

RISK-BASED INSPECTION

CZĘŚĆ 3 – MODELOWANIE KONSEKWENCJI USZKODZENIA COF



TOMASZ KLINKOSZ

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

Dzięki wdrożeniu skutecznego Programu RBI powstało narzędzie do ciągłego doskonalenia utrzymania ruchu i systematycznego zmniejszania ryzyka związanego z uszkodzeniami urządzeń ciśnieniowych w instalacjach przemysłowych [1].

Podstawy metodologii RBI oraz obliczeń prawdopodobieństwa omówiono w poprzednich artykułach z tego cyklu, które ukazały się w tegorocznych wydaniach biuletynu „INSPEKTOR”.

Analiza konsekwencji w RBI jest przeprowadzana w celu różniczenia 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.

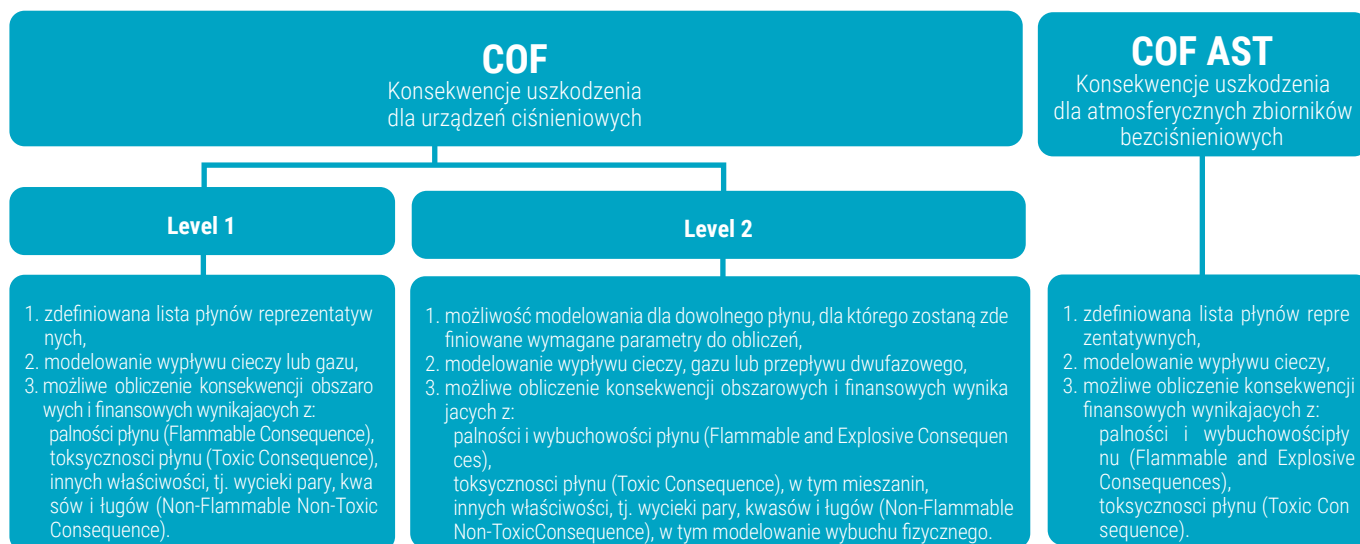
Jak wspomniano wcześniej, analizę przeprowadza się w celu oszacowania następstw, które mogą wystąpić z powodu określonego typu uszkodzenia, zwykle wynikającego ze zidentyfikowanych mechanizmów degradacji oddziałujących na konstrukcję analizowanego komponentu.

Konsekwencje możemy ogólnie skategoryzować na mające wpływ na:

- a) bezpieczeństwo osób,
- b) środowisko,
- c) finanse organizacji.

- 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 znaczenie 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).

Na rysunku nr 1 przedstawiono ogólną zawartość poszczególnych modeli obliczeniowych. Istotne są ich ograniczenia, ponieważ w znacznej mierze decydują o możliwościach ich 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.



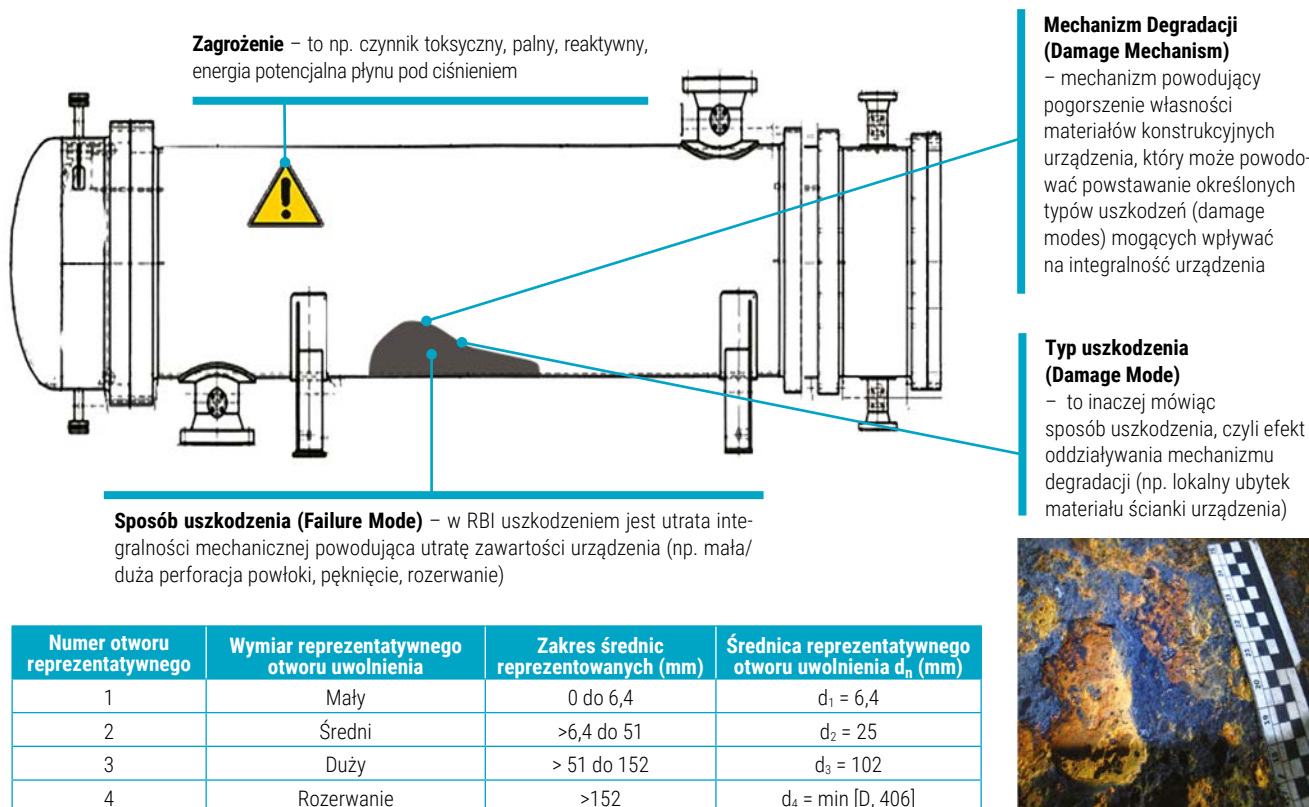
Rys. 1. Modele obliczeń konsekwencji uszkodzenia (COF) zawarte w standardzie API RP 581

Mając na uwadze fakt, że analiza konsekwencji w metodologii RBI skupia się na skutkach wynikających z oddziaływania aktywnych mechanizmów degradacji powodujących określone typy uszkodzeń, 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.

Na rysunku nr 2 pokazano kluczowe czynniki, które będą miały wpływ na wybór sposobu uszkodzenia, który zostanie uwzględniony w modelu obliczeniowym konsekwencji uszkodzenia. Standard API RP 581 określa możliwe do przyjęcia średnice reprezentatywnych otworów o wymiarach przedstawionych na rysunku nr 2, które wykorzystywane są w obliczeniach teoretycznego natężenia wypływu, a tym samym służą do ustalania ilości uwolnionej substancji w wyniku uszkodzenia.

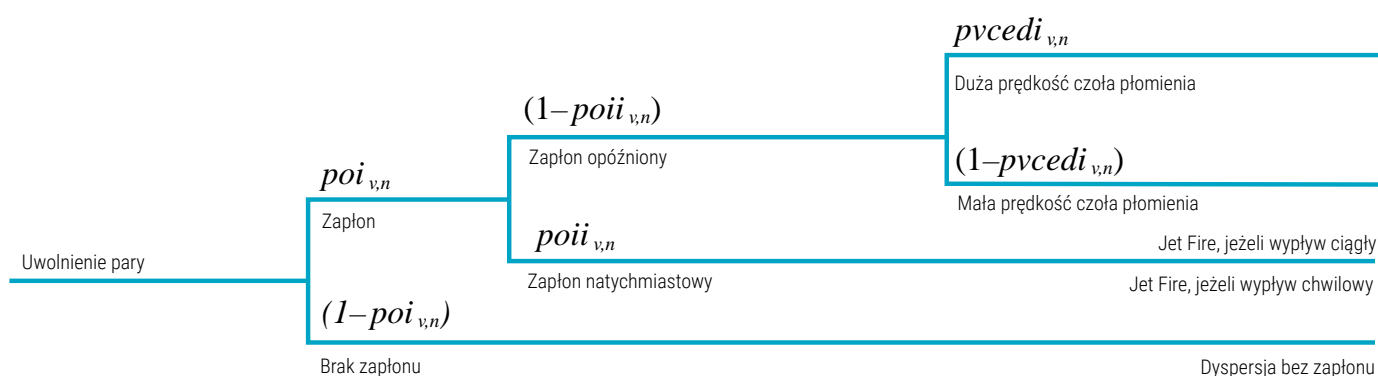


Rys. 2. Sposoby uszkodzenia uwzględniane w modelu COF zgodnie ze standardem API RP 581

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 atmosfery.

Jednym z parametrów mających wpływ na wielkość konsekwencji wynikających z wybuchu płynu, który uwolni się do otoczenia, jest temperatura robocza. Decyduje ona nie tylko o tym, 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]

Podsumowując, można powiedzieć, 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.

W zależności 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

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" (406mm), nastąpi w krótkim czasie uwolnienie całej masy dostępnej w urządzeniu oraz inventory group. Taki wypływ będzie wypływem chwilowym. Przeciwnie efekty będą miały 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 ilości uwolnionego w przypadku wycieku płynu (współczynnik $fact_{di}$) oraz ograniczenie czasu trwania wycieku (współczynnik $fact_{dt}$) dzięki zastosowaniu współczynników korekcyjnych.

Tabela 4.5 – Wytyczne do systemu klasyfikacji systemów detekcji i separacji

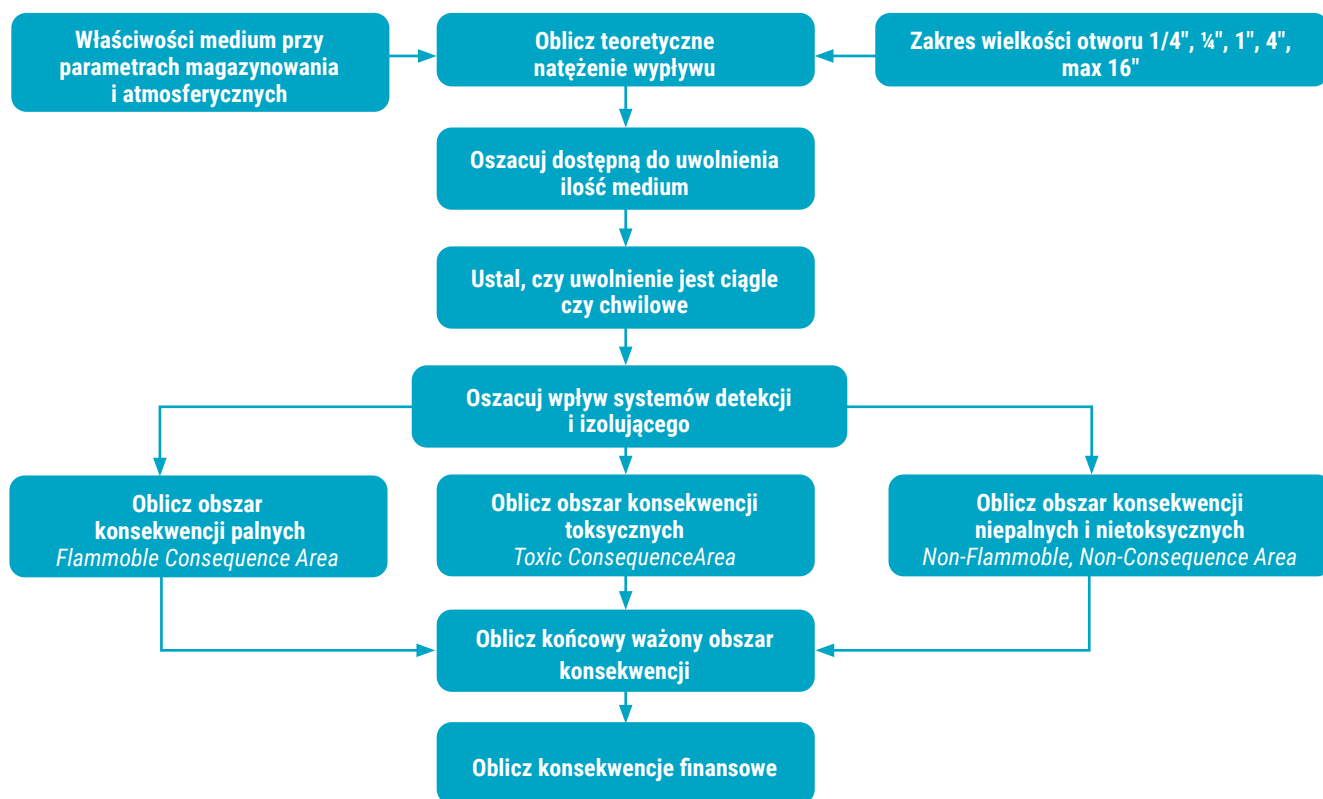
Typ systemu detekcji	Klasyfikacja
Oprządowanie zaprojektowane specjalnie do wykrywania wycieku poprzez monitorowanie zmian warunków pracy w systemie (tj. obniżenie ciśnienia lub przepływu).	A
Odpowiednio rozmieszczone detektory w celu wykrycia wycieku medium z przestrzeni ciśnieniowych.	B
Detekcja wizualna, 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), należy wyliczyć 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.** Wykorzystuje się 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 ciepłego 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, tj. 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 ciepłe czy dopuszczalne ciśnienia dla wybuchów.

Wyznaczenie obszarów narażonych na konsekwencje stanowi zasadniczy element modelowania konsekwencji i w praktyce może być wykonywane 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 obszar końcowy objęty konsekwencjami z uwzględnieniem prawdopodobieństwa wystąpienia poszczególnych obszarów wynikających z modeli obliczeniowych. Obszar końcowy dotknięty konsekwencjami to największy obszar uzyskany z poszczególnych modeli obliczeniowych, którego prawdopodobieństwo wystąpienia jest największe.

PRZYKŁAD

Podczas modelowania wypływu płynu o właściwościach palnych i 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.

W artykule przedstawiono zasady modelowania konsekwencji w bardzo ogólnym ujęciu, którego celem jest przedstawienie 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.

Podczas analizy wyników obliczeń ryzyka istotne jest zweryfikowanie założeń przyjmowanych do obliczeń oraz szeregu danych służących do modelowania. Z tego powodu stosowane oprogramowanie obliczeniowe powinno posiadać model obliczeniowy zgodny w przyjętym standardem odniesienia, którym jest w przypadku urzędów podlegających dozorowi technicznemu standard API RP 581, będący uznanym standardem odniesienia w tym zakresie.

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

Analizując wyniki obliczeń konsekwencji zgodnie z przedstawioną metodologią, należy mieć na uwadze, że posiada ona również ograniczenia, jak chociażby nieuwzględnienie efektu domina. Niemniej jednak z uwagi na fakt, że w metodologii RBI wyznaczenie konsekwencji służy do tworzenia 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 zapobieganiu poważnym awariom przemysłowym. Jednak ich bezpośrednie zastosowanie wymaga oceny, aby zachować spójność z wdrożonym w zakładzie systemem zarządzania bezpieczeństwem.

Literatura:

1. API RP 580 Risk-based Inspection, third edition, February 2016
2. API RP 581 Risk-based Inspection Methodology, third edition, April 2016