążenie turbiny z urwaniem wału	10^{-3} do 10^{-4}	$1x10^{-4}$
Udział osób trzecich	10-2 do 10^{-4}	$1x10^{-2}$
Upadek przenoszonego ładunku przez dźwig	10^{-3} do 10^{-4} na podnoszenie	$1x10^{-4}$ na podnoszenie
Uderzenie pioruna	10^{-3} do 10^{-4}	$1x10^{-3}$
Niepożądane otwarcie RV	10^{-3} do 10^{-4}	$1x10^{-2}$
Awaria systemu chłodzenia	1 do 10^{-2}	$1x10^{-1}$
Awaria uszczelnienia pompy	10^{-1} do 10^{-2}	$1x10^{-1}$
Uszkodzenie węża	1 do 10^{-2}	$1x10^{-1}$
Awaria układu BPCS	1 do 10^{-2}	$1x10^{-1}$
Awaria regulatora	1 do 10^{-1}	$1x10^{-1}$
Mały zewnętrzny pożar	10^{-1} do 10^{-2}	$1x10^{-1}$
Duży zewnętrzny pożar	10^{-2} do 10^{-3}	$1x10^{-2}$
Błąd człowieka	10^{-1} do 10^{-3} na działanie	$1x10^{-2}$ na działanie
Pełna awaria wielo-elementowego systemu	10^{-3} do 10^{-4} na działanie	$1x10^{-3}$ na działanie

Tabela 5. Prawdopodobieństwo niezadziałania niezależnych warstw zabezpieczeń (IPL)

Prawdopodobieństwo niezadziałania niezależnych warstw zabezpieczeń (IPL)			
Numer warstwy	Rodzaj zabezpieczenia	Przedział PIPL. prawdopodobieństwo niezadziałania	Wartość PIPL. zwykle wybierana do LOPA
I	Dobra praktyka inżynierska	1*	1*
I	Działania służb UDT	1*	1*
I	Inspekcje i przeglądy	1*	1*
II	Automatyka kontrolno - pomiarowa (BPCS)- wówczas nie jest zdarzeniem inicjującym	$1x10^{-1}$ do $1x10^{-2}$	$1x10^{-1}$
III	Działanie operatora (odpowiedź operatora na alarmy podstawowe)	$>1x10^{-1}$	$1x10^{-1}$
II	System chłodzenia	$1x10^{-1}$ do $1x10^{-2}$	$1x10^{-1}$
II	Systemy inhibicji reakcji	$1x10^{-1}$	$1x10^{-1}$
II	Systemy awaryjnego zasilania i podtrzymania (zapasowe zasilanie energią elektryczną, wodą, parą powietrzem, czynnikami obojętnymi)	$1x10^{-1}$ do $1x10^{-2}$	$1x10^{-1}$
V	Zawory bezpieczeństwa	$1x10^{-1}$ do $1x10^{-5}$	$1x10^{-2}$
V	Płytki bezpieczeństwa	$1x10^{-1}$ do $1x10^{-5}$	$1x10^{-2}$
III	Odpowiedź operatora na alarmy krytyczne	1 do 10^{-1}	$1x10^{-1}$
IV	Automatyka zabezpieczająca -SIS (blokady, samoczynne wyłączniki, ESD, sterownie palnikami, układy detekcji ognia i gazu,)		
IV	Układ SIL1 - pewność zabezpieczenia (poj. czujnik, procesor i elem. wykonawczym)	$1x10^{-1}$do $1x10^{-2}$	$1x10^{-1}$
IV	Układ SIL 2 -wielokrotny czujnik, wielokanałowy procesor i wielokrotny. element wykonawczy.(z tzw. tolerancją błędu)	$1x10^{-2}$ do $1x10^{-3}$	$1x10^{-2}$
IV	Układ SIL 3.- wielokrt. czujnik, wielkanał. procesor i wielkr. el. wykon (bez tolerancji błędu)	$1x10^{-3}$ do $1x10^{-4}$	$1x10^{-3}$
VI	Systemy tłumienia wybuchu	$1x10^{-1}$do $1x10^{-2}$	$1x10^{-1}$
IV	Systemy blokowania-MOV	$1x10^{-1}$do $1x10^{-2}$	$1x10^{-1}$
V	Systemy zrzutowe (kolektory, pochodnie, ab- i adsorbery, zrzuty z reaktorów, skrubery, zbiorniki zrzutowe).	$1x10^{-1}$	$1x10^{-1}$
IV	Awaryjne systemy chłodzenia	$1x10^{-1}$	$1x10^{-1}$
VI	Systemy zraszaczowe /tryskaczowe	$1x10^{-1}$	$1x10^{-1}$
VI	Detektory	$1\text{-}10^{-4}$	Zgodnie z kategoria uwolnienia**
VI	Systemy pianowe/armatki	$1x10^{-1}$	$1x10^{-1}$
VI	Taca	$1x10^{-2}$ do $1x10^{-3}$	$1x10^{-2}$
V	Podziemny system drenażowy	$1x10^{-2}$ do $1x10^{-3}$	$1x10^{-2}$
V	Otwarty upust do atmosfery	$1x10^{-2}$ do $1x10^{-3}$	$1x10^{-2}$
VI	Odporność pożarowa stali, budynków	$1x10^{-2}$ do $1x10^{-3}$	$1x10^{-2}$
VI	Ściany przeciwwybuchowe /bunkry	$1x10^{-2}$ do $1x10^{-3}$	$1x10^{-2}$
VI	Filtry anty-detonacyjne /anty-płomieniowe	$1x10^{-1}$ do $1x10^{-3}$	$1x10^{-2}$

** – czynności wykonywane raz na rok i rzadziej niż raz na rok; nie zakłada się braku ich realizacji jak również popełnienia błędu w trakcie tych czynności. ("Guidelines for Initiating Events and Independent protection layers i Layer of Protection Analysis", CCPS, Aiche 2015)*

*** – W metodzie półilościowej, w zależności od przyjętej wielkości wypływu oraz kategorii substancji niebezpiecznej dokonuje się kategoryzacji stopnia uwolnienia w pięć kategorii od 1 do 5 w oparciu przedstawioną poniżej tabelę 6.*

Tabela 6. Stopnie uwolnienia

Stopnie uwolnienia						
Kategoria substancji	Wielkość wypływu					
	1-10 kg	10-100 kg	100-1000 kg	1000-10000 kg	10000-100000 kg	>100000 kg
	Szpilka	Przeciek na uszczelce	10-15 mm	25 mm	50-100 mm	> 100 mm
Acute Tox. 1 i 2, STOT SE 1	3	4	5	5	5	5
Acute Tox.. 2 (pary H330) i 3, STOT RE 1	2	3	4	5	5	5
Flam. Liq. 1 ,2 i 3, (H224 temp zapł <23oC i wrzenia ≤35oC, H225 temp zapł <23°C i wrzenia >35°C, H226 temp zapł ≥23°C)	1	2	2	3	4	5
Flam. Liq. 1 i 2, (H224 temp. wrzenia≤ 35°C, H225 temp. wrzenia > 35°C	1	2	3	4	5	5
Flam. Gas. 1 i 2, (H220, H221), Flam. Liq. 1 (H224, H242)	2	3	4	5	5	5
Wodór	2	3	3	4	5	5
Produkty destylacji ropy	1	2	2	3	4	5

Gdy substancja jest jednocześnie palna, i/lub toksyczna, i/lub jest produktem destylacji ropy, przyjmuje się wartość dla największego zagrożenia, tzn. dla substancji jednocześnie palnej i toksycznej przyjmuje się wartość ustaloną w odniesieniu do toksyczności.

Istnieje możliwość wykorzystania wszystkich właściwości w trakcie obliczeń celem weryfikacji największego zasięgu i oddziaływania z uwzględnieniem własności toksycznych, palnych oraz specyfiki jaką cechują produkty destylacji ropy naftowej.

Do głównych zdarzeń warunkujących należy **wystąpienie zapłonu**. Wyróżnia się zapłon natychmiastowy i opóźniony. Częstość występowania zapłonu wyrażane są w postaci prawdopodobieństwa, które zależy od wielu czynników, głównie rodzaju i ilości uwolnionej substancji, lokalizacji (obszar procesowy, magazynowy lub poza zakładem). Tabele 7 i 8 podają przyjmowane wielkości prawdopodobieństwa w zależności od ilości uwolnionej substancji, wyróżniając zapłon natychmiastowy i zapłon opóźniony.

Tabela 7. Prawdopodobieństwo zapłonu natychmiastowego

Prawdopodobieństwo zapłonu natychmiastowego		
Ilość uwolnionego materiału, kg	Zwykłe węglowodory	Substancje skrajnie łatwo palne Substancje z MIE< 0.3mJ
1-10 kg	10^{-2}	10^{-2}
10-100 kg	10^{-2}	10^{-1}
100-1000	10^{-1}	10^{-1}
1000-10000	10^{-1}	1
10000-100000	10^{-1}	1
>100000	1	1

Tabela 8. Prawdopodobieństwo zapłonu opóźnionego

Prawdopodobieństwo zapłonu opóźnionego		
Ilość uwolnionego materiału, kg	Zwykłe węglowodory	Substancje skrajnie łatwo palne Substancje z MIE< 0.3mJ
1-10 kg	10^{-4}	10^{-4}
10-100 kg	10^{-3}	10^{-3}
100-1000	10^{-2}	10^{-2}
1000-10000	10^{-1}	1
10000-100000	10^{-1}	1
>100000	1	1

Do zdarzeń warunkujących związanych z uwolnieniami gazów toksycznych przyjmuje się:

1. Prawdopodobieństwo kierunku wiatru zgodnie z różą wiatru na danym terenie; zmienia się od 0,05 do 0,25.
2. Prawdopodobieństwo pobytu w strefie zależy od częstości obsługi operatora. Jest zawarte od 0,01 do 1, w zależności od rodzaju zadań wykonywanych przez operatora, np. przy rozładunku cystern jest to stosunek czasu pobytu przy rozładunku do ogólnej liczby godzin.
3. Prawdopodobieństwo, że pobyt w strefie zagrożenia wywoła skutek śmiertelny (prawdopodobieństwo śmierci) dla pracowników przyjąć 0,5, dla ludności 0,1.

Tabela 9. Prawdopodobieństwo wystąpienia błędu ludzkiego

Prawdopodobieństwo wystąpienia błędu ludzkiego			
Rodzaj zabezpieczenia	Komentarz	Przedział P_{IPL} - prawdopodobieństwo niezadziałania	Wartość P_{IPL} zwykle wybierana do LOPA
Działanie człowieka w ciągu 10 min	Dobrze udokumentowana procedura	od 1.0 do 10^{-1}	$1x10^{-1}$
Odpowiedź operatora na BPCS lub alarm w czasie 40 min.	Dobra procedura i jasne i wyraźne wskaźniki	$>1x10^{-1}$	$1x10^{-1}$
Działanie operatora w czasie 40 min.	Proste działanie według procedury	$1x10^{-1}$ do $1x10^{-2}$	$1x10^{-1}$

Tabela 10. Wartości współczynników korekcyjnych dotyczących kategorii skutków

Wartości współczynników korekcyjnych dotyczących kategorii skutków		
Rodzaj zabezpieczenia - niezależna	**Przedział współczynnik korekcyjnego**	**Współczynnik korekcyjny**
Systemy komunikacji (syreny, alarmy etc.)	Nie oceniane ilościowe	Bez zmian
Podręczny sprzęt gaśniczy, ratowniczy i medyczny	Jak wyżej	Bez zmian
Działanie Ratownictwa na instalacji	Bez zmian	Bez zmian
Działania Zakładowej Straży Pożarnej w ciągu 5 do 10 minut	od -1 do -2	Wybrać ekspercko. Sugerowana wartość (-1)
Brak działań ZSP i działania Państwowej Straży Pożarnej w ciągu 30 minut	od -1 do 1	Wybrać ekspercko. Sugerowana wartość (0)
Pomoc medyczna	Bez zmian	Bez zmian
Plany operacyjno – ratownicze wewnętrzne	Bez zmian	Bez zmian

Obecność efektu domino ustala się poprzez ustalenie strefy całkowitych zniszczeń. Obecność wtórnych obiektów w tej strefie może powodować wystąpienie tego efektu. Wpływ efektu domino charakteryzuje się zwiększeniem prawdopodobieństwa wystąpienia danego scenariusza awaryjnego. Na podstawie licznych badań uznaje się, że wpływ ten maksymalnie można ocenić na jeden rząd wielkości. Ustala się algorytm zwiększania częstości danego zdarzenia poprzez współczynnik korygujący zmieniający się od 1 do 10, w zależności od wielkości uwolnienia.

Tabela 11. Współczynniki korygujące związane z efektem domino

Współczynniki korygujące związane z efektem domino						
Kategoria Seveso	Stopień uwolnienia					
	1	2	3	4	5	6
	1- 10 kg	10 -100 kg	100 - 1000 kg	1000 - 10000 kg	10000 - 100000 kg	>1000000 kg
Flam. Gas. 1 i 2, (H220, H221), Flam. Liq. 1 (H224, H242)	3	4	6	8	10	10
Flam. Liq. 1 i 2, (H224 temp. wrzenia≤ 35°C, H225 temp. wrzenia > 35°C	2	3	4	6	8	10
Flam. Liq. 1 ,2 i 3, (H224 temp zapł <23°C i wrzenia ≤35°C, H225 temp zapł <23°C i wrzenia >35°C, H226 temp zapł ≥23°C)	1	2	3	4	7	8
Wodór	3	4	6	8	10	10

Współczynniki korygujące podane w Tabeli nr 11 są wartościami poglądowymi i rekomendowanymi. Ostateczna ocena wielkości przewidywanych skutków zajścia wtórnych efektów wybuchowych i/lub pożarowych, zawsze należy do zespołu analizującego, który w razie uzasadnionych okoliczności może znacznie zmienić zalecaną wartość z tabeli.

Samo wystąpienie efektów domino jest związane z dwoma jednoczesnymi warunkami:

1. W zasięgu strefy zagrożenia o w/w wielkościach krytycznych musi znaleźć się narażony obiekt;
2. Efekt domino o innym charakterze może być wywołany w przypadku całkowitego zaniku różnych czynników energetycznych, który jednak w większości przypadków sprowadzi się do wyłączenia awaryjnego całych instalacji (np. ESD).

Użycie innych wartości niż wskazanych w dokumencie t.j.: prawdopodobieństw oraz wartości współczynników wymaga uzasadnienia i udokumentowania w ramach raportu z analizy.

10.2. WYMAGANIA DLA NIEZALEŻNYCH WARSTW ZABEZPIECZEŃ UŻYTYCH W ANALIZIE

Warstwy zabezpieczeń muszą spełniać podstawowe kryteria kwalifikacji zgodnie z CCPS: 2016:

- niezależność funkcjonalna i fizyczna,
- skuteczność;
  - funkcjonalność,
  - nienaruszalność;
  - niezawodność.
- audytowalność
- bezpieczeństwo dostępu;
- objęcie zarządzaniem zmianą,.

Zabrania się:

- **podwójnego liczenia warstw** – IPL nie może być uznana, jeśli jest powiązana z inicjującym zdarzeniem lub inną warstwą zabezpieczeń;
- BPCS **nie powinien być liczony jednocześnie jako IE i IPL**, takie założenie wymaga uzasadnienia niezależności.

11. Zasady szczególne

- Dobre praktyki związane z wykonywaniem analiz LOPA:
  - Regularne szkolenia zespołu w zakresie LOPA i bezpieczeństwa procesowego oraz udział w międzynarodowych konferencjach CCPS/AIChE w celu ciągłej aktualizacji wiedzy i metod wykonywania analiz.
  - Użycie dedykowanego oprogramowania do analiz LOPA.
  - Analizy porównawcze z innymi instalacjami/zakładami w celu określenia potencjalnych nowych zagrożeń i wymiany doświadczeń.
- LOPA **nie jest analizą** SIL – analiza LOPA jest jedną z metod wykorzystywanych w analizie SIL. Szczegółowe zasady do wykonywania analizy SIL są opisane w STANDARDACH TECHNICZNYCH BIURA TECHNIKI ORLEN S.A. DLA BRANŻY POMIARÓW I AUTOMATYKI – WYMAGANIA SZCZEGÓŁOWE BUDOWY NOWYCH I MODERNIZACJI INSTALACJI PRODUKCYJNYCH W BRANŻY PIA – ZAŁĄCZNIKI TECHNICZNE DO KONTRAKTÓW
- Brak pełnych danych nie wstrzymuje analizy – dopuszcza się aktualizację LOPA po pozyskaniu nowych informacji.