

**Marek GAWLIŃSKI\*, Janusz ROGULA\*, Adam BARADZIEJ\***

## **ZUŻYCIE USZCZELNIEŃ Z PTFE W ZAWORZE KULOWYM**

### **WEAR OF PTFE SEALS IN THE BALL VALVES**

#### **Słowa kluczowe:**

zawór, szczelność, zużycie

#### **Key words:**

valve, tightness, wear

#### **Streszczenie**

Zawór kulowy poddano badaniom, w których określono wielkość wycieku wewnętrznego w zależności od liczby cykli otwierania i zamykania elementu roboczego. Do określenia szczelności zaworu wykorzystano metodę detekcji helowej. Przy zamkniętym przepływie mierzono wyciek przy ciśnieniu helu od 0 do 1,6 MPa działającego na kulę w zaworze. Równocześnie określono chropowatość powierzchni kuli i uszczelnienia z PTFE przed badaniami i po wykonaniu 10000 cykli.

---

\* Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Instytut Inżynierii Lotniczej, Procesowej i Maszyn Przepływowych, ul. Wybrzeże S. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław.

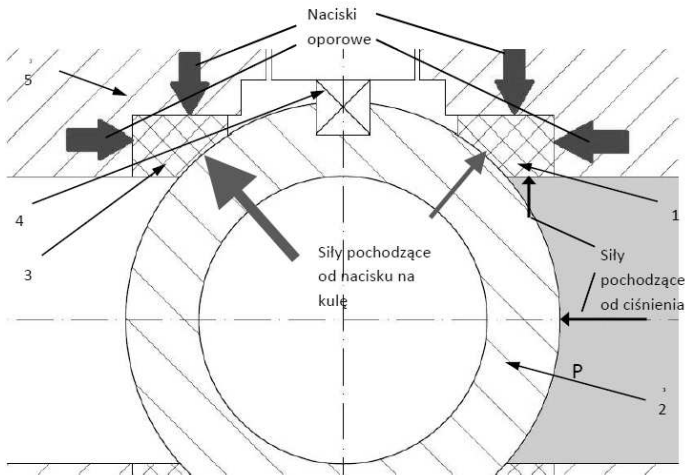
## WPROWADZENIE

Zawór kulowy ze względu na prostą budowę oraz pełnioną przez niego funkcję odcinającą i regulacyjną jest często spotykanym typem zaworu w instalacjach. Na styku obracającego się trzpienia zaworu i uszczelnienia dławnicy oraz na styku kuli z pierścieniami uszczelniającymi występuje tarcie, a równocześnie są to miejsca wycieku czynnika z zaworu, który może być niebezpieczny dla ludzi oraz środowiska naturalnego i przynosi finansowe straty. Brak szczelności wymusza stały rozwój konstrukcji zaworów kulowych oraz ścisłą kontrolę ich szczelności wynikającą z dyrektyw nakładanych przez Unię Europejską [L. 1].

Ze względu na brak informacji o zużywaniu uszczelnień zaworów kulowych i jego wpływie na szczelność podjęto badania mające na celu określenie wielkości wycieku z zaworu kulowego w zależności od przepracowanych cykli zamknięcia i otwarcia zaworu.

## PROCES TARCIA W ZAWORZE KULOWYM

W zaworach z kulą pływającą (Rys. 1) kula 2 jest uszczelniana uszczelnieniami czołowymi 1, 3, które zarazem pełnią rolę łożyska ślizgowego kuli. Kiedy medium o ciśnieniu  $p$  napiera na kulę, która znajduje się w pozycji zamkniętej,



**Rys. 1. Schemat przekroju zaworu kulowego w pozycji zamkniętej wraz z przedstawieniem sił działających na kulę „pływającą” i uszczelnienie, kiedy ciśnienie oddziałuje z jednej strony kuli, 1 – uszczelnienie od strony działania ciśnienia, 2 – kula, 3 – uszczelnienie od strony niższego ciśnienia, 4 – trzpień, 5 – korpus zaworu**

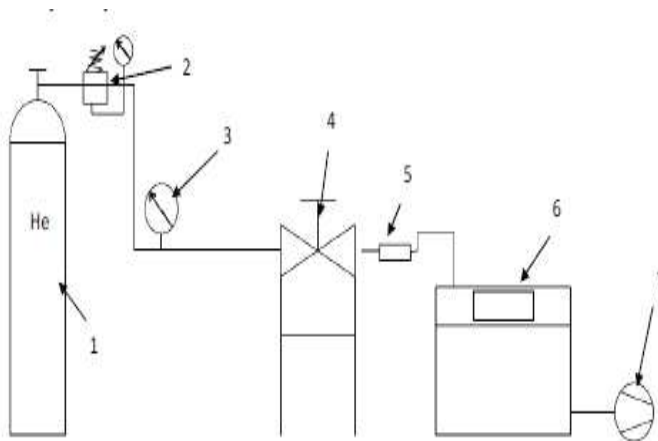
Fig. 1. Scheme of ball valve cross-section in position „OFF” with presentation of forces acting on the “floating” ball and sealing during pressure operation on the closed part of the ball, 1 – seal from the inlet side of valve, 2 – ball, 3 – seal from outlet side, 4 – stem, 5 – bonnet

wywiera ona dodatkowy nacisk na uszczelnienie 3. Przy cyklicznych obrotach trzpienia 4 (zamykania i otwierania zaworu) kula trze z inną co do wartości siłą i prędkością o powierzchnię każdego z pierścieni uszczelniających, powodując ich wytarcie, a także minimalną zmianę geometrii i chropowatości powierzchni samej kuli. Siła montażowa działająca na powierzchnię pierścieni uszczelniających powinna być większa od siły wynikającej z oddziaływania ciśnienia na powierzchnię styku uszczelnienia z kulą. W ten sposób zapewnia się minimum szczelności wewnętrznej.

Aby zmniejszyć wartość momentu tarcia, na uszczelnienia kuli stosuje się głównie PTFE lub jego kompozyty.

## BADANIE SZCZELNOŚCI ZAWORU KULOWEGO

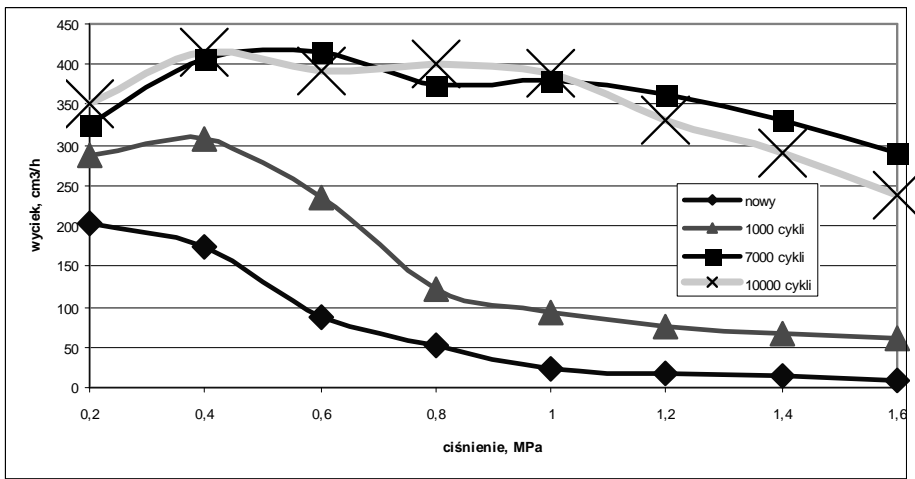
Szczelność wewnętrzną zaworu zmierzono, stosując autorską metodę z użyciem detektora helowego. Stanowisko badawcze, przedstawione schematycznie na **Rys. 2** składa się z zaworu kulowego 4 wyposażonego w pokrywy kołnierzowe z nagwintowanymi otworami, które posłużą do przyłączenia przewodu doprowadzającego od strony wlotowej sprężony hel. Od strony wylotu zaworu otwór w pokrywie służy do podłączenia sondy pomiarowej 5 zasysającej gromadzący się w komorze zaworu wyciek. Ciśnienie helu jest mierzone manometrem 3. Strumień objętości zassanego helu (przecieku) wyświetla się na wyświetlaczu detektora helowego 6.



**Rys. 2.** Schemat stanowiska do badania wartości wycieku z zaworu kulowego: 1 – butla z heliem, 2 – reduktor, 3 – manometr, 4 – zawór, 5 – sonda pomiarowa, 6 – detektor, 7 – pompa próżniowa

**Fig. 2.** Scheme of the test rig to leakage measurement from the ball valve, 1 – helium vessel, 2 – pressure regulator, 3 – manometer, 4 – examined valve, 5 – sniffer, 6 – detector, 7 – vacuum pump

Na **Rys. 3** przedstawiono wykres, na którym zaznaczono wielkość wycieku w funkcji ciśnienia helu wewnątrz zaworu. Dla nowego zaworu wielkość wycieku maleje wraz ze wzrostem ciśnienia. Spowodowane jest to tym, że kula dociska do pierścienia uszczelniającego od strony wylotu, zwiększając nacisk i zmniejszając wyciek. Wraz ze wzrostem liczby cykli wyciek rośnie. Dla liczby cykli 7000–10000 wyciek jest na takim samym poziomie. Efekt doszczelnienia ciśnieniem uszczelnienia kuli nie jest tak zauważalny, jak dla nowego zaworu lub po 1000 cyklach pracy.



**Rys. 3. Wartość wycieku z zaworu w funkcji ciśnienia helu**

Fig. 3. Values of leakage from the valve in function of helium pressure

## ANALIZA ZUŻYCIA POWIERZCHNI USZCZELNIEŃ I KULI

Przedmiotem badań był zawór kulowy, kołnierzowy (**Rys. 4a**) napędzany siłownikiem elektrycznym podłączonym do licznika liczby cykli otwarcia i zamknięcia przelotu. Przed badaniami zawór rozkręcono, a chropowatość powierzchni pierścieni uszczelniających oraz powierzchni kuli zmierzono profilometrem Taylor&Hobson (**Rys. 4b**). Pomiary chropowatości tych samych elementów powtórzono po 10000 cyklach otwarcia i zamknięcia zaworu w warunkach przepływu sprężonego powietrza przez zawór. W **Tabeli 1** przedstawiono wyniki pomiarów chropowatości powierzchni kuli przed i po badaniu.

Na podstawie wybranych parametrów chropowatości zmierzonych dokładnie w tych samych miejscach można zauważyć ich wzrost po przeprowadzonym badaniu.



**Rys. 4a. Badany zawór, 4b. Kula podczas pomiarów chropowatości**

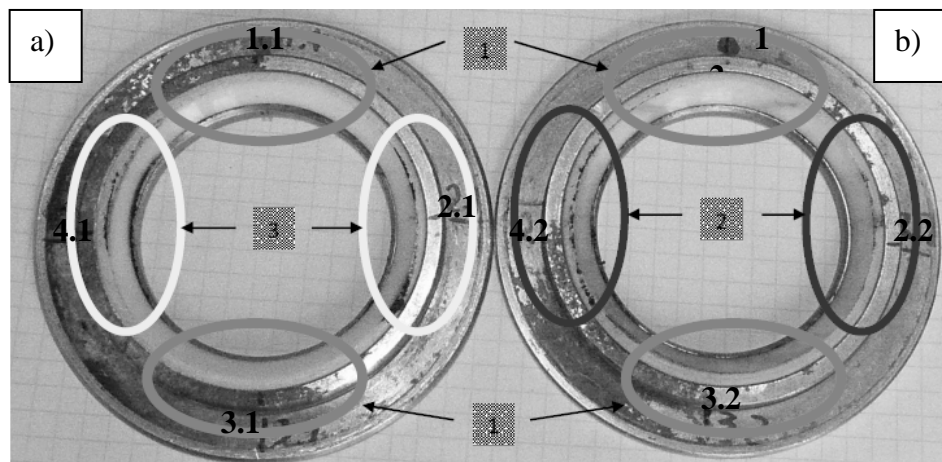
Fig. 4a. Examined valve, 4b. Ball during roughness measurements

**Tabela 1. Wartości wybranych parametrów chropowatości kuli przed i po eksperymencie**  
Table 1. Values of chosen roughness parameters of ball before and after the investigation

	Nowy zawór	Zawór po 10000 cyklach
Parametr/jednostka	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$
Średnica	79,9157	79,9348
Ra	0,7167	2,798
Rp	2,9439	8,7423
Rv	2,3324	7,7757

Pomiary wykazały również zwiększenie się odchyłki kształtu kuli (odchylenie od koła odniesienia) i wzrost odległości między wierzchołkami i dolinami na obwodzie kuli. Zwiększona chropowatość powierzchni powoduje zwiększenie porowatości w przestrzeni między kulą i uszczelnieniami, co prowadzi do zwiększenia wartości wycieku. Najprawdopodobniej wzrost chropowatości nastąpił w wyniku tarcia zanieczyszczeń w postaci cząstek stałych transportowanych wraz powietrzem z kompresora. Na obszarach oznaczonych 3 i 2 (**Rys. 5**) widać zanieczyszczenia pozostawione na uszczelnieniu od strony wlotowej (**Rys. 5a**) i od strony wylotowej (**Rys. 5b**).

Pomiarom chropowatości poddano uszczelnienia kuli zamontowane od strony wlotowej i od strony wylotowej zaworu. Pomiary wykonano w czterech miejscach na obwodzie – pozycja 1 i 3 (**Rys. 5** – góra i dół zaworu – krótsza droga tarcia) i pozycja 2, 4 (boki – dłuższa droga tarcia). W **Tabelach 2 i 3** przedstawiono wyniki pomiarów chropowatości dla wybranych parametrów.



**Rys. 5. Zdjęcie uszczelnień kuli po pracy wraz z zaznaczonymi obszarami wytarcia i brudem: 1 – silnie wytarte powierzchnie, promienie profilu zbliżone do promienia kuli, 2 – obszary na uszczelnieniu po stronie wylotowej, bardzo duże odkształcenie profilu, 3 – obszary na uszczelnieniu po stronie wlotowej, profil niewiele odbiega od promienia kuli**

**Fig. 5. Photo of examined sealing rings with pointed areas of wear and particles of dust: 1 – strong wear of seal surface, 2 – areas on the outlet side of the seal, very big deformation of seal profile, 3 – areas on the inlet side of the seal – small deviation of seal profile**

**Tabela 2. Wartości wybranych parametrów chropowatości uszczelnień przed badaniem**

**Table 2. Values of chosen roughness parameters of seals before the investigation**

	Uszczelka – strona wlotowa, $\mu\text{m}$				Uszczelka – strona wylotowa, $\mu\text{m}$			
Punkt	1.1	2.1	3.1	4.1	1.2	2.2	3.2	4.2
Ra	2,667	3,101	2,901	3,005	3,368	2,718	2,666	2,316
Rp	6,045	6,756	10,749	7,337	6,295	6,404	5,687	4,273
Rv	19,407	16,490	13,885	18,053	16,301	19,481	14,055	21,866
promień	84,39	75,111	61,709	72,939	69,586	65,477	68,944	66,749

**Tabela 3. Wartości wybranych parametrów chropowatości uszczelnień po badaniu**

**Table 3. Values of chosen roughness parameters of seals after the investigation**

	Uszczelka – strona wlotowa, $\mu\text{m}$				Uszczelka – strona wylotowa, $\mu\text{m}$			
Punkt	1.1	2.1	3.1	4.1	1.2	2.2	3.2	4.2
Ra	0,455	0,919	0,332	0,864	1,642	0,951	0,680	2,568
Rp	1,772	3,929	0,982	1,828	2,755	4,403	1,625	6,749
Rv	2,425	5,099	2,080	11,867	12,641	9,457	7,561	18,857
promień	40,751	51,111	42,283	48,894	38,762	76,748	43,189	140,295

## ANALIZA WYNIKÓW I WNIOSKI

Wyciek rośnie wraz z liczbą cykli otwierania i zamykania zaworu. Po 10000 cyklach wartość wycieku była do 30 razy większa niż dla zaworu nowego.

Wzrost chropowatości kuli oznacza powstawanie rys, co było przyczyną wzrostu wycieku. Ich powstanie wynikało z tarcia zanieczyszczeń zainkludowanych na powierzchniach uszczelnień. Dodatkową przyczyną mogła być zmiana promienia zaokrąglenia uszczelnienia wynikająca z ruchu kuli.

Chropowatość uszczelnień zmniejszyła się; wierzchołki chropowatości uszczelnienia nie blokowały rys powstałych na powierzchni kuli, co stworzyło dodatkowe drogi wycieku.

Na podstawie danych zebranych w **Tabelach 1, 2 i 3** można wywnioskować, że kula dobrze współpracowała z górnymi i dolnymi partiami uszczelnienia, gdzie dokładnie odcisnęła swój profil. Powierzchnie boczne uszczelnienia po stronie wlotowej nieznacznie odbiegają wartością od promienia kuli, zaś wartości różnicy promieni części bocznych pierścienia wylotowego są większe niż przed badaniem. Oznacza to, że pod wpływem docisku następuje deformacja tych powierzchni, co prowadzi do zmniejszenia szczelności. Wartości promienia zmierzonego na profilu uszczelnienia przed przeprowadzonym badaniem znacznie odbiegają od wartości promienia kuli  $R_k = 39,9626$  mm. Oznacza to nierównomierne rozłożenie wartości nacisku stykowego na powierzchni uszczelnienia, co powoduje szybsze zużycie. Po badaniach zaworu można zauważyć zmianę promienia uszczelnień spowodowaną odkształceniem plastycznym i wytarciem powierzchni uszczelnienia. Dla obszarów górnych i dolnych (krótsza droga tarcia) różnice promienia uszczelki średniego promienia kuli były mniejsze niż w przypadku obszarów bocznych (dłuższa droga tarcia).

Przyjęta metoda prowadzenia badań pozwoliła na ustalenie jednoznacznej przyczyny wzrostu wycieku z zaworu.

## LITERATURA

1. PN-EN 15848: Armatura przemysłowa – Procedury pomiaru, badań i kwalifikacji dotyczące przecieków substancji szkodliwych – Część 1: System klasyfikacji i procedury kwalifikacji dla badań typu armatury, badanie zaworów, 2006.
2. Gawliński M., Uszczelnienie. Powrót do podstaw. Pompy Pompownie nr 1–2/2002;
3. Wieleba W. i inni „Materiały polimerowe w uszczelnieniach – tarcie statyczne”, Hydraulika i Pneumatyka, 2011.

## Summary

**The article presents the research results of leakage from ball valves. Leakage was measured for a new valve and after an assumed number of open/close cycles using the helium detection method. The roughness of a**

**valve ball and cooperating sealing rings were measured after and before cycle tests. It was found that the leakage value increases with the increase of number of cycles. The research includes the analysis of chosen roughness parameters and their influence on leakage. It shows that the particles collected on the seals determined the roughness of ball. The proposed method of the investigation allowed the author to find that the wear process that caused the leakage increase from ball valve.**