

# Elementy ceramiczne w zaworach regulacyjnych

**W zaworach regulacyjnych występuje szereg zjawisk, które działają destrukcyjnie na elementy wewnętrzne zaworu doprowadzając do ich przedwczesnego zużycia a nawet awaryjnego uszkodzenia. Zakłóca to proces technologiczny i niejednokrotnie jest przyczyną dużych strat. Przyczynami tych zjawisk są najczęściej kawitacja, flashing i erozja.**

**Kawitacja** [1] polega na miejscowym odparowaniu cieczy w wyniku spadku ciśnienia poniżej wartości ciśnienia parowania  $p_v$ . Występuje to najczęściej w strefie „vena contracta”, miejscu największej prędkości przepływu i największego spadku ciśnienia. W cieczy tworzą się pęcherze pary, która wraz ze wzrostem ciśnienia na wypływie zaworu ulega implozji. Zjawisko to charakteryzuje się nagłymi przyspieszeniami i uderzeniami mieszaniny dwufazowej: ciecz – para. Wyzwalająca się energia wywołuje naciski powierzchniowe niejednokrotnie rzędu 700MPa co prowadzi do uszkodzenia elementów wewnętrznych zaworu. Ponadto kawitacja powoduje drgania i wibracje, wzrost poziomu hałasu i zmniejszenie współczynnika przepływu zaworu.

**Zjawisko flashingu** [1] polega na stopniowym odparowywaniu cieczy w wyniku spadku ciśnienia za zaworem poniżej wartości ciśnienia parowania  $p_v$ . W cieczy tworzy się mieszanina dwufazowa cieczy i pary, rośnie objętość i prędkość przepływu. Nieodparowane cząstki cieczy uderzają z dużą energią o powierzchnie elementów wewnętrznych zaworu powodując ich zużycie w wyniku erozji.

**Problem erozji** i zużycia ściernego jest jeszcze bardziej intensywny w przypadkach gdy medium zawiera cząstki stałe. Jeżeli dodatkowo w zaworze występują duże ciśnienia i prędkości przepływu to trwałość standardowych elementów zaworu można szacować w godzinach.

Metody zapobiegania opisanym niekorzystnym zjawiskom można podzielić na trzy grupy:

- konstrukcja zaworu,
- instalacja zaworu,
- materiały konstrukcyjne.

Zakłady Automatyki „POLNA” S.A. od szeregu lat rozwijają konstrukcję zawo-

rów przystosowanych do pracy w trudnych warunkach [2]. Zawory w wielotworowymi strukturami dławiaczymi jak grzyby, klatki, płyty, z elementami wielostopniowymi, ograniczają lub eliminują problemy związane z hałasem, kawitacją, flashingiem czy przepływem dławionym. Wymienione konstrukcje sprawdziły się i znalazły uznanie odbiorców.

Ważną rolę odgrywa instalacja zaworu, wybór między zaworem przelotowym a kątowym, określenie korzystnego dla danej aplikacji kierunku przepływu. Problemy te w sposób bardziej szczegółowy zostaną przedstawione w dalszej części artykułu.

Bardzo duże znaczenie dla trwałości i niezawodności wyrobu ma właściwy dobór materiałów konstrukcyjnych i sposobów podwyższania ich własności.

W praktyce zakładowej stosowane są następujące metody poprawy własności mechanicznych elementów zaworu:

- ulepszenie cieplne w zakresie twardości 35...55 HRC, w zależności od rodzaju i funkcji części,
- stelliteowanie (stellit Nr 6) faz lub powierzchni gniazd, grzybów, tulejek prowadzących, trzpieni; twardość ok. 40 HRC,
- elementy wykonywane z pełnego stelliteu (grzyby, gniazda) lub z tytanu (trzpienie),
- azotowanie (CrN) kąpielowe lub gazowe, twardość 900 HV, grubość warstwy utwardzonej ok. 0,1 mm,
- powłoki nakładane na wewnętrzne powierzchnie korpusu, pasta BEL-ZONA 1590,
- elementy wykonywane z ceramiki.

## CERAMIKA

**Ceramika** jest tworzywem, które ze względu na swoje wyjątkowe własności mechaniczne i chemiczne coraz powszechniej zaczyna być stosowane

w nowoczesnych konstrukcjach maszyn i urządzeń w tym w zaworach regulacyjnych. Najczęściej stosowane są materiały ceramiczne na bazie glinu ( $Al_2O_3$ ), azotku krzemu ( $Si_3N_4$ ) oraz tlenku cyrkonu ( $ZrO_2$ ), którego właściwości zostaną przedstawione bardziej szczegółowo. Ceramika ( $ZrO_2$ ) formowana jest z granulatu tlenku cyrkonu metodą spiekania w temperaturze 1500...2200°C. Uzyskany w ten sposób półfabrykat wymaga obróbki wykańczającej za pomocą szlifowania ściernikiem diamentowym.

Ceramika  $ZrO_2$  charakteryzuje się następującymi właściwościami mechanicznymi:

- twardość: 1200 HV, 70 HRC,
- maksymalna temperatura pracy: 500°C,
- wytrzymałość na ściskanie, min.: 2100 MPa,
- wytrzymałość na zginanie, min.: 300 MPa,
- moduł Younga: 210 GPa,
- własności tribologiczne: samosmarowność,
- wysoka odporność na ścieranie,
- niska przewodność cieplna.

Ceramikę  $ZrO_2$  cechuje doskonała odporność chemiczna na większość stosowanych w przepływach mediów z wyjątkiem roztworów kwasu siarkowego i fluorowego.

Specyficzne własności ceramiki powodują, że części te rzadko wykonywane są tylko z ceramiki. Najczęściej są to kompozyty metalowo-ceramiczne. Łączenie obu składników odbywa się za pomocą klejenia lub połączeń mechanicznych.

W celu wyboru właściwego materiału oraz poprawnego zastosowania elementów z ceramiki niezbędne są informacje na temat parametrów pracy: temperatury, środowiska chemiczne-

go, obciążenia z uwzględnieniem oddziaływań dynamicznych.

Zastosowanie ceramiki dzięki jej właściwościom mechanicznym i chemicznym powoduje przeciętnie 8...10-krotne zwiększenie trwałości i czasu użytkowania części w porównaniu z elementami wykonanymi tradycyjną technologią.

Przewodzi to do pewnego rodzaju konfliktu między interesami producenta i użytkownika wyrobu. W Zakładach Automatyki „POLNA” S.A. dylemat ten rozwiązywany jest zawsze na korzyść klienta.

## KONSTRUKCJA

Poniżej przedstawiamy kilka rozwiązań konstrukcyjnych zaworów z wykorzystaniem elementów z ceramiki.

Konstrukcja Fig.1 (zawór kątowy do mediów ściśliwych) rozwiązuje problem regulacji przepływu gazu o spadku ciśnienia do 400 bar. Elementy ceramiczne stanowią: grzyb, gniazdo i tuleja dławiąca (kryza). Zastosowanie tulei pozwala na ograniczenie prędkości przepływu i ponad dwukrotne obniżenie poziomu hałasu. Kierunek przepływu – nad grzyb (FTC) powoduje, że struga gazu kierowana jest do prostego odcinka rurociągu co obniża erozyjne działanie medium szczególnie przy spodziewanej zawartości w nim cząstek stałych.

Zawór Fig.2 ma konstrukcję antykawitacyjną. Elementy ceramiczne stanowią: grzyb i gniazdo. Odpowiednio ukształtowane grzyb i gniazdo powodują wielostopniowy spadek ciśnienia

na zaworze w celu ograniczenia zagrożenia kawitacją. Kierunek przepływu – pod grzyb (FTO). Tuleja wewnątrz komory wypływu wykonana jest z pełnego staliu dla ochrony przed erozją powierzchni korpusu.

Korpusy zaworów kątowych Fig.1 i Fig.2 są dzielone co umożliwia łatwy dostęp do elementów wewnętrznych w celu przeglądu i serwisu. Istotne jest rozwiązanie elementów wewnętrznych zaworu. Konstrukcja korpusu kątowny lub przelotowy, średnice, ciśnienia, formy przyłączy przystosowane będą do potrzeb klienta.

Elementy ceramiczne w zaworach Fig.3 stanowią grzyb i gniazdo a stosowane są głównie w przypadku spodziewanej erozji zawieradła. Przy przepływie gazu korzystniejszy jest przepływ nad grzyb (FTO). Możliwe jest zastosowanie tulei dławiącej (kryzy) na wypływie w celu obniżenia prędkości przepływu i poziomu hałasu. Zawory z grzybem obrotowym charakteryzują się małym współczynnikiem odzysku ciśnienia FL stąd niskie wartości krytycznych spadków ciśnienia  $\Delta p_{kr} = FL2(p_1 - p_v)$  przy których pojawia się kawitacja. Zastosowanie elementów dławiących na wypływie przy kierunku przepływu pod grzyb (FTO) znacznie poprawia odporność zaworu na kawitację.

Zawór Fig.4 stosowany jest do cieczy przy spadku ciśnienia rzędu 200 bar. Elementy ceramiczne stanowią wielostopniowy grzyb i gniazdo. Dodatkowa redukcja ciśnienia następuje w zespole trzech kłatek dławiących z promieniowym rozmieszczeniem otworów przepływowych. Zawór mo-

że być stosowany w układach obejściowych (by-pass) pomp zasilających kotły energetyczne.

## ZASTOSOWANIE

**Poniżej zostaną przedstawione doświadczenia z eksploatacji zaprojektowanych i wykonanych przez Zakłady Automatyki „POLNA” SA w Przemysłu zaworów z elementami ceramicznymi oraz korzyści wynikające z tych aplikacji.**

Zawór Fig.1 oznaczony symbolem Z1A-C2 przeznaczony został dla Ośrodka Produkcyjnego Winna Góra (PGNiG SA w Warszawie, Oddział w Zielonej Górze). Pracuje w układzie separacji i redukcji ciśnienia, w którym to gaz ( $CH_4$  79,9%,  $N_2$  18,9%,  $CO_2$  0,8%, He 0,1%,  $C_2H_4$  + 0,3%) z odwiertu Winna Góra 1 jest przesyłany pod pełnym ciśnieniem głowicowym (25 MPa) z wydajnością 50  $Nm^3/min$  do separatora I stopnia. W separatorze tym zostaje odseparowana woda złożowa. Następnie gaz ziemny kierowany jest do podgrzewacza liniowego w celu podgrzania go przed redukcją. Wychodzący strumień gazu o ciśnieniu  $p_1 = 24,83$  MPa i temperaturze  $T_1 = +30$  °C poddawany jest redukcji ciśnienia na zaworze Z1A-C2 do wartości  $p_2 = 6,3$  MPa, w wyniku czego schładza się do temperatury  $T_2 = -5$  °C i następuje dalsze wydzielenie wody złożowej ze strumienia gazu w separatorze II stopnia oraz jego osuszenie.

Zawory Fig.2 i Fig.3 zostały zainstalowane w KRNiGZ Dębno (PGNiG SA w Warszawie, Oddział w Zielonej Górze). Pracują one w najtrudniejszych

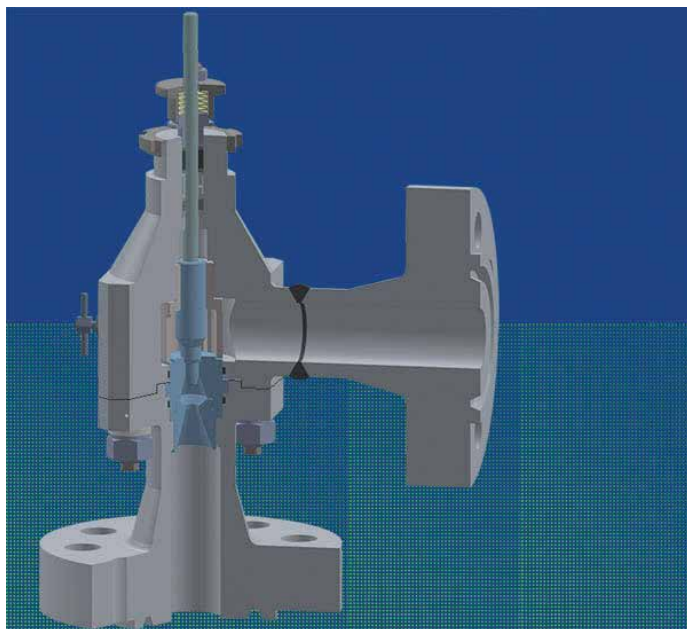


Fig.1. Zawór kątowy do mediów ściśliwych. (POBIERZ pdf 3D) [3]

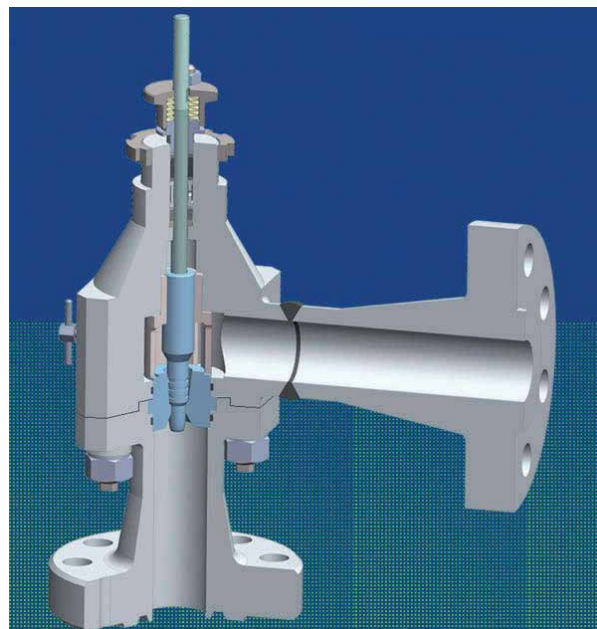


Fig.2. Zawór kątowy do cieczy. (POBIERZ pdf 3D) [4]

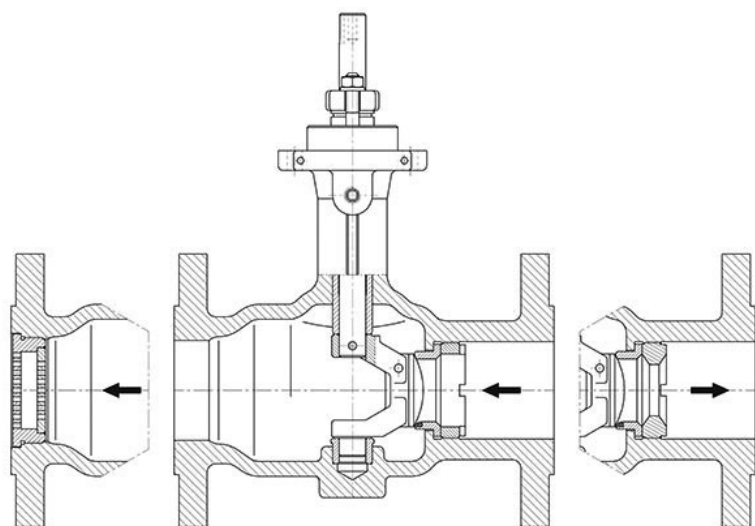


Fig. 3. Zawór z grzybem obrotowym.

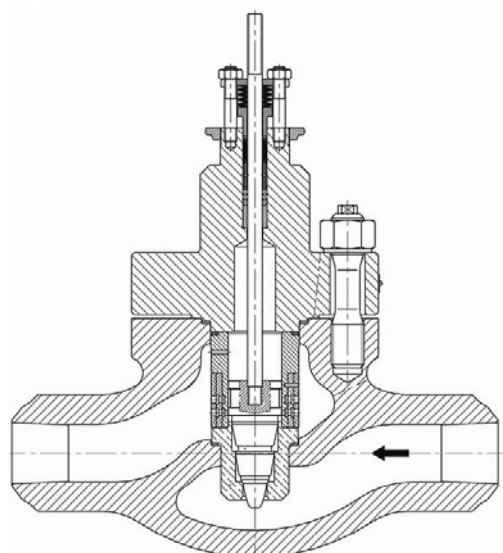


Fig. 4. Zawór przelotowy antykawitacyjny.

warunkach jakie występują w kopalni przy eksploatacji płynu złożowego będącego mieszaniną ropy naftowej, towarzyszącego jej gazu oraz wody złożowej. Często domieszką do wyżej przedstawionego składu są cząstki stałe stanowiące elementy skały macierzystej jak i pozostałości płuczki wiertniczej i cieczy zabiegowych.

Ropa naftowa to ciecz o gęstości 800 kg/m<sup>3</sup>, lepkości 4 cST, temperaturze płynięcia -36 °C i zawartości ciał stałych 0,2% obj. oraz parafiny 5% wag.

Główne składniki gazu to: azot 51%, metan 38%, etan 4%, propan 2%, H<sub>2</sub>S 4% i CO<sub>2</sub> 0,5%, C<sub>4+</sub> 0,5%.

Woda złożowa to w wielu przypadkach (w zależności od odwiertu) w 100% nasycona solanka o gęstości do 1250 kg/m<sup>3</sup>, pH 5,5, zawartości Cl- 200g/l.

Płyn złożowy wypływa z odwiertu eksploatacyjnego pod ciśnieniem od 250 do 430 bar(g) i temperaturze od 30 do 60°C w zależności od wydajności ropy, ilości towarzyszącego jej gazu i wody złożowej jak również od stanu technicznego samego odwiertu. Na instalacji przyodwiertowej zostaje on podgrzany do 65°C i podany redukcji ciśnienia do około 70 bar(g) (Δp do 360 bar). Za redukcję ciśnienia z jednoczesną kontrolą przepływu odpowiadają kątowe zawory renomowanych firm zachodnich wykonane w klasie 10000 wg API 6A zgodnie z normą NACE MR 0175. Zawory te są częścią systemu bezpieczeństwa instalacji i pełnią dodatkowo funkcję zaworu szybkiego zamykania. Problemy z eksploatacją tego typu zaworów polegały na szybkim zużywaniu się elementów wewnętrznych, w wyniku czego nie mogły one spełniać swojej podstawowej roli jako zawory szybkiego odcięcia. Dochodzi-

ło również do rozszczelnienia korpusu zaworu, co z uwagi na obecność siarkowodoru stanowiło niebezpieczeństwo dla ludzi i środowiska. Zużycie wewnętrznych elementów było wynikiem działania praktycznie wszystkich możliwych niekorzystnych zjawisk jakie występują w zaworach. Ze względu na zanieczyszczenia stałe, parafinę i kryształki soli, które w skuteczny sposób zaklejają struktury dławiące o małych przekrojach, zastosowanie klasycznych wykonań antykawitacyjnych było przeciwnie skuteczne, gdyż doprowadziłoby w krótkim okresie do zablokowania przepływu przez zawór. Skuteczną metodą mogącą sprostać postawionym przed zaworem wymaganiom, było zastosowanie w nim ceramiki - materiału całkowicie odpornego na zużycie mechaniczne grzyba i gniazda, jak również szerokich kanałów przepływowych odpornych na zanieczyszczenia. Istotną zaletą tego rozwiązania jest minimalna ilość elementów wewnętrznych, co czyni zawór niezwykle prostym w obsłudze i naprawie. Decydując się na ceramikę braliśmy pod uwagę również jej walory chemiczne. Wysokie ciśnienie parcjalne H<sub>2</sub>S (powyżej 1000 kPa) w gazie zgodnie z normą ISO 15156 nie pozwala na użycie stali ulepszanych cieplnie, a stelliteowanie nie sprawdziło się w dotychczasowych wykonaniach zaworów, patrz Fig.5.

Zastosowanie przepływu w kierunku FTO wymuszone przez istniejącą instalację, posiada zalety związane z możliwością płynnej regulacji przy niewielkim otwarciu zaworu (brak zjawiska odrywania grzyba od gniazda przy otwieraniu i uderzania grzyba o gniazdo przy zamykaniu). Dodat-

kowo w zaworach o przepływie FTO uszczelnienie trzpienia występuje po stronie niskiego ciśnienia (w zaworze zastosowano bezobsługowe uszczelnienie TA-Luft PTFE).

Od 4 grudnia 2012 roku zawór oznaczony symbolem Z1A-C1 jest testowany na odwiercie Barnówko-13 pracującym przy następujących parametrach:

- p<sub>1</sub> = 259 bar(g),
- T<sub>1</sub> = 39°C,
- p<sub>2</sub> = 71 bar(g),
- Q ropa = 50 ton/dobę,
- Q gaz = 17500 Nm<sup>3</sup>/dobę,
- Q solanka = 400 l/dobę.

Po miesiącu ciągłej eksploatacji przeprowadzono z wynikiem pozytywnym połowe testy szczelności co jest optymistyczną prognozą przyszłości tych rozwiązań.

Zaworami, w których występują w kopalni duże problemy są zawory z grzybem obrotowym. Zawór 1", CL600 odpowiada za odpuszczanie wody złożowej z separatorów testowych w Ośrodku Centralnym Barnówko. Separator grawitacyjny poziomy pracujący przy ciśnieniu 66 bar(g) i temperaturze do 60°C rozdziela płyn złożowy na trzy frakcje: gaz, ropę i wodę złożową. Woda złożowa z separatora jest odpuszczana do innego zbiornika pracującego pod ciśnieniem 3 bar(g) (Δp= 63 bar) w celu jej uzdatnienia. Ze względu na niewielką ilość wody na większości separatorów testowych odpuszczanie odbywa się w sposób okresowy. Aby zapobiec przedostaniu się ropy do układu uzdatniania wody złożowej, zawór odpuszczający musi wykazywać się 100% szczelnością zamknięcia.

Mimo zastosowania pełnego stellite na elementy gniazda jak i grzyba,



Fig. 5. Metalowe elementy wewnętrzne eksploatowanych zaworów.

a w późniejszym okresie stali 1.4125 ulepszanej cieplnie do 55 HRC, nie udało się wydłużyć trwałości elementów wewnętrznych zaworu powyżej trzech miesięcy.

Mając na uwadze powyższe problemy jak i zwiększone wymagania użytkownika w porozumieniu z producentem zdecydował się na zastosowanie ceramiki na grzyby i gniazda zaworu. Zastosowanie ceramiki ze względu na jej specyficzne własności mechaniczne wymagało wprowadzenia pewnych zmian konstrukcyjnych w skojarzeniu „grzyb-gniazdo”, w miejscu mocowania grzyba jak i w uszczelnieniu grzyba z gniazdem. Próby techniczne i badania eksploatacyjne powyższego rozwiązania rozpoczęły się w 2013 roku.

Przedstawione argumenty techniczne oraz doświadczenia eksploatacyjne wykazują, że zawory regulacyjne z ceramicznymi elementami wewnętrznymi stanowią korzystną i zasługującą na rozpowszechnienie tendencję w rozwoju tej grupy wyrobów.

Opracowanie:

Stanisław Jamroz – Zakłady Automatyki „POLNA” SA, Przemysł  
Krzysztof Mróz – KRNiGZ Dębno  
(PGNiG SA w Warszawie, Oddział w Zielonej Górze)

#### Bibliografia

- [1] <http://www.polna.com.pl/faq#t26n455>
- [2] <http://www.polna.com.pl/zawory-regulacyjne-wykonania-niekatalogowe.html>
- [3] [http://www.polna.com.pl/sites/default/files/pdf/fig\\_1\\_-\\_pobierz\\_pdf\\_3d\\_-\\_zawor\\_katowy\\_do\\_mediow\\_scisliwych.pdf](http://www.polna.com.pl/sites/default/files/pdf/fig_1_-_pobierz_pdf_3d_-_zawor_katowy_do_mediow_scisliwych.pdf)
- [4] [http://www.polna.com.pl/sites/default/files/pdf/fig\\_2\\_-\\_pobierz\\_pdf\\_3d\\_-\\_zawor\\_katowy\\_do\\_cieczy.pdf](http://www.polna.com.pl/sites/default/files/pdf/fig_2_-_pobierz_pdf_3d_-_zawor_katowy_do_cieczy.pdf)
- [5] <http://www.polna.com.pl/nawosci.html>