

Rafał KROKOS, Marek DZIUBIŃSKI, Henryk FIDOS

e-mail: rkrokos@wipos.p.lodz.pl

Katedra Inżynierii Chemicznej, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, Łódź

## Wypływy typu *jet* z instalacji procesowych

### Wstęp

Transport surowców, półproduktów i produktów w przewodach oraz ich magazynowanie w zbiornikach, stanowi istotny element nowoczesnych rozwiązań technologicznych w różnych gałęziach przemysłu.

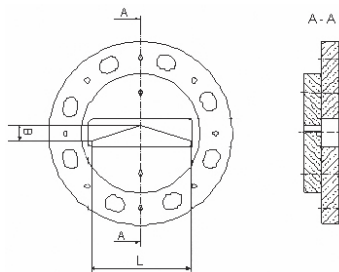
W związku z lawinowym wzrostem wykorzystania rurociągów i zbiorników w różnych gałęziach przemysłu rośnie też poziom zagrożeń, które będą się pojawiać wszędzie tam, gdzie takie linie przesyłowe i miejsca składowania będą występować. Do podstawowych zagrożeń występujących na obszarach, przez które biegną rurociągi lub znajdują się zbiorniki należą: rozszczelnienia, których konsekwencją są wycieki typu *jet*. Wycieki ciekłych substancji niebezpiecznych mogą być przyczyną zanieczyszczenia środowiska naturalnego; zarówno: gleby, powietrza jak i wody. Oprócz zagrożenia dla środowiska występuje także niebezpieczeństwo wybuchów i pożarów. Zdarzenia takie pociągają mogą za sobą straty zarówno materialne jak i ludzkie.

W pracy przedstawiono wyniki badań oraz materiał fotograficzny mających na celu opis wypływów awaryjnych typu *jet* ze względu na ich właściwości takie jak: zasięg wypływu, kształt strumienia i jego wymiary pozostające w zależności od parametrów hydrodynamicznych panujących w instalacji oraz otworze wypływowym.

W pracy wykonano badania wypływów typu *jet* oraz geometrii wypływającego strumienia ze szczelin o różnym kształcie.

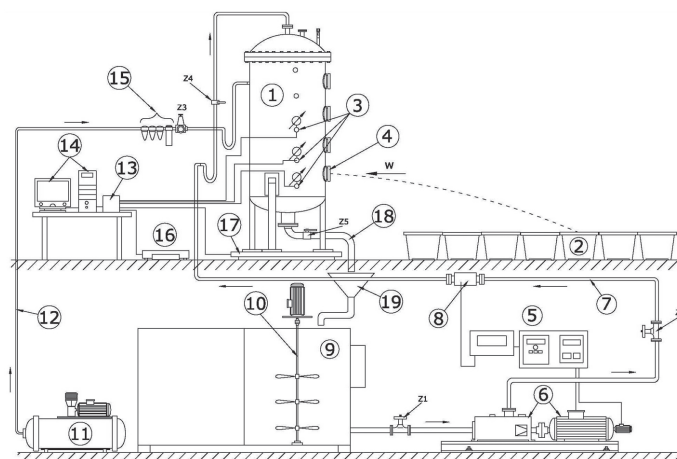
### Instalacja badawcza

Schemat instalacji badawczej przedstawiono na rys. 2. W trakcie badań wykorzystywano zbiornik ciśnieniowy, kołnierzyowy o dnie elipsoidalnym, wolnostojący na łapach spawanych zabezpieczony wewnętrzną ochronną powłoką polimerową. Wyposażony był on w wiele króćców pomiarowych – 4 dostosowanych do instalowania specjalnych wkładek z badanymi szczelinami wypływowymi (Rys. 1), a także w króćce czujników ciśnienia – 3 oraz służące do napełniania i opróżniania z mediów doświadczalnych oraz doprowadzania sprężonego powietrza. Masowe natężenie wypływu cieczy na podstawie zmian masy zbiornika w czasie określone było za pomocą precyzyjnej wagi elektronicznej – 17. Waga oraz mierniki ciśnienia współpracowały z komputerowym systemem akwizycji danych – 13, 14.



Rys. 1. Schemat wkładki ze szczeliną wypływową

Otwory wypływowe wykorzystywane w doświadczeniach miały postać szczelin prostych o różnych długościach i szerokości 1 mm, a także szczelin w kształcie litery V załamanych pod kątem 125° i 145°. Szczeliny badawcze zostały dobrane tak, aby dla każdej grupy kształtów miały one jednakową powierzchnię przekroju wypływu. Badania przeprowadzono dla szczelin usytuowanych pod kątem 0° i 180° do płaszczyzny podłoża. Tab. 1 przedstawia zestawienie wymiarów poszczególnych szczelin badawczych.



Rys. 2. Schemat instalacji do badań wypływu cieczy ze zbiornika [3]:

1 – zbiornik ciśnieniowy, 2 – pojemniki pomiarowe, 3 – manometry elektroniczne, 4 – króciec z wkładką wypływową, 5 – tablica kontrolna z przepływomierzem, 6 – pompa cyrkulacyjna z silnikiem elektrycznym, 7 – rurociąg transportujący medium badawcze, 8 – czujnik przepływomierza, 9 – zbiornik magazynowy medium doświadczalnego, 10 – mieszadło z silnikiem elektrycznym, 11 – sprężarka, 12 – rurociąg instalacji sprężonego powietrza, 13 – system akwizycji danych, 14 – komputer PC, 15 – zespół filtrów odolejający i reduktora, 16 – waga pomiarowa, 17 – waga zbiornika, 18 – rurociąg odpływowy, 19 – lej spustowy, Z – zawory

Tab. 1. Wykaz wymiarów szczelin wykorzystywanych w badaniach

Nr	Rodzaj szczeliny wypływowej	Długość L [mm]	Szerokość B [mm]
1.	Szczelina prosta mała (szczm, szczm90st)	24	1
2.	Szczelina prosta średnia (szczsr, szczsr90st)	64	1
3.	Szczelina prosta duża (szczd, szczd90st)	90	1
4.	Szczelina mała załamana pod kątem 125°, typu V (1z125m, 1z125m90st)	23	7
5.	Szczelina średnia załamana pod kątem 125°, typu V (1z125sr, 1z125sr90st)	59,5	13
6.	Szczelina mała załamana pod kątem 145°, typu V (1z145m, 1z145m90st)	24	5
7.	Szczelina średnia załamana pod kątem 145°, typu V (1z145sr, 1z145sr90st)	62,5	11

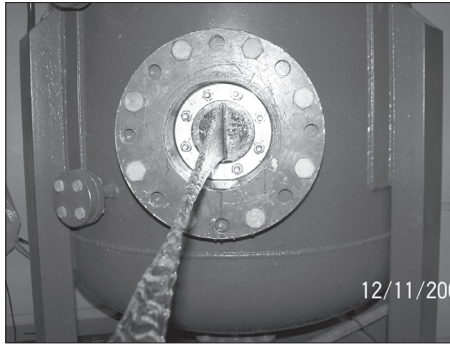
### Media doświadczalne

Do badań wykorzystano kilka mediów. Jako medium newtonowskie użyto wody wodociągowej, jej właściwości określone były w temperaturze wykonywanych pomiarów według danych literaturowych. Jako media nienewtonowskie wykorzystano wodne roztwory karboksymetylocelulozy (CMC) o stężeniu masowym 0,5 i 1,0%. Parametry reologiczne modelu potęgowego stosowanych roztworów wynosiły:

- roztwór 0,5% CMC:  $n = 0,824$ ,  $k = 0,04$  [Pa·s<sup>n</sup>]
- roztwór 1% CMC:  $n = 0,732$ ,  $k = 0,222$  [Pa·s<sup>n</sup>]

### Omówienie wyników

W wykonanych badaniach zaobserwowano nietypowe zachowanie wypływającej ze zbiornika strugi cieczy polegającej na jej obrocie o 180°. Zjawisko to nie było do tej pory opisane w dostępnej literaturze przedmiotu. Na rys. 3 przedstawiono zdjęcie wykonane podczas



Rys. 3. Zdjęcie przedstawiające obrót o 180° strugi 0,5% CMC wypływającej ze zbiornika przez szczelinę nr 3 (Tab. 1) ustawioną pod kątem 90° do podłoża przy wartości naciśnienia wewnątrz wynoszącej 0,38 bara

pomiaru wypływającego ze zbiornika ciśnieniowego roztworu 0,5% CMC przez szczelinę o długości 90 mm i szerokości 1 mm. ustawioną pod kątem 90° do podłoża. Wewnątrz zbiornika panowało naciśnienie wynoszące 0,38 bara. Wyraźnie widoczny jest początkowy punkt obrotu strugi o 180°. Punkt obrotu strugi oddalony jest od miejsca wypływu o 655 mm.

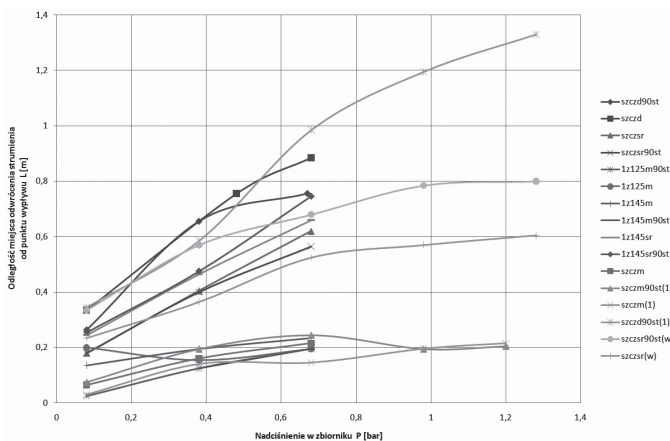
Zdjęcie na rys. 4 przedstawia obrót strugi wodnej przy wypływie ze zbiornika pod ciśnieniem 1,28 bara w odległości 0,8 m od pionowej szczeliny o długości 64 mm, natomiast rys. 6 obrót strugi 0,5% CMC w odległości 205 mm po wypływie ze szczeliny z jednym załamaniem pod kątem 125° o długości bezwzględnej 24 mm przy ciśnieniu 0,08 bara.

Na rys. 5 przedstawiono zbiorczy wykres przedstawiający zmianę odległości, na jakiej występuje obrót strugi wypływającej cieczy ze zbiornika w zależności od zmian naciśnienia panującego w tym zbiorniku.

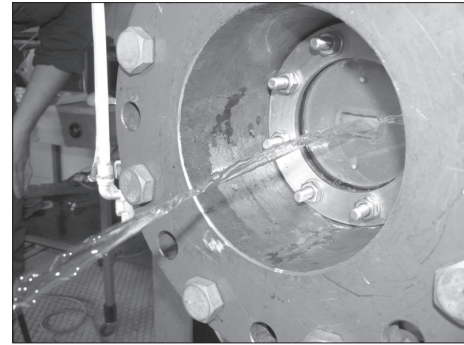
Analiza danych doświadczalnych przedstawionych na rys. 5 wskazuje na istnienie ścisłego związku pomiędzy wartościami odległości od otworu wypływowego punktu obrotu strugi, a wartością naciśnienia w zbiorniku. Należy zauważyć, że wśród rozpatrywanych szczelin badawczych wszystkie możemy podzielić na trzy grupy według ich bezwzględnej długości. Grupy te to szczeliny o łącznej długości 22, 64 i 90



Rys. 4. Zdjęcie przedstawiające obrót o 180° strugi wodnej wypływającej ze zbiornika przez szczelinę nr 2 (Tab. 1) przy wartości naciśnienia wewnątrz wynoszącej 1,28 bara

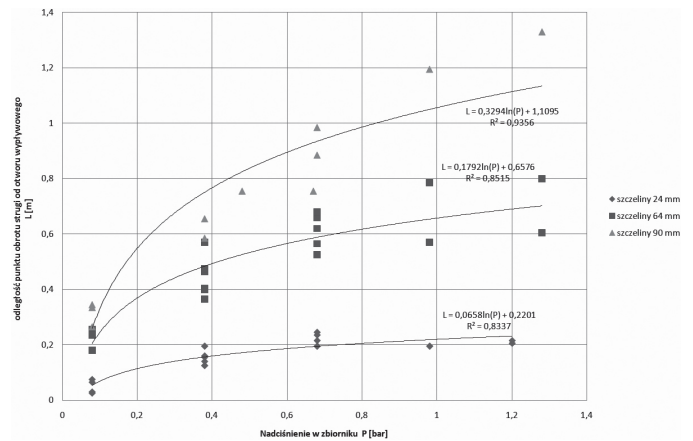


Rys. 5. Wykres zbiorczy przedstawiający zmianę odległości od punktu wypływu miejsca obrotu strugi o 180° w zależności od zmian wartości naciśnienia wewnątrz zbiornika z którego następował wypływ: (1) – wypływ 1% CMC, (w) – woda, bez oznaczenia wypływ 0,5% CMC



Rys. 6. Zdjęcie przedstawiające obrót o 180° strugi 0,5% CMC wypływającej ze zbiornika przez szczelinę nr 4 (Tab. 1) przy wartości naciśnienia wewnątrz zbiornika wynoszącego 0,08 bara

mm. Na odległość punktu obrotu strugi od otworu wypływowego nie miał wpływu charakterystyczny kształt szczeliny (nie zauważono wpływu kształtu szczeliny ani wpływu różnicy w kącie załamania szczeliny wypływowej), a jedynie jej bezwzględna długość. Na rys. 7 przedstawiono zależność odległości punktu obrotu strugi od otworu wypływowego od naciśnienia w zbiorniku. Dane doświadczalne określane na przykład, jako szczelina 24 mm dotyczą szczelin prostych i załamanych o tej samej sumarycznej długości uzyskane dla wody i wodnych roztworów CMC. Podobnie jest w przypadku pozostałych szczelin. Na wykresie tym naniesiono również proste równania korelacyjne danych doświadczalnych wraz ze współczynnikami korelacji.



Rys. 7. Zależność odległości punktu obrotu wypływającej ze zbiornika strugi od panującego w zbiorniku naciśnienia dla podstawowych grup szczelin o charakterystycznej długości otworu wypływowego

## Wnioski

Zaobserwowano i przebadano zjawisko obrotu o 180° wypływającego ze zbiornika strumienia cieczy. Zjawisko to obserwowano dla wszystkich przebadanych kształtów otworów wypływowych i stosowanych mediów doświadczalnych. Odległość miejsca odwrócenia strumienia od otworu wypływowego zależała wyłącznie od bezwzględnej długości szczeliny i naciśnienia panującego w zbiorniku. Zaproponowano proste równania korelacyjne opisujące to zjawisko.

## LITERATURA

- [1] 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.
- [2] H. Fidos, J. Sowiński, R. Krokos, M. Dziubiński: Inż. Ap. Chem. **48**, nr 6, 62 (2009).
- [3] H. Fidos, J. Sowiński, R. Krokos, M. Dziubiński: Inż. Ap. Chem. **48**, nr 6, 64 (2009).