

SPOJRZENIE W PRZYSZŁOŚĆ. PREDYKCJA ZUŻYCIA URZĄDZEŃ CIŚNIENIOWYCH I PLANOWANIE INSPEKCJI Z WYKORZYSTANIEM METODOLOGII RBI – RISK BASED INSPECTION



MGR INŻ. TOMASZ KLINKOSZ

Ekspert Urządzeń Ciśnieniowych
Dział Oceny Zgodności
Oddział w Gdańsku
Urząd Dozoru Technicznego

STAŁY ROZWÓJ TECHNOLOGICZNY WYMUSZA EWOLUCJĘ STANDARDÓW BEZPIECZEŃSTWA TECHNICZNEGO. INNOWACJE I NOWOCZESNE PODEJŚCIE DO OCENY STANU URZĄDZEŃ STAŁE WDRAŻANE SĄ DO PRAKTYKI. NAJNOWSZE ŚWIATOWE ROZWIĄZANIA POZWALAJĄ MIĘDZY INNYMI NA DOPASOWANIE DZIAŁAŃ ZMIERZĄCYCH DO ZAPEWNIENIA BEZPIECZNEJ EKSPLOATACJI URZĄDZEŃ TECHNICZNYCH DO POTRZEB PRZEMYSŁU ORAZ WYMAGAŃ ZWIĄZANYCH Z BEZPIECZEŃSTWEM PUBLICZNYM.



Ponad 10 lat temu Urząd Dozoru Technicznego wdrożył do praktyki dozоровej metodologię RBI (Risk-based Inspection). Obecnie tysiące zbiorników ciśnieniowych i rurociągów technologicznych w polskim przemyśle zostało poddanych analizie RBI, które mają na celu predykcję ich zużycia i opracowanie niezbędnych inspekcji prowadzących do utrzymania odpowiedniego poziomu ryzyka związanego z ich eksploatacją.

CZYM JEST RBI I JAKIE SĄ GŁÓWNE ELEMENTY TEJ METODOLOGII?

Risk-based Inspection to proces oceny i zarządzania ryzykiem, który koncentruje się na rozszczelnieniach urządzeń ciśnieniowych w instalacjach procesowych, wynikających z pogorszenia się stanu technicznego tych urządzeń na skutek oddziaływania jednego bądź kilku aktywnych mechanizmów degradacji. W tym procesie ryzykiem zarządza się głównie przez inspekcje [1].

Stosowana metodologia opiera się na uznanych i stosowanych w tym zakresie standardach technicznych publikowanych przez Amerykański Instytut Naftowy (American Petroleum Institute, API).

Głównym dokumentem opisującym metodologię RBI jest standard API RP 580 Risk-based Inspection zawierający zasadnicze wymagania dla systemu zarządzania ryzykiem urządzeń ciśnieniowych oraz główne założenia RBI.

Metodologia RBI pozwala na zaplanowanie rodzajów, zakresów i terminów inspekcji na podstawie wyników analizy ryzyka związanego z potencjalnym występowaniem i prędkością degradacji materiałów podczas eksploatacji urządzeń [2].

W tym celu wymagane jest udokumentowanie procesu analizy prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzeń w analizowanych urządzeniach, jak również konsekwencji wynikających z potencjalnego ich rozszczelnienia.

Stosuje się do tego ilościową analizę ryzyka opisaną standardem API RP 581 Risk-based Inspection Methodology, zawierającą modele predykcyjne, dzięki którym możliwe jest obliczenie prawdopodobieństwa rozszczelnienia analizowanego urządzenia i predykcja jego zmian w przyjętym do analizy okresie, a zatem pozwalającą na predykcję jego stanu technicznego.

Risk-based Inspection, jak sama nazwa wskazuje, jest metodą opartą na analizie ryzyka, a więc oprócz wyliczenia prawdopodobieństwa uszkodzenia niezbędne jest również wyliczenie wynikających z niego konsekwencji. Zawarte w normie API RP 581 modele pozwalają na wyliczenie ilości uwolnionych substancji, ich dyspersję oraz efekty fizyczne tych uwolnień, takie jak pożary, wybuchy czy skażenie toksyczne. Pozwala to określić potencjalny obszar, który może zostać objęty tymi konsekwencjami.

Risk-based Inspection, w odróżnieniu od powszechnie stosowanych w przemyśle narzędzi do analizowania zagrożeń i ryzyka, takich jak HAZOP (Hazard and Operability Study), LOPA (Layer of Protection Analysis) czy QRA (Quantitative Risk Assessment), jest metodą predykcijną zawierającą model opisujący zmiany ryzyka w funkcji czasu. Jest też narzędziem do ciągłego zarządzania ryzykiem, wymagającym stworzenia w organizacji odpowiednich procesów oraz ich implementacji do obowiązującego systemu zarządzania organizacją. Wdrażając Risk-based Inspection w organizacji, należy opracować, udokumentować i uruchomić cztery kluczowe elementy RBI (rys. 1).



Rys. 1. Kluczowe elementy RBI

Implementacja kluczowych elementów RBI wymaga wdrożenia przez organizację tzw. Programu RBI [3], który obejmuje całość działań prowadzonych w celu opracowania, wdrożenia i utrzymania Programu Badań Eksploatacyjnych opracowanych dla każdego urządzenia na podstawie wyników analizy ryzyka.

Zastosowanie wymienionych standardów narzucało konieczność stworzenia zasad pozwalających na implementację w praktyce dozоровej predykcyjnych technik ustalania wymagań dla inspekcji urządzeń ciśnieniowych. **W tym celu w marcu 2017 roku UDT opublikował pierwszą edycję specyfikacji technicznej WUDT-RBI „Warunki Urzędu Dozoru Technicznego – Planowanie inspekcji urządzeń ciśnieniowych w oparciu o analizę ryzyka RBI (Risk-based Inspection). Wymagania ogólne, tryb postępowania, dokumentacja”. W 2022 r. opublikowano znowelizowaną edycję warunków [4].**

Warunki te określają zasady funkcjonowania Programu RBI. Obejmuje on wykonanie analizy bezpieczeństwa eksploatacji urządzeń technicznych z wykorzystaniem metodologii RBI oraz wdrożenie Programu Badań Eksploatacyjnych [4].

Kluczowe elementy Risk-based Inspection wymagają utworzenia przez organizację wdrażającą RBI udokumentowanego systemu zarządzania i utrzymania dokumentacji, kwalifikacji personelu, wymagań dotyczących danych, spójności programu i aktualizacji analiz oraz udokumentowanej metodologii zarządzania ryzykiem za pośrednictwem inspekcji, kontroli parametrów procesowych i innych działań ograniczających ryzyko.

System ten nazywany jest Systemem zarządzania RBI, a zadania z nim związane zawarte są w standardzie API RP 580 oraz warunkach WUDT-RBI. System obejmuje 10 obszarów (rys. 2).

System zarządzania RBI

- Procedury obejmujące wdrożenie, zarządzanie i ponowną ocenę Programu RBI
- Role i odpowiedzialność osób zaangażowanych w Program RBI oraz wymagania w zakresie ich wykształcenia i doświadczenia
- Wymagania w zakresie dokumentowania założeń przyjmowanych podczas analizy RBI
- Ramy czasowe, dla których analiza RBI ma zastosowanie
- Wymagane dane do analizy RBI
- Cele ryzyka (Risk Targets)
- Program audytów systemu zarządzania
- Zakres i granice stosowania (np. zakłady, procesy, instalacje, rodzaje urządzeń itp.)
- Czynniki wymuszające przeprowadzenie ponownej oceny analizy RBI (walidacji), np. zmiany procesowe, uszkodzenia, przekroczenie ustalonych IOW itp.
- Interwały przeprowadzenia ponownej oceny (walidacji) analizy RBI

System zarządzania bezpieczeństwem procesowym PSM

- Zarządzanie i administracja (Leadership and Administration)
- Dostępność informacji i danych z zakresu bezpieczeństwa procesowego (Process Safety Information)
- Analizy zagrożeń (Process Hazard Analysis)
- Zarządzanie zmianami (Management of Change)
- Procedury operacyjno-ruchowe (Operating Procedures)
- Praktyka bezpiecznej pracy (Safe Work Practices)
- Szkolenia (Training)
- Integralność mechaniczna (Mechanical Integrity)
- Przeglądy bezpieczeństwa przed uruchomieniem instalacji (Pre-Startup Safety Review)
- Procedury awaryjne (Emergency Response)
- Analiza zdarzeń i postępowanie powypadkowe (Incident Investigation)
- Podwykonawcy (Contractors)
- Ocena systemu zarządzania (Management System Assessment)

Rys. 2. Zakres audytu Programu RBI

Wymóg formalnego stworzenia przez organizację wdrażającą RBI udokumentowanego Systemu zarządzania RBI jest związany z ustanowieniem przez UDT zasad jego weryfikacji. Obejmuje to potwierdzenie, że System RBI został wdrożony i jest utrzymywany.

- Urząd Dozoru Technicznego przeprowadza Audyt RBI obejmujący 10 wyżej wymienionych obszarów Systemu zarządzania RBI oraz 13 obszarów Systemu zarządzania bezpieczeństwem procesowym PSM (Process Safety Management), które mają bezpośredni wpływ na poprawne funkcjonowanie Programu RBI.
- Kryteriami audytu są WUDT-RBI oraz załącznik 2A standardu API RP 581 zawierający kryteria audytu PSM. Audyt przeprowadzany jest przed rozpoczęciem analizy RBI oraz okresowo, nie rzadziej niż co 5 lat.
- Wdrożenie analizy RBI umożliwia prowadzenie udokumentowanych procesów analiz obejmujących identyfikację zagrożeń związanych z eksploatacją urządzenia, określenie potencjalnych mechanizmów uszkodzeń i miejsc ich występowania. Pozwala również na ustalenie odpowiedniego sposobu detekcji przy zastosowaniu badań diagnostycznych zawartych w Programie Badań Eksploatacyjnych (PBE) opracowanym na podstawie wyników uzyskanych z analizy RBI.
- Zanim jednak powstanie Program Badań Eksploatacyjnych, niezbędne jest przeprowadzenie złożonego procesu analizy RBI, która dokonywana jest przez interdyscyplinarny zespół składający się z inżynierów eksploatującego oraz wyznaczonych inspektorów UDT.

Tabela 1. Skład zespołu RBI

<p>SPECJALISTA RBI (LIDER ZESPOŁU RBI) Jest osobą reprezentującą eksploatującego. Posiada wiedzę z zakresu metodologii RBI oraz procesów, które realizowane są w urządzeniach objętych analizą RBI.</p>
<p>SPECJALISTA DS. INSPEKCJI URZĄDZEŃ OBJĘTYCH ANALIZĄ Osoba odpowiedzialna za gromadzenie danych dotyczących stanu technicznego urządzeń oraz historii ich inspekcji, awarii, napraw i modernizacji. Do jej zadań należy również ocena skuteczności dotychczas przeprowadzanych inspekcji oraz efektywne wdrażanie zaleceń z analiz RBI w tym zakresie.</p>
<p>SPECJALISTA DS. KOROZJI Osoba odpowiedzialna za identyfikację potencjalnie aktywnych mechanizmów degradacji oraz za ocenę ich aktywności, przy uwzględnieniu parametrów procesowych, środowiska, materiałów konstrukcyjnych, zastosowanych technik spajania i wytwarzania itp.</p>
<p>INŻYNIER PROCESU Jest odpowiedzialny za zapewnienie informacji na temat przebiegu procesu, rozumie powiązania i zagrożenia w nim występujące, stosowane reżimy produkcyjne, odmiany surowców i produktów, wartości i zmiany parametrów procesowych. Inne obowiązki pełnione przez inżyniera procesu to dostarczanie dokumentów zawierających informacje dotyczące możliwych odstępstw od normalnych warunków pracy (np. rozruch, zatrzymanie), nietypowych zdarzeń, składu poszczególnych gazów i cieczy procesowych oraz ich potencjalnej toksyczności i palności.</p>
<p>PERSONEL OPERACYJNY I PERSONEL UTRZYMANIA RUCHU Osoby odpowiedzialne za przeglądy, konserwację i naprawę urządzeń. Mogą zostać zaangażowane w prowadzenie inspekcji wraz ze specjalistą ds. inspekcji. Powinny znać stan techniczny urządzeń lub dysponować zapisami z przeprowadzonych czynności, dbać o aktualność dokumentacji technicznej, dysponować informacjami o konstrukcji urządzeń i potencjalnych problemach technicznych.</p>
<p>PRZEDSTAWICIEL KIEROWNICTWA Jest odpowiedzialny za pozyskiwanie zasobów potrzebnych do wdrożenia RBI. Jest to osoba decyzyjna w kwestiach zarządzania ryzykiem oraz podejmująca decyzje dotyczące implementacji rekomendacji z analizy RBI.</p>

ANALITYK RYZYKA (PRZEDSTAWICIEL EKSPLOATUJĄCEGO)

Osoba odpowiedzialna za zbieranie wszystkich danych od członków zespołu i przeprowadzanie obliczeń ryzyka. Ponadto analityk ryzyka zajmuje się definiowaniem potrzebnych danych do analizy, definiowaniem wymaganej dokładności zbieranych danych, weryfikacją danych i założeń, wprowadzaniem danych do programu komputerowego (jeżeli jest używany), kontrolą danych wejściowych/wyjściowych, przedstawianiem wyników w sposób zrozumiały i przygotowywaniem raportów z analiz RBI.

ANALITYK RYZYKA (PRZEDSTAWICIEL UDT)

Jest odpowiedzialny za nadzór przebiegu prowadzonej analizy w celu utrzymania jej zgodności z przyjętymi standardami odniesienia oraz za weryfikację danych zebranych podczas analizy.

INNE OSOBY POWOŁYWANE DO ZESPOŁU RBI

W zależności od potrzeb dostarczają informacje w celu przeprowadzenia analizy RBI lub opiniują przyjęte założenia. Osoby te powinny odbyć podstawowe przeszkolenie z metodologii RBI.

WYMAGANIA I ZASADY PROWADZENIA RBI

RBI jest procesem ciągłym służącym do zarządzania ryzykiem urządzeń.

Uproszczony schemat blokowy RBI (rys. 3) prezentuje cykl rozpoczynający się procesem zbierania danych i informacji niezbędnych do przeprowadzenia analizy RBI, na którą składają się ocena prawdopodobieństwa i ocena skutków uszkodzenia. Następnie uzyskane wyniki służą do wyznaczenia ryzyka i dokonania jego oceny względem ustalonych kryteriów akceptacji ryzyka. Na tej podstawie opracowywany jest Plan Inspekcji zawierający wymagania dotyczące zakresów i terminów inspekcji, które są uzależnione od zidentyfikowanych i potencjalnych mechanizmów degradacji określonych dla każdego z urządzeń i ryzyka związane go z ich eksploatacją.

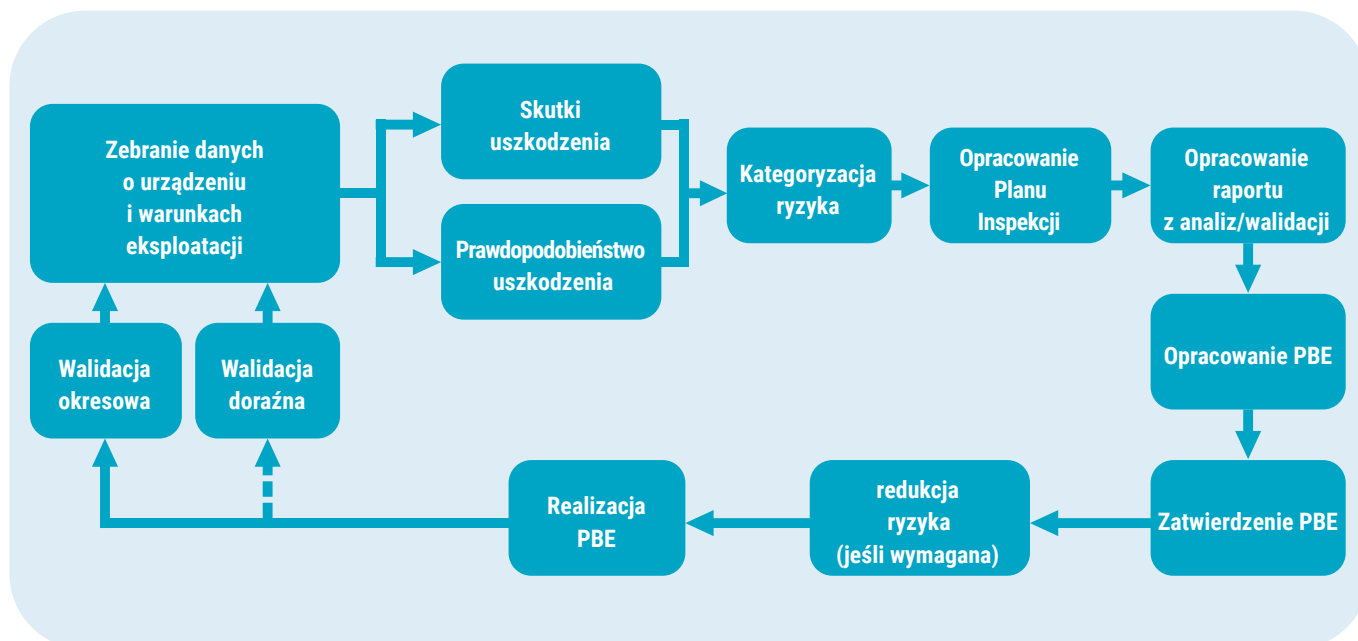
Plan inspekcji stanowi wynik analizy RBI i jest częścią raportu z analizy RBI, który podsumowuje jej przebieg, potwierdzając tym samym jej zgodność z przyjętymi wymaganiami odniesienia.

Raport stanowi podstawę do opracowania Programu Badań Eksploatacyjnych, który następnie podlega zatwierdzeniu przez UDT.

Proces ten opiera się na założeniach modelu ciągłego doskonalenia PDCA (Plan-Do-Check-Act) Deminga.

Program Badań Eksploatacyjnych opracowywany jest na czas nie dłuższy niż okres objęty analizą RBI, tzn. na okres, dla którego dokonano predykcji ryzyka, zazwyczaj nieprzekraczający 10 lat. Program Badań Eksploatacyjnych zawiera konkretne elementy określone dla każdego urządzenia.

- Rodzaje, zakres, miejsca oraz terminy inspekcji
- Wymagane kategorie efektywności inspekcji
- Kryteria akceptacji wyników badań NDT i DT
- Wymagania dla personelu i laboratoriów wykonujących badania NDT i DT
- Forma raportowania badań NDT i DT
- Niezbędne do monitorowania parametry technologiczne
- Zasady i terminy walidacji analizy RBI oraz Programu Badań Eksploatacyjnych (PBE)



Rys. 3. Cykl RBI

Po zatwierdzeniu przez UDT Programu Badań Eksploatacyjnych wchodzi w etap realizacji, podczas którego wykonywane są zaplanowane czynności, czyli głównie badania NDT oraz monitorowanie kluczowych dla degradacji urządzeń parametrów procesowych i technologicznych. Monitorowanie tych parametrów przebiega zgodnie z zatwierdzonym PBE oraz procedurami zawartymi w Systemie zarządzania RBI. Niewątpliwie jest to jeden z kluczowych elementów PBE wpływających na jego skuteczność. Po przekroczeniu określonych w PBE wartości ustalonych parametrów technologicznych niezbędne jest przeprowadzenie walidacji doraźnej, której celem jest ustalenie, czy realizowany PBE pozwoli na utrzymanie odpowiedniego poziomu ryzyka lub określenie niezbędnych zmian.

JAKIE KORZYŚCI PŁYNĄ Z WDROŻENIA RBI?

Wdrożenie skutecznego Programu RBI oparte jest na metodach łączących prognozowanie mechanizmów i tempa degradacji urządzeń oraz odpowiedni dobór technik inspekcyjnych.

- Dzięki temu możliwe jest w większym stopniu **prowadzenie nieinwazyjnych inspekcji i badań podczas pracy instalacji**.
- Pozwala też na **dopasowywanie terminów i zakresów badań inwazyjnych**, wymagających dostępu do wnętrza urządzeń, do terminów zatrzymania instalacji procesowych przy zachowaniu bezpieczeństwa na poziomie nie niższym niż dotychczas.
- Umożliwia również zdobycie **szczegółowych informacji o stanie technicznym urządzeń** i możliwych zdarzeniach związanych z ich eksploatacją.

Ideą zarządzania ryzykiem przez inspekcje jest wykonywanie badań celowanych, tzn. dobranych tak, aby wykrywać skutki aktywności mechanizmów degradacji w zidentyfikowanych obszarach narażenia.

Dzięki takiemu podejściu nakłady na inspekcje urządzeń kierowane są przede wszystkim na urządzenia o największym ryzyku oraz na urządzenia, które narażone są na intensywne procesy degradacji, np. szybko postępującą korozję. W wyniku przeprowadzonej analizy RBI określane są również kluczowe ze względu na degradację urządzeń parametry technologiczne, co pozwala na optymalizację procesów produkcyjnych z uwzględnieniem ich wpływu na tempo degradacji urządzeń.

Jednym z narzędzi stosowanych do zarządzania parametrami technologicznymi z uwzględnieniem ich wpływu na integralność mechaniczną urządzeń jest tzw. zarządzanie oknami operacyjnymi IOW (Integrity Operating Windows) [5].

- Wartością dodaną wynikającą z wdrożenia metodologii RBI jest podniesienie kompetencji w zakresie predykcji stanu technicznego urządzeń. Dotyczy to w szczególności oceny aktywności mechanizmów degradacji oraz doboru i wykorzystania w znacznie większym stopniu dostępnych metod badań nieniszczących do oceny mechanizmów degradacji.
- Zauważalna jest również poprawa kultury bezpieczeństwa osób zaangażowanych w ten proces. Uczestnicząc w procesie RBI, nie tylko ocenia się stan techniczny urządzenia, ale przede wszystkim zastanawia się nad jego przyszłością, biorąc pod uwagę warunki pracy oraz możliwe do przewidzenia zmiany, które mogą negatywnie wpłynąć na stan techniczny urządzenia.

Uzyskanie wymiernych efektów wdrożenia RBI wymaga kompetencji i ogromnej pracy zespołu inżynierów, stosowania narzędzi informatycznych, pozwalających na przeprowadzenie obliczeń ryzyka, i determinacji w dążeniu do celu. Sukces we wdrażaniu zależy również od jakości i dostępności danych niezbędnych do przeprowadzenia obliczeń. Jakość danych determinowana jest przez ich dokładność i wiarygodność.

SPOSOBY WYZNACZANIA RYZYKA

Zapraszamy do dokładnego zapoznania się ze sposobem wyznaczania ryzyka z zastosowaniem metodologii RBI opartej na zasadach opisanych w standardzie API RP 581 3rd. edition, publikowanym przez Amerykański Instytut Naftowy (American Petroleum Institute).

Zagłębienie się w metodologię wymaga przypomnienia kilku podstawowych pojęć.

Metodologia RBI, to proces zarządzania ryzykiem, które można zdefiniować w ogólny sposób jako wpływ niepewności na cele [1].

W kontekście celu, dla którego określamy wartość **ryzyka** w RBI, można zdefiniować je jako połączenie **prawdopodobieństwa** wystąpienia jakiegoś zdarzenia w rozpatrywanym okresie i **konsekwencji** (zazwyczaj negatywnych) związanych z tym zdarzeniem [2]. Jeśli prawdopodobieństwo i skutki zostaną wyrażone liczbowo, to ryzyko jest ich iloczynem [3]. Można zatem wyrazić je zależnością:

$$R(t) = P(t) \cdot C \quad (1),$$

gdzie:

R(t) – ryzyko

P(t) – prawdopodobieństwo

C – konsekwencje

R (T) – RYZYKO

RBI znajduje zastosowanie najczęściej do zarządzania ryzykiem urządzeń ciśnieniowych w przemyśle rafineryjnym i petrochemicznym, w którym konsekwencje wiążące się z uwolnieniem substancji niebezpiecznych o właściwościach palnych, wybuchowych czy toksycznych wynikają często z uszkodzenia urządzeń ciśnieniowych. Można zatem zależność (1) zapisać w postaci:

$$R(t) = POF(t) \cdot COF \quad (2),$$

gdzie:

R(t) – ryzyko

POF(t) – prawdopodobieństwo uszkodzenia (*probability of failure*)

COF – konsekwencje uszkodzenia (*consequence of failure*)

Należy odpowiedzieć również na istotne pytanie: Co reprezentuje wyliczone w powyższy sposób ryzyko? Poszukując odpowiedzi, trzeba zastanowić się nad pojęciami **ryzyka absolutnego (bezwzględnego)** oraz tzw. **ryzyka względnego**.

Obliczanie ryzyka jest bardzo złożone. Wynik jest funkcją wielu czynników, które mogą wpływać na ryzyko.

Obliczanie **bezwzględnego ryzyka** może być bardzo czasochłonne i kosztowne, a często nawet niewykonalne z odpowiednią dokładnością, ponieważ ilość niewiadomych może być zbyt duża. Potencjalne rozszczelnienie urządzenia ciśnieniowego w instalacji przemysłowej może być spowodowane kombinacją wielu czynników, takich jak: degradacja materiału konstrukcyjnego, błędy konstrukcyjne i montażowe, niesprawność urządzeń zabezpieczających, pożar, sabotaż i wiele innych. Określenie wartości ryzyka obejmującego wszystkie czynniki i ich wzajemne zależności może nie być możliwe lub być nieopłacalne ekonomicznie. RBI koncentruje się na systematycznym określeniu ryzyka względnego wynikającego

z konsekwencji pogorszenia się stanu technicznego urządzeń na skutek oddziaływania aktywnych mechanizmów degradacji [4]. W ten sposób można uszeregować urządzenia lub ich komponenty względem wartości ryzyka wynikającego z określonych przyczyn i wówczas określić niezbędne działania mające na celu jego redukcję do poziomu akceptowalnego.

Na tym etapie wiemy już, że RBI pozwala na określenie dla urządzeń ryzyka względnego będącego funkcją ich stanu technicznego, który w większości przypadków jest zależny m.in. od czasu eksploatacji, czyli czasu ekspozycji na warunki powodujące jego degradację. W RBI stosuje się tzw. współczynnik uszkodzenia (Damage Factor, DF) pozwalający uwzględnić przyspieszoną degradację urządzenia w wyniku oddziaływania aktywnych mechanizmów degradacji¹.

Można zatem opisać **ryzyko rozszczelnienia urządzenia wynikające z uszkodzenia powodowanego jego pogorszeniem stanu technicznego, na skutek oddziaływania mechanizmów degradacji**, zależnością:

$$R(t) = \underbrace{gff_r \cdot FM_s \cdot D_f(t)}_{POF(t)} \cdot COF \quad (3),$$

gdzie:

R(t) – ryzyko

gff – prawdopodobieństwo awarii wynikające z danych generycznych (*generic failure frequency*)

FM_s – współczynnik systemu zarządzania bezpieczeństwem

D_f(t) – współczynnik uszkodzenia (DF)

COF – konsekwencje uszkodzenia (*consequence of failure*)

POF (t) – PRAWDOPODOBIENSTWO USZKODZENIA (PROBABILITY OF FAILURE)

Ryzyko względne, określane w metodologii RBI wg standardu API RP 581, wyznacza się zatem jako iloczyn kilku niżej wymienionych czynników.

Prawdopodobieństwo awarii (gff) – wyznaczone dla określonych typów komponentów na podstawie dużej populacji danych uszkodzeń komponentów, które nie obejmują oddziaływania określonych mechanizmów degradacji. Wartości współczynnika opublikowane są w standardzie API RP 581 dla określonych komponentów urządzeń.

Współczynnik (FM_s) – reprezentuje wynik audytu systemu zarządzania bezpieczeństwem procesowym (omówiony w poprzednim wydaniu biuletynu INSPEKTOR).

Współczynnik uszkodzenia (D_f(t)) – zasadniczą funkcją tego współczynnika jest statystyczna ocena liczby uszkodzeń, które mogą występować w urządzeniu w funkcji czasu jego eksploatacji, oraz skuteczności wykonywanych inspekcji mających na celu ocenę tych uszkodzeń.

Należy pamiętać, że współczynnik uszkodzenia nie służy do ustalenia, czy oceniany komponent nadaje się do dalszej eksploatacji, a jedynie do planowania inspekcji.

Jeżeli w wyniku prowadzonych inspekcji stwierdzone zostaną uszkodzenia, ich ocenę powinno się przeprowadzić z zastosowaniem metodologii Fitness-For-Service opisaną standardem API RP 579-1/ASME FFS-1. Na podstawie uzyskanych wyników należy podjąć decyzję o dalszej eksploatacji.

Współczynnik ($D_f(t)$) jest modyfikatorem dla danych generycznych opisanych przez (gff), tak aby określić specyficzne dla danego komponentu prawdopodobieństwo uszkodzenia uwzględniające tempo degradacji i skuteczność wykonywanych inspekcji.

Zasady wyznaczania współczynnika uszkodzeń ($D_f(t)$) opisano w rozdziale 2 standardu API RP 581, który zawiera procedury jego obliczania dla następujących grup mechanizmów degradacji:

• pocienienia o charakterze ogólnym i lokalnym	D_{f-gov}^{thin}
• uszkodzenia wykładzin komponentu	D^{elin}
• uszkodzenia zewnętrzne (pocienienia i pęknięcia)	D_{f-gov}^{extd}
• naprężeniowe pękanie korozyjne (Stress Corrosion Cracking)	D_{f-gov}^{scc}
• wysokotemperaturowy atak wodorowy (High Temperature Hydrogen Attack, HTHA)	D_{f-gov}^{htha}
• kruche pękanie (Brittle Fracture)	D_{f-gov}^{brit}
• zmęczenie mechaniczne elementów rurociągów (Mechanical Fatigue)	D_{f-gov}^{mfat}

W sytuacji gdy aktywny jest więcej niż jeden mechanizm degradacji, współczynnik uszkodzeń obliczany jest dla każdego mechanizmu i następnie sumowany w celu określenia całkowitego ($D_f(t)$) dla komponentu, zgodnie z poniższymi zasadami. Na rysunku nr 1 przedstawiono zasady wyznaczania współczynnika ($D_f(t)$) dla więcej niż jednego mechanizmu degradacji, tym samym określenia prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzeń POF(t) wynikających z aktywności tych mechanizmów degradacji.

OGÓLNE ZASADY WYZNACZANIA WSPÓŁCZYNNIKA USZKODZEŃ UWZGLĘDNIĄCEGO WPŁYW ODDZIAŁYWANIA AKTYWNYCH MECHANIZMÓW DEGRADACJI NA PRAWDOPODOBIEŃSTWO USZKODZENIA URZĄDZENIA

Pokazane powyżej zależności pozwalają na wyznaczenie w sposób powtarzalny wartości prawdopodobieństwa uszkodzenia analizowanego komponentu POF(T). Należy jednak mieć na uwadze fakt, że uzyskanie właściwych danych służących do wyznaczenia cząstkowych składowych poszczególnych współczynników wymaga zaangażowania całego zespołu RBI.

Istotą poprawnej i wiarygodnej analizy RBI jest zadbanie, aby wykorzystane dane do wyznaczenia współczynnika uszkodzeń opierały się na rzetelnej analizie aktywności mechanizmów degradacji oraz na zwalidowanych danych. Wymaga to wysokich kompetencji członków zespołu RBI, jak również skutecznego systemu zarządzania całym Programem RBI.

COF – KONSEKWENCJE USZKODZENIA (CONSEQUENCE OF FAILURE)

Drugim składnikiem ryzyka, które matematycznie wyraża zależność (3), są konsekwencje wynikające z rozszczelnienia (COF). W omawianej metodologii RBI konsekwencje uszkodzenia wyznacza się głównie w celu dokonania rankingu komponentów względem ich ryzyka. Następnie zależnie od wartości ryzyka ustala się, które komponenty urządzeń należy poddać inspekcji w pierwszej kolejności, tj. w jakim terminie oraz w jakim zakresie.

W odróżnieniu od prawdopodobieństwa uszkodzenia (POF) konsekwencje nie są zależne od czasu i przyjmuje się, że nie ulegają zmianie w okresie objętym analizą.

W przypadku gdy zaistnieją okoliczności, które mogą wpłynąć na wielkość konsekwencji, niezbędne jest przeprowadzenie walidacji analizy RBI i ponowne wyznaczenie ryzyka z uwzględnieniem zmian.

W standardzie API RP 581 zawierającym algorytm wyliczenia konsekwencji proces ten możemy przeprowadzić na dwóch poziomach.

Level 1 – pozwala na wykonanie obliczeń dla zdefiniowanych reprezentatywnych substancji.

Level 2 – pozwala na obliczenie konsekwencji zasadniczo dla dowolnej substancji, po zdefiniowaniu wymaganych parametrów.

W podejściu stosowanym przez Urząd Dozoru Technicznego wymagane jest wyznaczenie konsekwencji na poziomie Level 2.

Konsekwencje w RBI możemy wyrazić w dwóch jednostkach:

- jako powierzchnię narażoną na konsekwencje, wyrażoną najczęściej w [m²],
- w jednostkach monetarnych, uwzględniających zdefiniowane grupy kosztów poniesionych w wyniku wystąpienia potencjalnych konsekwencji.

Standard API RP 581 zawiera również oddzielny algorytm dla wyznaczenia konsekwencji uszkodzenia atmosferycznych zbiorników magazynowych, w którym konsekwencje wyrażone są tylko w jednostkach monetarnych.

Wdrożenie skutecznego Programu RBI zapewni narzędzie do ciągłego doskonalenia utrzymania ruchu i systematycznego zmniejszania ryzyka związanego z uszkodzeniami urządzeń ciśnieniowych w instalacjach przemysłowych [2].

Analiza konsekwencji w RBI jest przeprowadzana w celu rozróżnienia analizowanych elementów urządzeń na podstawie istotności potencjalnych skutków ich awarii, które wynikają z rozszczelnienia się powłoki ciśnieniowej wskutek oddziaływania aktywnych mechanizmów degradacji.

Definiując potencjalne konsekwencje, należy podkreślić, że metodologia RBI opisana standardem API RP 581 zawiera model obliczeniowy pozwalający na przeprowadzenie analizy potencjalnych konsekwencji uszkodzenia COF (consequence of failure). Analiza powinna być powtarzalnym, spójnym i wiarygodnym oszacowaniem tego, co może się wydarzyć, gdyby wystąpiła awaria ocenianego elementu.

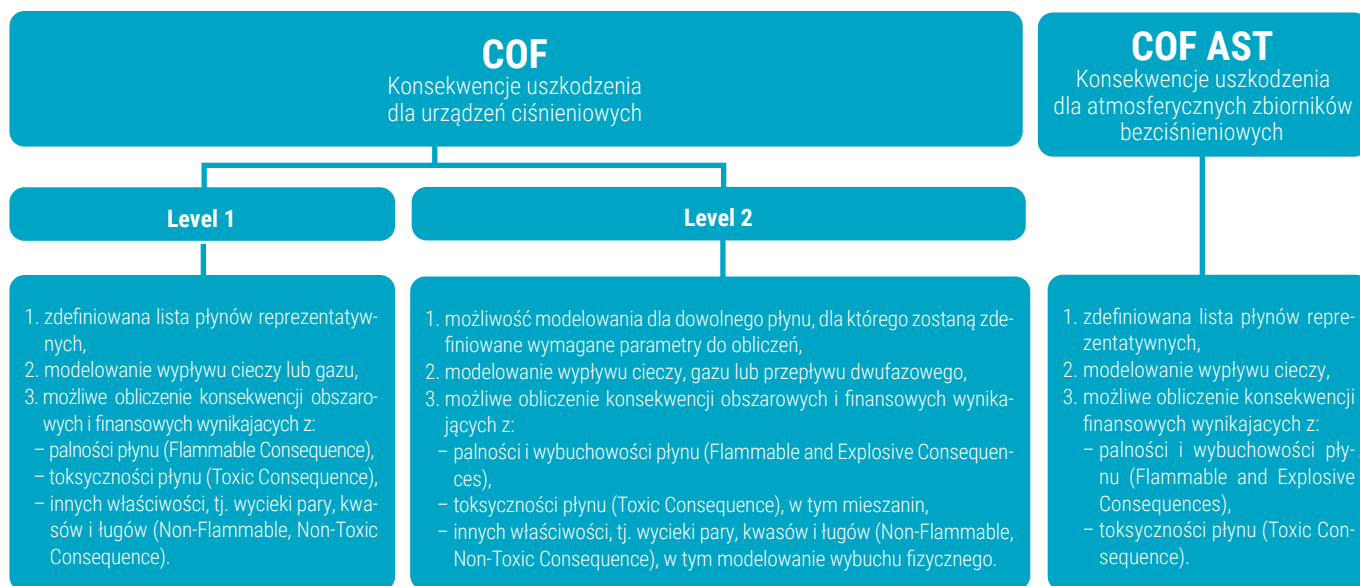
Konsekwencje możemy ogólnie skategoryzować na mające wpływ na:

- bezpieczeństwo osób,
- środowisko,
- finanse organizacji.

Jak wspomniano wcześniej, analizę przeprowadza się w celu oszacowania następstw, które mogą wystąpić z powodu określonego typu uszkodzenia, zwykle wynikającego ze zidentyfikowanych mechanizmów degradacji oddziałujących na konstrukcję analizowanego komponentu.

- Obliczenia wykonywane są według metodologii opisanej w rozdziale 3 standardu API RP 581, która zawiera metodykę obliczeń na dwóch poziomach analizy zbieżnej z ww. kategoryzacją konsekwencji.
- Metodologia COF poziomu 1 jest szczegółowo opisana w rozdziale 4 standardu, gdzie znajduje się zdefiniowana lista płynów reprezentatywnych, dla których możliwe jest zastosowanie tego poziomu.
- Metodologia poziomu 2 obliczenia COF jest opisana w rozdziale 5, który zawiera znacznie bardziej szczegółowe zasady obliczania konsekwencji, i może być stosowana do szerszego zakresu płynów.
- Oddzielnie w standardzie API RP 581 opisano zasady określania konsekwencji dla atmosferycznych zbiorników magazynowych (AST) i omówiono je w rozdziale 6.

Ogólną zawartość poszczególnych modeli obliczeniowych można przedstawić schematycznie (rys. 4). Istotne są ich ograniczenia, ponieważ w znacznej mierze decydują o możliwości zastosowania. **Z tego właśnie powodu w realizowanych przy udziale UDT wdrożeniach metodologii RBI stosowany jest dla urządzeń ciśnieniowych poziom 2 (Level 2).** Wynika to między innymi z faktu ograniczeń poziomu 1 (Level 1) do możliwości modelowania wyłącznie płynów reprezentatywnych oraz stosunkowo uproszczonego modelu obliczeń konsekwencji wynikających z potencjalnego wybuchu.



Rys. 4. Modele obliczeń konsekwencji uszkodzenia (COF) zawarte w standardzie API RP 581

Analiza konsekwencji w metodologii RBI skupia się na skutkach wynikających z oddziaływania aktywnych mechanizmów degradacji powodujących określone typy uszkodzeń. Dlatego istotne jest z punktu widzenia prowadzonej analizy określenie, w jaki sposób analizowany element może ulec uszkodzeniu.

Standard API RP 581 w rozdziale dotyczącym analizy konsekwencji definiuje, jakie sposoby uszkodzeń powinny być modelowane.

Zależnie od typów uszkodzeń powodowanych przez określone mechanizmy degradacji, tj. lokalny ubytek materiału, pęknięcia czy zmiany własności wytrzymałościowych, należy wybrać najbardziej prawdopodobny sposób, w jaki urządzenie ulegnie uszkodzeniu, czyli Failure Mode.

Kluczowe czynniki, które będą miały wpływ na wybór sposobu uszkodzenia, zostaną uwzględnione w modelu obliczeniowym konsekwencji uszkodzenia (rys. 5). Standard API RP 581 określa możliwe do przyjęcia średnice reprezentatywnych otworów o różnych wymiarach (rys. 5), które wykorzystywane są w obliczeniach teoretycznego natężenia wypływu, a tym samym do ustalania ilości substancji uwolnionej w wyniku uszkodzenia.

Zagrożenie – np. czynnik toksyczny, palny, reaktywny, energia potencjalna płynu pod ciśnieniem

Mechanizm degradacji (Damage Mechanism)
– mechanizm wywołujący pogorszenie własności materiałów konstrukcyjnych urządzenia, który może powodować powstawanie określonych typów uszkodzeń (damage modes) mogących wpływać na integralność urządzenia

Typ uszkodzenia (Damage Mode)
– to inaczej mówiąc, sposób uszkodzenia, czyli efekt oddziaływania mechanizmu degradacji (np. lokalny ubytek materiału ścianki urządzenia)

Sposób uszkodzenia (Failure Mode) – w RBI uszkodzeniem jest utrata integralności mechanicznej powodująca utratę zawartości urządzenia (np. mała/duża perforacja powłoki, pęknięcie, rozerwanie)

Numer otworu reprezentatywnego	Wymiar reprezentatywnego otworu uwolnienia	Zakres średnic reprezentowanych (mm)	Średnica reprezentatywnego otworu uwolnienia d_n (mm)
1	mały	0 do 6,4	$d_1 = 6,4$
2	średni	> 6,4 do 51	$d_2 = 25$
3	duży	> 51 do 152	$d_3 = 102$
4	rozerwanie	> 152	$d_4 = \min [D, 406]$

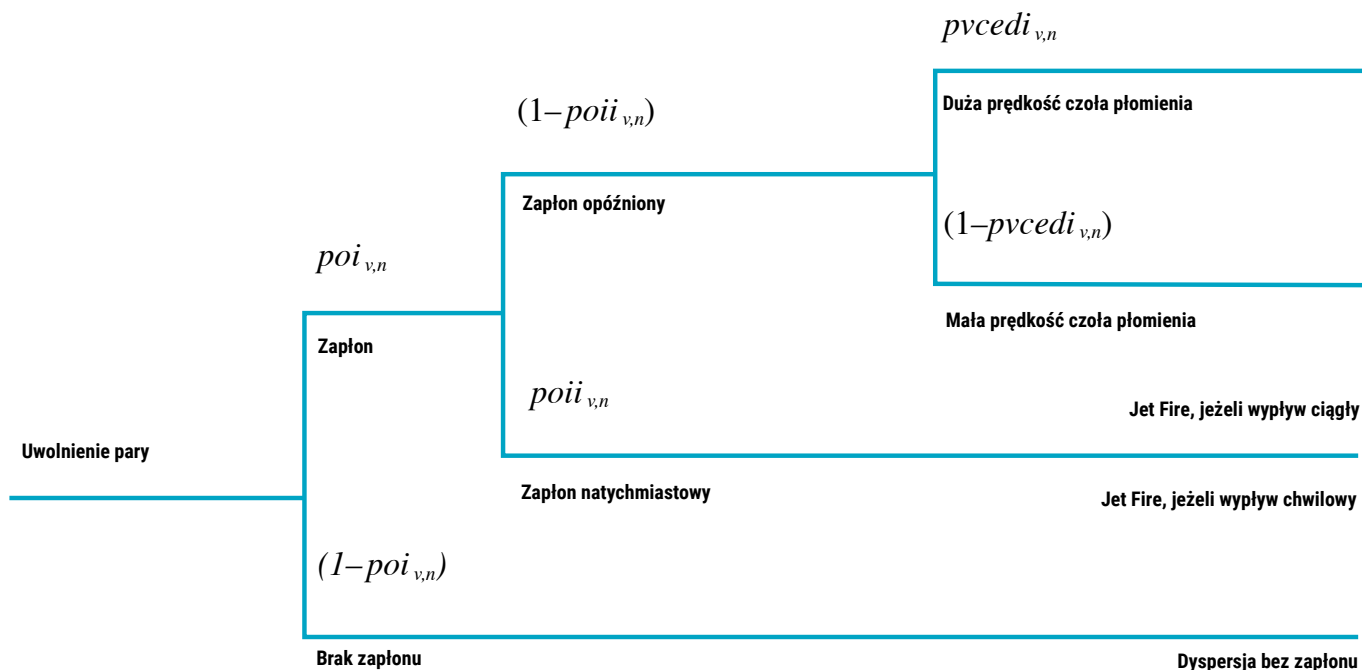
Rys. 5. Sposoby uszkodzenia uwzględniane w modelu COF zgodnie ze standardem API RP 581

Kolejnymi istotnymi czynnikami wpływającymi na wielkość konsekwencji są parametry substancji znajdującej się wewnątrz analizowanego urządzenia, które należy określić dla dwóch stanów:

- w parametrach magazynowania, czyli ciśnieniu i temperaturze roboczej,
- przy parametrach otoczenia, czyli po uwolnieniu substancji do otoczenia.

Jednym z parametrów mających wpływ na wielkość konsekwencji wynikających z wybuchu płynu, który uwolni się do otoczenia, jest temperatura robocza. Będzie ona wpływała nie tylko na to, jaka faza płynu uwalnianego będzie modelowana (ciecz, para lub przepływ dwufazowy), ale również w sytuacji przechowywania płynu powyżej temperatury samozapłonu (AIT), po uwolnieniu w atmosferze tlenowej nastąpi zapłon. W innym przypadku scenariusz może rozwinąć się do zapłonu opóźnionego zainicjowanego do efektywnego źródła zapłonu. Wówczas konsekwencje mogą być znacznie większe.

W celu obliczenia prawdopodobieństwa wpływu tych czynników na wielkość konsekwencji w analizie COF na poziomie 2 według standardu API RP 581 należy określić to prawdopodobieństwo oraz wielkość skutków według zdefiniowanych drzew zdarzeń.



Rys. 3. Drzewo zdarzeń dla wypływu pary wg modelu COF Level 2 standardu API RP 581 [1]

Ogólnie można zatem podsumować, że danymi wejściowymi do obliczeń konsekwencji są: dane o właściwości płynu, którego uwolnienie będzie modelowane, oraz średnice reprezentatywnych otworów ustalone na podstawie spodziewanych uszkodzeń.

Kolejnym etapem wynikającym z algorytmu postępowania, jak pokazano na diagramie przedstawionym na rysunku nr 3, jest określenie dostępnej do uwolnienia ilości płynu. Tę ilość określamy na podstawie masy płynu znajdującej się w analizowanym urządzeniu oraz ilości płynu, który może zostać doprowadzony do tego urządzenia z urządzeń połączonych. Taką grupę urządzeń, dla których należy przyjąć założenie, że w przypadku rozszczelnienia któregośkolwiek z nich uwolni się cały zgromadzony płyn, nazywamy INVENTORY GROUP.

Zależnie od wielkości tej grupy oraz natężenia wypływu z określonego reprezentatywnego otworu należy ustalić, czy modelowany wypływ będzie miał charakter chwilowy, czy będzie to wypływ ciągły.

PRZYKŁADY

Przykładowo dla zbiornika o stosunkowo niewielkim napełnieniu oraz niewielkiej pojemności inventory group, do której został zakwalifikowany. W przypadku wystąpienia katastroficznego pęknięcia tego urządzenia, które modelujemy jako pole przekroju otworu o średnicy tego urządzenia, ale nie większej niż 16" (406 mm), nastąpi w krótkim czasie uwolnienie całej masy dostępnej w urządzeniu oraz inventory group. Taki wypływ będzie wypływem chwilowym. Przeciwnieństwem będą uwolnienia z otworów o małych średnicach z urządzeń o stosunkowo dużej ilości dostępnego płynu do uwolnienia. Zasady ustalenia charakteru wypływu zawarte są w standardzie API RP 581.

Określając wielkość konsekwencji, bierzemy również pod uwagę wpływ na wielkość uwolnienia systemów bezpieczeństwa, w które wyposażona jest instalacja technologiczna analizowanego urządzenia. Standard API RP 581 przewiduje możliwość uwzględnienia dwóch grup systemów bezpieczeństwa, tj. systemu detekcji wycieku oraz skuteczności izolacji poszczególnych inventory group od siebie. Poniżej przedstawiono tabelę 4.5 zaczerpniętą z części 3 standardu API RP 581, w której zawarto wytyczne do klasyfikacji tych systemów do trzech grup. Zależnie od konfiguracji zastosowanych systemów możliwe jest zredukowanie poprzez zastosowanie współczynników korekcyjnych ilości uwolnionego w przypadku wycieku płynu (współczynnik $fact_{id}$) oraz ograniczenia czasu trwania wycieku (współczynnik Id_{max}).

Tabela 1. Wytyczne do klasyfikacji systemów bezpieczeństwa do trzech grup (wg tabeli 4.5 – część 3 standardu API RP 581 [3])

$$D_{f-total} = D_{f-gov}^{thin} + D_{f-gov}^{extd} + D_{f-gov}^{scc} + D_f^{htha} + D_{f-gov}^{brit} + D_f^{mfat} \quad (4)$$

Pocienia wewnętrzne Uszkodzenia zewnętrzne

$$D_f^{thin} = \max \left[\frac{D_{fB}^{thin} \cdot F_{IP} \cdot F_{DL} \cdot F_{WD} \cdot F_{AM} \cdot F_{SM}}{F_{OM}}, 0,1 \right]$$

- Korozja spowodowana przez kwas solny
- Korozja spowodowana obecnością siarki i kwasów naftenowych
- Korozja wysokotemperaturowa w atmosferze H₂/H₂S
- Korozja spowodowana przez kwas siarkowy
- Korozja spowodowana przez kwas fluorowodorowy
- Korozja spowodowana wodorosiarczkiem amonu
- Korozja aminowa
- Wysokotemperaturowe utlenianie
- Korozja spowodowana przez kwaśną wodę
- Korozja spowodowana przez wodę chłodzącą
- Korozja ziemna
- Korozja spowodowana dwutlenkiem węgla
- Korozja den atmosferycznych zbiorników magazynowych

W modelu uwzględnia się również modyfikatory zwiększające lub zmniejszające przewidywaną wartość współczynnika:

F_{OM} – współczynnik uwzględniający skuteczność systemu monitoringu korozji, jeśli zastosowano

F_{IP} – dla obszarów, gdzie następuje mieszanie czynników (mix point), obszarów wtrysku chemikaliów lub wody (injection point)

F_{DL} – dla elementów rurociągów, w których stale lub okresowo występuje brak przepływu i związana z tym większa prędkość korozji (deadleg)

Współczynniki dedykowane dla atmosferycznych zbiorników magazynowych:

F_{WD} – współczynnik uwzględniający występowanie złączy spawanych

F_{AM} – współczynnik uwzględniający efektywność utrzymania ruchu zbiornika wg standardu API STD 653

F_{SM} – współczynnik uwzględniający wpływ osiadania zbiornika

W przypadku gdy urządzenie wyposażone jest w wykładzinę wewnętrzną zabezpieczającą materiał konstrukcyjny przed oddziaływaniem mechanizmów degradacji współczynnik uszkodzenia ze względu na pocienia możemy zredukować, zgodnie z zależnością:

$$D_{f-gov}^{hin} = \min \left[D_f^{thin}, D_f^{elin} \right]$$

$$D_f^{elin} = D_{fB}^{elin} \cdot F_{LC} \cdot F_{OM}$$

W tym przypadku F_{LC} jest współczynnikiem uwzględniającym kondycję wykładziny, a F_{OM} współczynnikiem uwzględniającym skuteczność systemu monitoringu szczelności wykładziny.

Uszkodzenia zewnętrzne

$$D_{f-gov}^{extd} = \max \left[D_f^{extf}, D_f^{CUIF}, D_f^{ext-CLSCC}, D_f^{CUL-CLSCC} \right]$$

Stale ferrytyczne

- Korozja atmosferyczna elementów nieizolowanych
- Korozja pod izolacją

Stale austenityczne

- Pękanie naprężeniowe chlorkowe elementów izolowanych i nieizolowanych

Kruche pękanie

$$D_{f-gov}^{b-it} = \max \left[\left(D_f^{brit} + D_f^{tempe} \right), D_f^{885F}, D_f^{sigma} \right]$$

- Kruche pękanie (Brittle Fracture)
- Kruchłość z powodu starzenia wysokotemperaturowego (Temper Embrittlement)
- Kruchłość w temperaturze 474°C (885°F Embrittlement)
- Kruchłość fazy Sigma i Chi (Sigma Phase Embrittlement)

Naprężeniowe pękanie korozyjne

$$D_{f-gov}^{scc} = \max \left[D_f^{caustic}, D_f^{amine}, D_f^{scc}, D_f^{HIC/SOHC-H_2S}, D_f^{ACSCC}, D_f^{BASCC}, D_f^{CLSCC}, D_f^{HSC-HF}, D_f^{HIC/SOHC} \right]$$

- Pękanie naprężeniowe kaustyczne (Caustic Stress Corrosion Cracking (Caustic Embrittlement))
- Pękanie naprężeniowe aminowe (Amine Stress Corrosion Cracking)
- Pękanie naprężeniowe siarczkowe (Pęcherze wodorowe / Nawodornianie / Pękanie naprężeniowe) (Wet H₂S Damage (Blistering / HIC / SOHC / SSC))
- Pękanie naprężeniowe węglanowe (Alcaline Carbonate Stress Corrosion Cracking)
- Pękanie naprężeniowe w środowisku kwasu wielotlenowego (Polythionic Acid Stress Corrosion Cracking (PASCC))
- Pękanie naprężeniowe chlorkowe (Chloride Stress Corrosion Cracking (CLSCC))

Zmęczenie mechaniczne elementów rurociągów

Współczynnik wyznacza się, uwzględniając m.in. geometrię rurociągu i sposób podłączenia odgałęzień, charakter wibracji i liczbę cykli.

Wysokotemperaturowy atak wodorowy

D_f^{mfat} Dotyczy elementów ze stali węglowej, C-½ Mo i stali niskostopowych Cr-Mo narażonych na wysokotemperaturowy atak wodorowy. Wartość współczynnika wyznacza się w odniesieniu do tzw. reprezentatywnych krzywych Nelsona

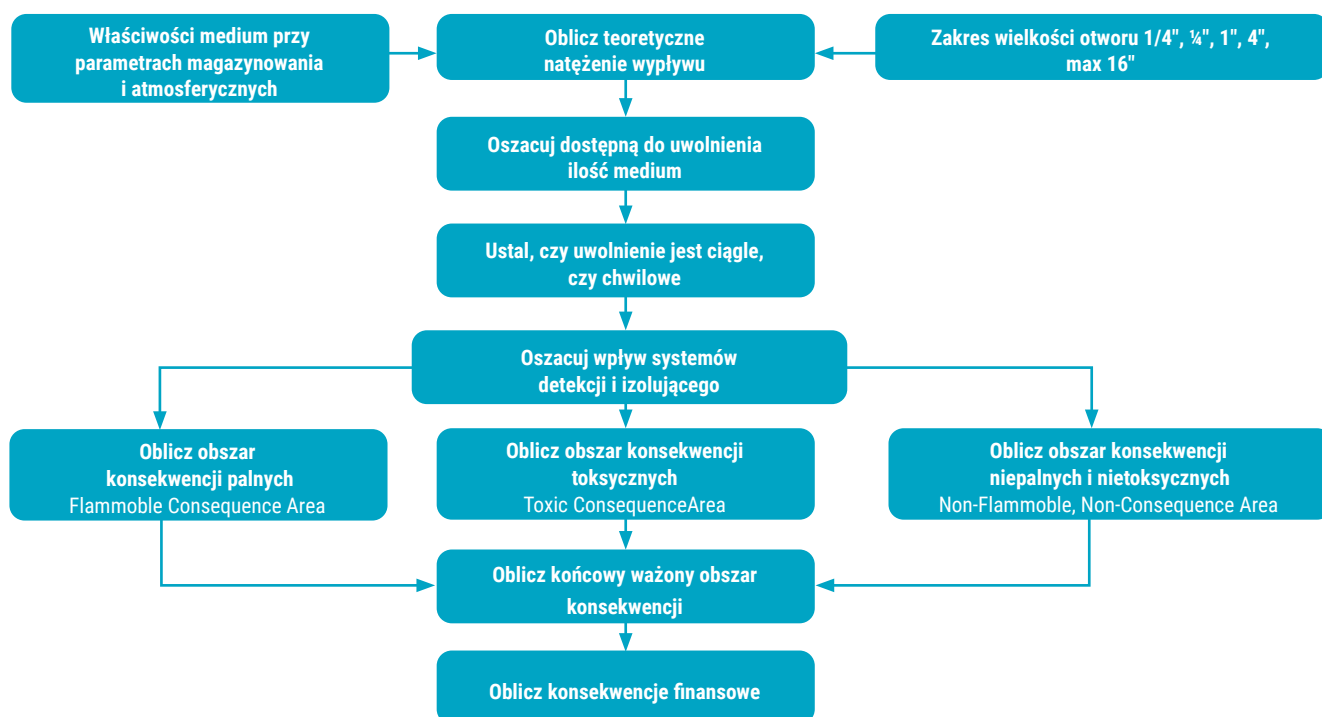
(Representative Nelson Curve) zawartych w standardzie API RP 941, uwzględniając rodzaj materiału, temperaturę roboczą i ciśnienie parcjale wodoru.

Typ systemu detekcji	Klasyfikacja
Oprządowanie zaprojektowane specjalnie do wykrywania wycieku poprzez monitorowanie zmian warunków pracy w systemie (tj. obniżenie ciśnienia lub przepływu)	A
Odpowiednio rozmieszczone detektory w celu wykrycia wycieku medium z przestrzeni ciśnieniowych	B
Detekcja wizualna, monitoring wizyjny (kamery) lub detektory wycieku medium monitorujące marginalny zakres systemu	C
Typ systemu separującego	Klasyfikacja
Systemy separujące lub wyłączania awaryjnego aktywowane bezpośrednio z oprządowania procesowego lub detektorów wycieku, bez interwencji operatora	A
Systemy separujące lub wyłączania awaryjnego aktywowane przez operatorów w sterowni lub innych odpowiednich miejscach oddalonych od miejsca wycieku	B
Separowanie zależne od zaworów obsługiwanych ręcznie	C

Następnie zależnie od zastosowanego poziomu obliczeń (poziom 1 lub 2) wyliczamy ilość uwolnionego w przypadku awarii płynu. Obliczamy za tym obszary dla konsekwencji palnych, toksycznych oraz niepalnych i nietoksycznych. Wynikiem tych obliczeń będzie obszar wyrażony w metrach kwadratowych, który zostanie objęty konsekwencjami.

- **Obszary konsekwencji palnych i wybuchowych obliczane są z zastosowaniem zdefiniowanych drzew zdarzeń, o których wspomniano wcześniej.** Wykorzystujemy zawarte w nich prawdopodobieństwa określonych efektów fizycznych, tj. BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion), VCE (Vapour Cloud Explosion).
 - Obszar konsekwencji obliczany jest w odniesieniu do poważnych obrażeń personelu i uszkodzenia wyposażenia wskutek promieniowania cieplnego i ciśnienia wybuchu.
 - Straty finansowe wyliczane są na podstawie uszkodzeń wyposażenia znajdującego się w obszarze dotkniętym konsekwencjami.
- **Obszar konsekwencji toksycznych obliczany jest z zastosowaniem modeli dyspersji par substancji toksycznych w powietrzu.** W przypadku personelu narażonego na oddziaływanie toksyczne – par – zależnie od ich stężenia w powietrzu. Straty finansowe wyliczane są na podstawie obszaru dotkniętego uwolnieniem.
- **Obszar konsekwencji niepalnych i nietoksycznych oblicza się na podstawie zagrożeń dla personelu wynikających z rozprysku substancji chemicznych.** Na przykład mówimy o substancjach żrących, oparzeniu płynami uwalnianymi o wysokiej temperaturze, m.in. parą wodną, oraz wybuchach fizycznych wynikających z rozprężania się gazów. Obszar konsekwencji obliczany jest podobnie jak konsekwencje palne w odniesieniu do poważnych obrażeń personelu i uszkodzenia wyposażenia. W każdym z powyższych modeli obliczeniowych stosujemy odpowiednie kryteria w odniesieniu do personelu, wyposażenia, np. dopuszczalne narażenie na promieniowanie cieplne czy dopuszczalne ciśnienia dla wybuchów.

Wyznaczenie obszarów narażonych na konsekwencje stanowi zasadniczy element modelowania konsekwencji i w praktyce może być wykonane z zastosowaniem dedykowanego oprogramowania obliczeniowego.



Rys. 4. Schemat postępowania przy wyznaczaniu konsekwencji uszkodzenia COF Level 1 wg standardu API RP 581

Po wyznaczeniu poszczególnych obszarów skutków należy wyznaczyć końcowy obszar objęty konsekwencjami z uwzględnieniem prawdopodobieństwa wystąpienia poszczególnych obszarów wynikających z modeli obliczeniowych. Końcowy obszar dotknięty konsekwencjami to największy obszar uzyskany z poszczególnych modeli obliczeniowych, którego prawdopodobieństwo wystąpienia jest największe.

PRZYKŁAD

Przykładowo w modelowaniu wpływu płynu o właściwościach palnych, ale jednocześnie toksycznych, wybór końcowych konsekwencji zależy będzie między innymi od prawdopodobieństwa zapłonu takiego płynu po jego uwolnieniu i stężeń w powietrzu, które mogą zagrażać personelowi. Jeżeli płyn będzie cechował się stosunkowo wąskim zakresem stężeń palnych (stężenie pomiędzy dolną i górną granicą palności) i jednocześnie minimalna energia zapłonu dla tego płynu będzie stosunkowo wysoka, to prawdopodobieństwo zapłonu będzie znacznie mniejsze niż dyspersja bez zapłonu. W takim przypadku prawdopodobieństwo skażenia toksycznego będzie zdecydowanie większe, a zatem będzie decydowało o wielkości obszaru narażonego na skutki końcowe.

Modelowanie konsekwencji w metodologii RBI jest niezbędnym elementem do ustalenia wartości ryzyka, a zatem stanowi nieodłączny element RBI.

W artykule przedstawiono zasady modelowania konsekwencji w bardzo ogólnym ujęciu, którego celem jest określenie głównych założeń. Praktyczne obliczenia są przeprowadzane z zastosowaniem dedykowanego oprogramowania i opierają się na modelowaniu dyspersji gazów, modelowaniu wybuchów fizycznych i cieplnych czy wyznaczaniu natężenia strumienia ciepła powstałego wskutek spalania płynów.

Analizując wyniki obliczeń ryzyka, należy zweryfikować założenia przyjmowane do obliczeń oraz szereg danych służących do modelowania. Z tego powodu stosowane oprogramowanie obliczeniowe powinno posiadać model obliczeniowy zgodny w przyjętym standardem odniesienia, którym jest w przypadku urządzeń podlegających dozorowi technicznemu standard API RP 581, będący uznanym standardem odniesienia w tym zakresie.

Analizując wyniki obliczeń konsekwencji zgodnie z przedstawioną metodologią, należy mieć na uwadze, że posiada ona również ograniczenia, jak chociażby nieuwzględnienie efektu domina. Jednak ponieważ w metodologii RBI wyznaczenie konsekwencji służy do dokonania rankingu ryzyka poszczególnych analizowanych komponentów, ograniczenie to nie wpływa w sposób istotny na jej skuteczność.

Wyniki uzyskiwane z przedstawionego modelu obliczeń konsekwencji mogą również służyć jako dane wejściowe do zarządzania bezpieczeństwem procesowym zakładu, w tym zapobiegania poważnym awariom przemysłowym. Jednak ich bezpośrednie zastosowanie wymaga oceny, aby zachować spójność z wdrożonym w zakładzie systemem zarządzania bezpieczeństwem.

SKUTECZNOŚĆ RBI

Podsumowując, należy wspomnieć jeszcze o dwóch istotnych kwestiach dotyczących skuteczności procesu RBI, którymi są: oprogramowanie stosowane do prowadzenia obliczeń ryzyka oraz kompetencje personelu, który je przeprowadza.

OPROGRAMOWANIE

Skuteczne prowadzenie obliczeń ryzyka w RBI wymaga stosowania specjalnego oprogramowania. W przypadku gdy RBI ma być wykorzystywane do planowania inspekcji urządzeń podlegających dozorowi technicznemu, wybór oprogramowania musi być uzgodniony z UDT. Model obliczeniowy powinien być zgodny ze standardem API RP 581. Oczywiście, obliczenia stosowane w RBI mogą być wykonane ręcznie, jednakże nie zapewniałoby to wystarczającej dynamiki obliczeń i byłoby nieskutecznym narzędziem do zarządzania ryzykiem.

PERSONEL

Konieczne jest zapewnienie odpowiednich kompetencji personelu, który wykonuje obliczenia ryzyka. Niedobór wiedzy w zakresie metodologii prowadzenia obliczeń może skutkować pominięciem istotnych z punktu widzenia obliczeń elementów. Wynik uzyskany z obliczeń zależy głównie od danych wejściowych, które analityk ryzyka wykonujący obliczenia ma obowiązek zwalidować. **Niezrozumienie ryzyka, czyli czynników, które wpływają na jego wartość, jest podstawowym i niedopuszczalnym błędem w stosowaniu RBI.** Sytuacja, w której na postawione pytanie: „Dlaczego należy wykonać taki zakres badań?” pada odpowiedź: „Tak wyszło z obliczeń” lub „Program policzył”, może być sygnałem, że nie rozumiano czynników wpływających na wartość ryzyka.

Istotą RBI jest praca zespołu ekspertów, których zadaniem jest obiektywna ocena zebranych i wiarygodnych danych w celu zrozumienia czynników wpływających na ryzyko i wykonanie obliczeń, pokazujących jego wartość. **Na tej podstawie można uzyskać odpowiedzi na pytania: kiedy, w jakim zakresie i jakimi metodami wykonać inspekcje urządzeń, aby były one skuteczne do utrzymania ryzyka na akceptowalnym poziomie.**

Staramy się nieustannie doskonalić realizowane procesy i między innymi dlatego UDT przystąpiło do pilotażowego projektu wdrożenia metodologii tzw. cyfrowego bliźniaka (Digital Twin) dla urządzeń ciśnieniowych w instalacji przemysłowej, który w naturalny sposób jest rozwinięciem zdobytych przez ostatnie kilkanaście lat doświadczeń w predykcji zużycia urządzeń w przemyśle rafineryjnym i petrochemicznym.

Literatura:

1. PN-ISO 31000, marzec 2012, Zarządzanie ryzykiem Zasady i wytyczne.
2. API RP 580 Risk-based Inspection, third edition, February 2016.
3. API RP 581 Risk-based Inspection Methodology, third edition, April 2016.
4. WUDT-RBI Warunki Urzędu Dozoru Technicznego – Planowanie inspekcji urządzeń ciśnieniowych w oparciu o analizę ryzyka RBI (Risk Based Inspection). Wymagania ogólne, tryb postępowania, dokumentacja. Edycja 11.2022.