

HENRYK FIDOS
JAROSŁAW SOWIŃSKI
RAFAŁ KROKOS
MAREK DZIUBIŃSKI

Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, Łódź

Badanie dystrybucji cieczy wypływającej z otworów o złożonych kształtach

Wprowadzenie

Tworzenie się rozlewisk cieczy podczas awarii zbiorników, bądź rurociągów przemysłowych, jest zagadnieniem bardzo ważnym. Wypływ cieczy, który może powodować powstawanie rozlewiska, może zaistnieć w trakcie prowadzenia szeregu procesów produkcyjnych i może mieć miejsce w różnych punktach instalacji, gdzie ciecz transportowana jest jako substrat do produkcji wyrobu. Wypływ może także wystąpić w fazie magazynowania substratu lub uzyskanego produktu ciekłego. Takie przypadki mogą mieć miejsce w zakładach przemysłowych zajmujących się przetwórstwem paliw i dystrybucją produktów naftowych, w przemyśle farmaceutycznym, chemicznym, papierniczym, spożywczym, w instalacjach magazynowania i przeladunku cieczy, bądź gazów technicznych.

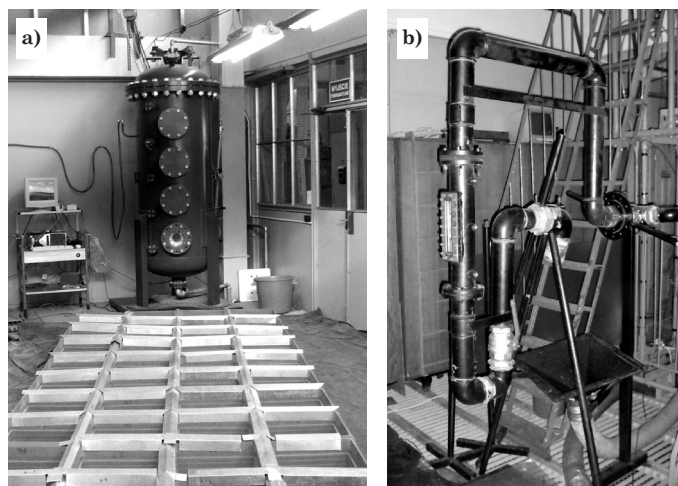
Awaryjne wypływy spowodowane mogą być pęknięciami na skutek zmęczenia materiału, w wyniku obciążeń mechanicznych lub cieplnych, na jakie mogą być narażone ścianki zbiorników i rurociągów, jak również pęknięciami wadliwych elementów instalacji. Mogą także występować na skutek rozszczelnień, będących wynikiem wibracji, korozji, bądź uderzeń hydraulicznych, na skutek wycieków z niewłaściwie uszczelnionych połączeń kołnierzowych, czy też wycieków z nieszczelnych pomp, itp.

Umiejętność przewidywania podstawowych parametrów wypływu cieczy i procesów rządzących tworzeniem się rozlewiska spowoduje, iż będzie można odpowiednio reagować w takich sytuacjach i właściwie przeciwdziałać skutkom potencjalnych wypadków. Wiedza o możliwych zagrożeniach i skali, w jakiej mogą wystąpić, może przyczynić się do właściwego sterowania procesami technologicznymi, a także do takiego konstruowania urządzeń, aby w przypadku wystąpienia awarii nie dochodziło do zagrożeń dla środowiska, a przedsiębiorstwa nie były narażone na poważne straty materialne.

W realizowanej pracy podjęto próbę określenia zjawisk jakie towarzyszą wypływowi i mają istotny wpływ na powstawanie rozlewisk – na ich początkowy kształt oraz na miejsce ich zaistnienia. Dzięki znajomości tego rodzaju problemów będzie można poczynić stosowne założenia już w fazie projektowej różnych elementów aparatury, takich jak: zbiorniki, rurociągi, otwory i dysze wylotowe. Pozwoli to również na optymalizację systemów zabezpieczeń przeciw powstawaniu i rozprzestrzenianiu się rozlewisk, a także przyczynić się do ograniczenia strat materiałów w wyniku awarii oraz strat będących wynikiem kosztów ponoszonych na remonty uszkodzonych instalacji oraz do ograniczenia strat energii.

Instalacje doświadczalne

Podczas prowadzonych badań wykorzystywano dwie instalacje doświadczalne (Rys. 1). Instalacje te umożliwiały badanie wypływów z otworów usytuowanych na ścianie zbiornika ciśnieniowego i na ścianie rurociągu ciśnieniowego. Zarówno na ścianie zbiornika, jak też rurociągu możliwe było instalowanie wkładek z otworami wypływowymi o tych samych kształtach. Badano otwory w kształcie szczelin – prostych i załamanych w kształt litery V, usytuowanych pod różnymi kątami. Otwór wypływowy znajdował się w określonym położeniu w stosunku do płaszczyzny wypływu. Przed otworami wypływowymi rozstawiano połączone ze sobą szczelnie pojemniki o kwadratowym przekroju wlotu, do których odbierano strumienie wypływającej cieczy. Pojemniki były ważone przed i po wykonaniu pojedynczego eksperymentu, a masa cieczy w nich zawarta pozwalała ocenić, jaka część strumienia osiągała określony fragment powierzchni wypływu.

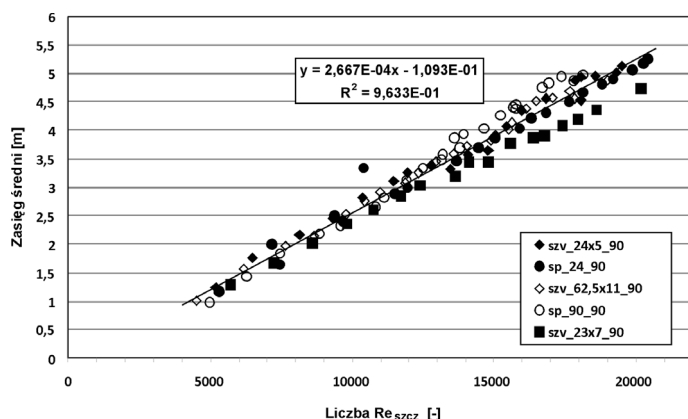


Rys. 1. Instalacje badawcze: a) instalacja do badań wypływów z otworów usytuowanych na ścianie zbiornika ciśnieniowego; b) instalacja do badań wypływów z otworów usytuowanych na ścianie rurociągu ciśnieniowego

Opracowanie wyników badań

W trakcie wypływu mierzono takie parametry geometryczne wypływającej strugi, jak średnie zasięgi wypływającej strugi oraz rozrzuty cieczy zgodne z kierunkiem wypływu i doń prostopadle [1].

Przykładowy wykres przedstawia wartości średnich zasięgów strumienia wypływającego z otworów na ścianie rurociągu w zależności od liczby *Reynoldsa* liczonej dla przepływu



Rys. 2. Wykres zbiorczy zależności średniego zasięgu strumienia od liczby *Reynoldsa* w badanym otworze, opracowany dla wszystkich badanych otworów wypływowych instalowanych na rurociągu ciśnieniowym

w szczelinie (Rys. 2). Na wykresie tym daje się zaobserwować liniowy wzrost średniego zasięgu strumienia cieczy w funkcji liczby *Reynoldsa* – niezależnie od rodzaju i konfiguracji otworu wypływowego. Przedstawiona korelacja dotyczy konkretnego przypadku lokalizacji otworu wypływowego względem płaszczyzny, na którą wpływa ciecz.

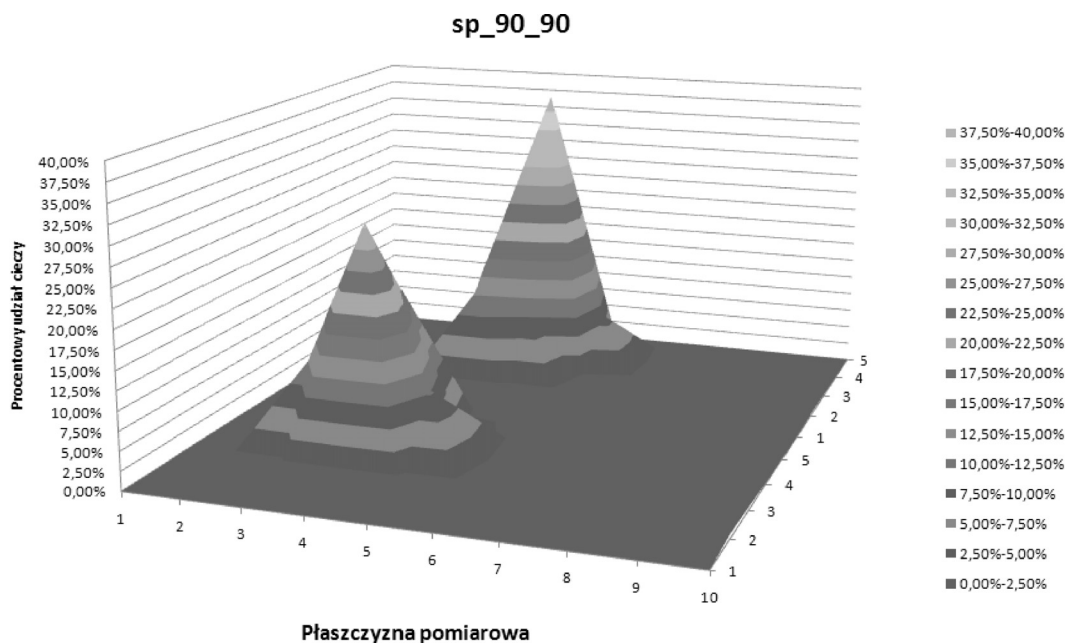
W legendzie wykresu zawarte są dane dotyczące testowanych otworów wypływowych. Badano otwory wypływowe w postaci szczelin załamanych na kształt litery V (oznaczenie „szv” w legendzie wykresu) oraz szczelin prostych (oznaczenie „sp”). Liczby oznaczają wymiary szczelin oraz kąt w stosunku do poziomu (90 oznacza usytuowanie pionowe szczeliny).

pojemnika. W oparciu o udział cieczy w każdym z nich, można było sporządzić trójwymiarowe wykresy przedstawiające dystrybucję cieczy na płaszczyźnie poziomej. Zastosowanie takiego sposobu odbioru wypływającego strumienia cieczy, umożliwiło ocenę jego rozprzestrzeniania się na płaszczyźnie.

Na wykresie (Rys. 3), opracowanym na podstawie obliczonego udziału cieczy w pojemnikach pomiarowych, przedstawiono porównanie rozlewisk cieczy tworzących się podczas wypływu cieczy ze zbiornika i rurociągu – dla tego samego otworu – szczeliny prostej ustawionej prostopadle do poziomu płaszczyzny pomiarowej, o symbolu „sp_90_90”.

Jest to wykres trójwymiarowy, którego podstawa (płaszczyzna) podzielona jest na elementarne obszary w postaci kwadratów o powierzchniach równych powierzchniom wlotów pojemników pomiarowych. Powierzchnie kolejnych warstw odpowiadają procentowym udziałom cieczy na danym obszarze.

Przedstawiona powyżej stanowi jedynie przykład metody badawczej, jaka może być użyta do oceny dystrybucji cieczy na płaszczyznę poziomą i tym samym do prognozowania rozmiarów tworzącego się rozlewiska. Uzyskane wyniki pomiarów dotyczyły wypływów badanej cieczy z otworów wypływowych o określonych kształtach, usytuowanych w określony sposób w stosunku do płaszczyzny wypływu. Stąd uogólnienie wyników nie może być dokonane bez przeprowadzenia kolejnych serii badań, które są bardzo czasochłonne. Badania takie są kontynuowane i pozwolą z pewnością na sformułowanie uogólnień dotyczących dystrybucji na płaszczyznę strumieni różnych cieczy, wypływających z otworów o różnych kształtach.



Rys. 3. Rozmieszczenie pojemników pomiarowych i udział procentowy cieczy podczas wypływów z otworu (szczeliny prostej usytuowanej pionowo), dla: a) zbiornika, b) rurociągu

Jak widać na wykresie (Rys. 2), zmierzone wartości średnich zasięgów strumieni bardzo dobrze korelują się w funkcji liczby *Reynoldsa* obliczanej dla przekroju badanego otworu, niezależnie od jego kształtu powierzchni.

Na podstawie masy cieczy zgromadzonej w pojemnikach obliczano procentowy udział cieczy, jaka trafiła do określonego

LITERATURA

1. H. Fidos, M. Dziubiński, J. Sowiński, R. Krokos: Sprawozdanie z realizacji projektu badawczego nr 3 T09C 014 28, „Hydrodynamika wypływów jedno i dwufazowych w zagadnieniach bezpieczeństwa i ryzyka przemysłowego”, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej, Łódź, 2009.