

JANUSZ ROGULA\*

Politechnika Wrocławska  
Instytut Inżynierii Lotniczej, Procesowej  
i Maszyn Energetycznych

## Wpływ spadku temperatury i ciśnienia w rurociągu na przeciek przez przemysłowy zawór kulowy

Zawory kulowe stosowane są w miejscach, gdzie jest konieczne otwieranie lub zamykanie strumienia przepływu. Przeciek przez zamknięty zawór ma wpływ na sprawność całego układu przesyłu danego medium. W artykule przedstawiono wyniki badań pomiaru szczelności nowego zaworu kulowego w zakresie temperatury od  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Do pomiaru szczelności zastosowano metodę chromatografii gazowej, przy zastosowaniu helu jako gazu nośnego. Zmierzono przeciek wewnętrzny (pomiędzy kulą a uszczelnieniem). Zczelność zaworu mierzono przy nadciśnieniu azotu od  $0,5\text{ MPa}$  do  $5\text{ MPa}$ .

### 1 Wstęp

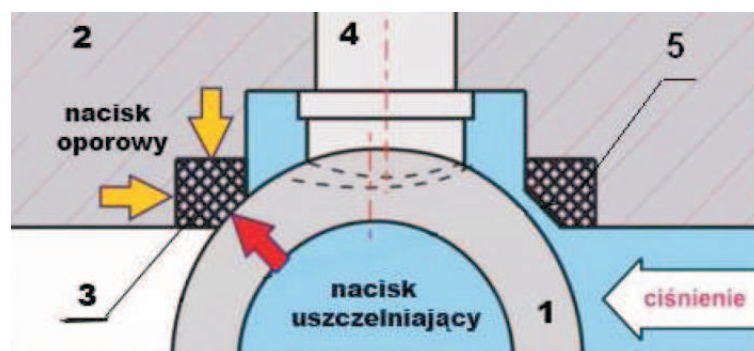
W najbliższej perspektywie gospodarka narodowa potrzebować będzie zaworów o wysokim poziomie szczelności, szczególnie podczas eksploatacji w niskiej temperaturze. Budowa terminalu gazowego, przesył rurociągami gazu łupkowego wymagają budowy nowych, szczelnych instalacji. Zwiększenia szczelności zaworów można dokonać przez modernizację węzłów uszczelniających, po przeprowadzeniu badań ich szczelności w warunkach zbliżonych do całorocznych warunków atmosferycznych a nawet ekstremalnych (do  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Zastosowanie chromatografii gazowej do oceny szczelności zaworów umożliwia wykonywanie pomiarów w temperaturze ujemnej przy przepływie dowolnego medium oraz pozwala w sposób ilościowy określić wyciek. Wyznaczenia wielkości wycieku z zaworu metodą chromatografii gazowej w temperaturze  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  dokonano po raz pierwszy w Polsce [1]. Znajomość wartości wycieku z zaworów w temperaturze ujemnej może być cenną informacją dla producentów zaworów.

---

\*E-mail: Janusz.Rogula@pwr.wroc.pl

## 2 Uszczelnienie kuli w zaworze kulowym

Budowę zaworu kulowego z kulą „pływającą” oraz funkcje jakie spełniają poszczególne elementy przedstawiono w [2], natomiast w niniejszym rozdziale opisano mechanizm uszczelnienia kuli w zaworze kulowym oraz wpływ ciśnienia roboczego na jego działanie. Na rys. 1 przedstawiono zawór z kulą „pływającą” z zamkniętym przelotem, gdy kula obciążona jest ciśnieniem czynnika od strony wlotu do zaworu. Szczelność wewnętrzną gwarantują współpracujące z kulą uszczelnienia 3 i 5, będące równocześnie podporami kuli. Uszczelnienia wykonane z czystego teflonu (politetrafluoroetyleny – PTFE) lub jego kompozytów, są osadzone w metalowym korpusie z obu stron kuli i dociskane do niej przez połączenie śrubami obu części korpusu 2. Obrót kuli 1 następuje po przyłożeniu momentu obrotowego do wystającej z kadłuba końcówki trzpienia 4.



Rysunek 1. Zawór z kulą „pływającą” [2]; 1 – kula zaworu, 2 – stalowy korpus zaworu, 3 – uszczelnienie na wylocie, 4 – trzpień, 5 – uszczelnienie na wlocie do zaworu

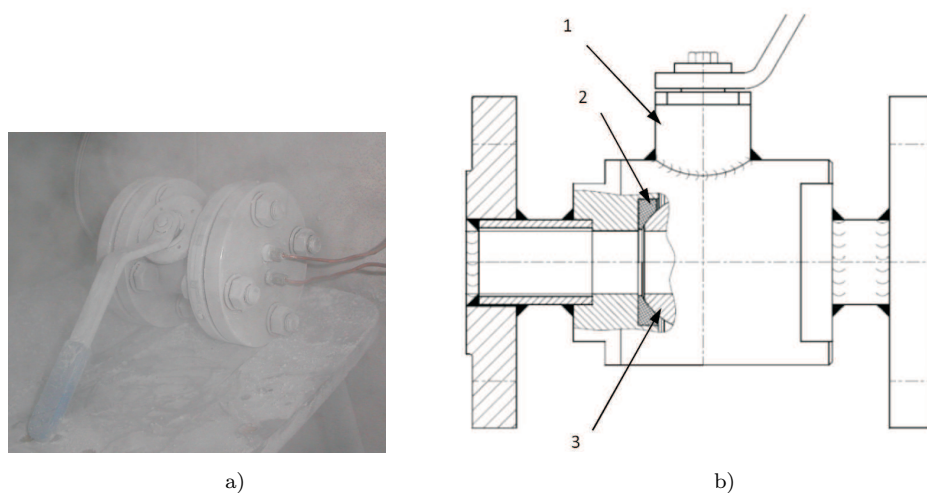
Przy zamkniętym przelocie ciśnienie czynnika oddziałując na powierzchnię kuli, przesuwają ją, powodując powstanie szczeliny. Szczelina między kulą a uszczelnieniem 5 ułatwia dostęp czynnika pod ciśnieniem do uszczelnienia trzpienia 4 i do uszczelnienia 3. Niedokładności wykonania promienia zaokrąglenia uszczelnień i ich chropowatość są przyczyną przecieku czynnika na stronę wylotową zaworu. Materiał, z którego wykonane są uszczelnienia (PTFE i jego kompozyty) posiada niższą twardość niż materiał kuli, co przy zwiększeniu ciśnienia czynnika powoduje powiększenie szczeliny i równoczesny wzrost nacisku stykowego kuli na uszczelnienie 3. Z kolei wzrost nacisku stykowego przy różnicy twardości materiałów prowadzi do deformacji uszczelnienia 3 i zmniejszenia różnic w niedopasowaniu powierzchni styku kuli z uszczelnieniem. W przestrzeni między uszczelnieniami po ustaniu działania ciśnienia czynnika od strony wlotu

do zaworu następuje powrót kuli do położenia pierwotnego, w którym oś kuli pokrywa się z osią trzpienia. Powstała szczelina między kulą a uszczelnieniem 3, przy braku powrotu sprężystego materiału uszczelnienia, prowadzi do przecieku na stronę wlotu i wylotu czynnika zgromadzonego między uszczelnieniami. Przy braku powrotu sprężystego materiału uszczelnienia szczelina pozostaje co może powodować utratę szczelności przy wzroście ciśnienia od strony wlotu do zaworu.

Przeprowadzone badania miały na celu ustalenie, czy wraz ze wzrostem ciśnienia czynnika wyciek wzrasta czy maleje oraz czy temperatura ma wpływ na jego wielkość.

### 3 Obiekt badań

Przedmiotem badań był przemysłowy zawór kulowy [6] ze stali nierdzewnej o średnicy DN40, stosowany w instalacjach wydobywania siarki w zakresie temperatury od  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Jest to zawór odcinający, nierozbieralny z pełnym przełotem, w którym zastosowano rozwiązanie z tzw. „kulą pływającą”, gdzie do uszczelnienia kuli zastosowano czysty teflon (PTFE).



Rysunek 2. Zawór DN 40: a) na stanowisku podczas badań w temperaturze  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; b) przekrój: 1 – korpus, 2 – uszczelnienie kuli, 3 – kula zaworu kulowego

Celem badań była ocena szczelności wewnętrznej i określenie wpływu temperatury na pracę uszczelnień kuli. Badany zawór dozbrojono poprzez dokręcenie kołnierzy zamykających umożliwiających podłączenie butli ze sprężonym azotem

i sprężonym helem oraz do chromatografu gazowego. Zdjęcie zaworu podczas badań w temperaturze  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  przedstawiono na rys. 2a, a na rys. 2b jego przekrój.

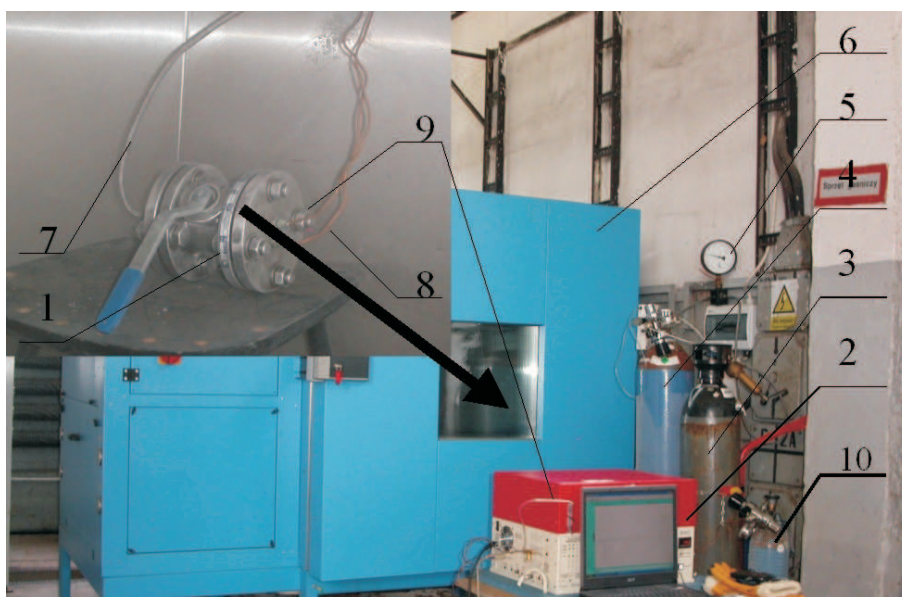
Badania prowadzono zgodnie z opracowaną w Laboratorium Techniki Uszczelniania i Armatury Politechniki Wrocławskiej procedurą opartą o normę PN-EN 15848:2006 „Armatura przemysłowa – procedury pomiaru, badań i kwalifikacji dotyczące przecieków substancji szkodliwych” [3]. Przed przystąpieniem do badania szczelności zaworu wykonano wzorcowanie mieszaniny strumienia azotu w strumieniu helu z zastosowaniem metody dynamicznej. Tą metodą można wyznaczyć krzywe wzorcowania dla różnych gazów w stałym strumieniu gazu nośnego. Metodę charakteryzuje duża powtarzalność [4].

#### **4 Stanowisko badawcze do pomiaru wielkości wycieku z zaworu**

Stanowisko badawcze do oceny wycieku, (rys. 3) składa się z komory chłodniczej 6 pozwalającej na schłodzenie obiektów do  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , wewnątrz której umieszczony jest badany zawór 1, do którego podłączono z jednej strony kołnierza przewód 7, doprowadzający sprężony azot z butli 2. Wartość ciśnienia azotu była regulowana na podstawie wskazań manometru 5. Hel o znanej wartości strumienia gazu z butli 3 doprowadzono do zaworu przewodem 8, a do chromatografu 2 z butli 10. Z badanego zaworu przewodem 9 mieszanina helu i azotu doprowadzona jest do chromatografu w celu wyznaczenia ilości azotu w mieszaninie (chromatogram). Długość przewodu od komory do chromatografu wynosząca 3 m zapewnia ogrzanie mieszaniny azotu i helu do temperatury otoczenia. Ze względu na warunki panujące na stanowisku, w celu zabezpieczenia przewodów przed pokryciem lodem spowodowanym przez wilgoć zawartą w powietrzu, badany zawór przed podłączeniem do chromatografu najpierw był przepłukiwany azotem z butli, a później sprężonym helem w temperaturze otoczenia.

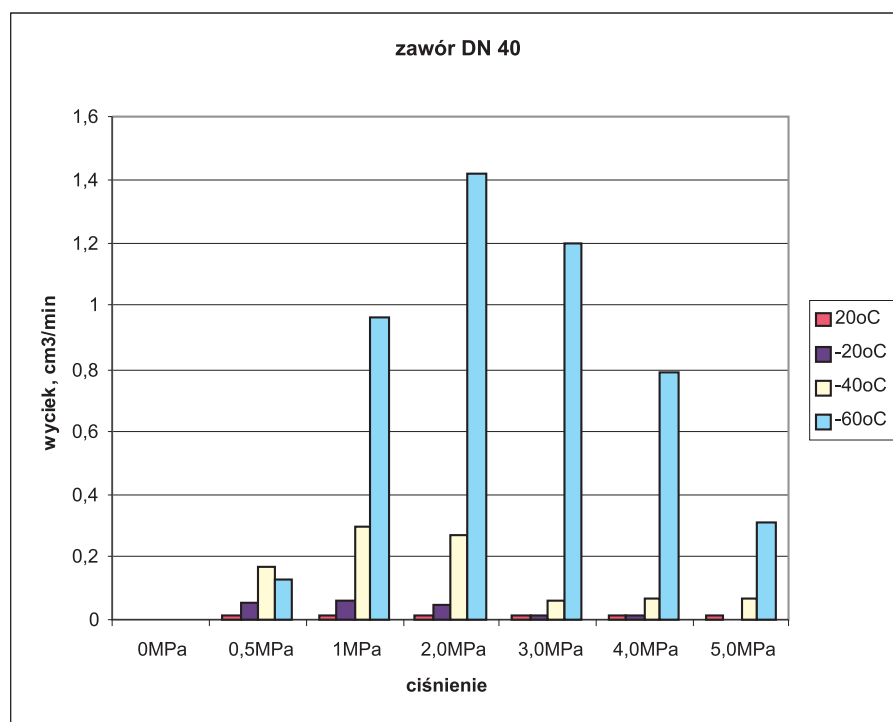
#### **5 Wyniki badania wycieku z zaworu**

Badania szczelności przeprowadzono w temperaturze:  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  i  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , przy zachowaniu stałej wartości strumienia objętości gazu nośnego równej  $65\text{ cm}^3/\text{min}$ . Na rys. 4 przedstawiono sumaryczny wykres wartości wycieku z zaworu DN 40 w zależności od ciśnienia doprowadzonego do komory zaworu przy położeniu kuli zapewniającej zamknięcie przelotu. Szczelność zaworu mierzono dla pięciu wartości ciśnienia azotu: 0,5 MPa, 1 MPa, 2 MPa, 3 MPa, 4 MPa i 5 MPa.



Rysunek 3. Stanowisko do badania szczelności zaworu: 1 – badany zawór, 2 – chromatograf gazowy, 3 – butla z azotem, 4 – butla z helem, 5 – manometr, 6 – komora chłodnicza, 7 – przewód doprowadzający sprężony azot, 8 – przewód doprowadzający gaz nośny, 9 – przewód odprowadzający mieszaninę gazu do chromatografu, 10 – butla z helem do chromatografu

W przypadku badanego zaworu stwierdzono wzrost wycieku wraz z obniżaniem temperatury. Średnia wartość wycieku w temperaturze otoczenia wynosi ok.  $0.012 \text{ cm}^3/\text{min}$ , a w temperaturze  $-60 \text{ }^\circ\text{C}$  od  $0,1$  do  $1,4 \text{ cm}^3/\text{min}$  co daje 116-krotny przyrost wycieku. Gwałtowny wzrost wielkości wycieku zauważono poniżej temperatury  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Wielkość wycieku w temp.  $-60 \text{ }^\circ\text{C}$  była 3-krotnie większa niż w temperaturze  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$  i 16-krotnie większa niż w temperaturze  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Wyciek osiągał wartość maksymalną przy ciśnieniu  $2 \text{ MPa}$ , w temperaturach  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  i  $-60 \text{ }^\circ\text{C}$ , a przy ciśnieniu  $1 \text{ MPa}$  w temperaturach  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$  i  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Przy dalszym wzroście ciśnienia wyciek malał.



Rysunek 4. Wyciek z zaworu DN 40 dla zakresu ciśnienia od 0,5 MPa do 5 MPa przy temperaturach od  $-60^{\circ}\text{C}$  do  $20^{\circ}\text{C}$

## 6 Wnioski i uwagi końcowe

Na podstawie analizy uzyskanych wyników można stwierdzić, że:

1. Zastosowanie chromatografii gazowej (azot – gaz roboczy, hel – gaz nośny) umożliwia ilościowe określenie wartości przecieku przez zawór.
2. Wartość przecieku określona w temperaturze otoczenia jest mała, a zatem szczelność badanego zaworu jest wysoka.
3. Wyciek z zaworu rośnie wraz ze spadkiem temperatury.
4. Krotność zmiany wielkości przecieku wraz ze zmianą temperatury pozwala stwierdzić, że na jego wielkość wpływa zmiana rozszerzalności cieplnej (w tym wypadku skurcz materiału spowodowany spadkiem temperatury). Materiały, z których wykonano poszczególne części zaworu i jego uszczelnienia (metal, PTFE) charakteryzują się różną rozszerzalnością cieplną.

Niewielkie różnice mogą mieć ogromny wpływ na wielkość wycieku. Dla przykładu, obliczona [5] wartość skurczu stali nierdzewnej i PTFE, wynikającego ze schłodzenia próbki o początkowej długości równej 40 mm, od temperatury 20 °C do -60 °C wynosi odpowiednio: stal nierdzewna - 0,025 mm, PTFE - 0,095 mm. Skokowa różnica zmierzonego przecieku między temperaturą -40 °C i -60 °C może świadczyć o możliwej zmianie geometrii styku między kulą a uszczelnieniem (np. zmiana promienia zaokrąglenia powierzchni roboczej uszczelnienia lub zmiana promienia kuli, zmiana średnicy gniazda osadzenia uszczelnienia, pofalowanie powierzchni uszczelnienia).

5. Wyciek przez kulę, w zaworze DN 40, zwiększał się wraz ze wzrostem ciśnienia do 2 MPa następnie malał. Wzrost ciśnienia działającego na powierzchnię kuli powodował jej docisk do uszczelnienia po stronie wylotowej z zaworu i zmniejszenie wartości przecieku.
6. Z przeprowadzonych badań wynika potrzeba:
  - dalszych badań na poligonie doświadczalnym, w celu potwierdzenia zastosowanej metody do pomiaru wycieku różnych mediów,
  - analizy wpływu zmiany rozszerzalności cieplnej poszczególnych elementów zaworu na tolerancje kształtu i położenia, co pozwoli na opracowanie zaworu o zwiększonej szczelności.

*Praca wpłynęła do redakcji we wrześniu 2012 r.*

## Literatura

- [1] Gawliński M., Rogula J., Wolko K.: *Wyciek wewnętrzny i zewnętrzny w zaworze kulowym eksploatowanym w zakresie temperatury 20 °C do -50 °C*. Mat. XII Międzynarodowej Konf. N-T: Uszczelnienia i Technika Uszczelniania Maszyn i Urządzeń, Wrocław-Kudowa Zdrój, 26-28 maja 2010 (M. Gawliński, red.), SIMP Ośrodek Doskonalenia Kadr, Wrocław 2010, 163-168.
- [2] <http://knapp.pb.edu.pl/RobertBorowik/zawor.php?czynnosc=zawory>
- [3] PN-EN 15848:2006 *Armatura przemysłowa — procedury pomiaru, badań i kwalifikacji dotyczące przecieków substancji szkodliwych*.
- [4] Cowper C.J., DeRose A.J.: *Chromatograficzna analiza gazów*. WNT, Warszawa 1988.
- [5] <http://www.vermet.com.pl/teflon.html>.
- [6] [http://www.andrex.com.pl/produkty.php#kurki\\_kulowe](http://www.andrex.com.pl/produkty.php#kurki_kulowe)

**Influence of the temperature and pressure drop in the pipeline on the internal leakage in the industrial ball valve****S u m m a r y**

The ball valves are used in these places of pipelines where the turn on/off of steam flow is required. The leakage from the valve influences the system efficiency. Paper presents the results of investigations of the ball valve tightness. The basic assumption needed to be verified was, whether the leakage through a seal with the temperature variation will change. The gas chromatography was used to determine the leakage flow. Helium was used as the carrier gas. Very important assignment was to build a measuring facility which would enable leakage detection from the ball valve at nitrogen overpressure range 0,5–5 MPa in the temperature range from  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . In the experiment the internal leakage was measured.