

**BADANIA SYMULACYJNE PRZEPŁYWU MEDIUM PRZEZ KULOWY ZAWÓR ZWROTNY
PRZY ZRÓŻNICOWANEJ GĘSTOŚCI KULI TONAĄCEJ
Z WYKORZYSTANIEM PROGRAMU FLOW-3D**

**SIMULATION RESEARCH OF THE FLOW OF THE MEDIA THROUGH A BALL REFLUX
VALVE AT VARIOUS DENSITIES OF THE FLOATING BALL WITH THE USE OF
FLOW-3D SOFTWARE**

Marcin Małyszka¹⁾, Mieczysław Kuder²⁾, Mieczysław Nowak³⁾

¹⁾ Instytut Odlewnictwa, Centrum Projektowania i Prototypowania, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków,

²⁾ Instytut Odlewnictwa, Zakład Stopów Żelaza, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków, ³⁾ Fabryka Armatur JAFAR SA,
38-207 Przysieki 87

¹⁾ Foundry Research Institute, Design and Prototyping Center, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków, ²⁾ Foundry Research
Institute, Department of Ferrous Alloys, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków, ³⁾ Fabryka Armatur JAFAR SA,
38-207 Przysieki 87

E-mail: marcin.malyszka@iod.krakow.pl

Streszczenie

Prace modernizacyjne, prowadzące do obniżenia wagi i podwyższenia sprawności typoszeregu kulowych zaworów zwrotnych, obejmują m.in. obniżenie masy (gęstości) kul tonących, stanowiących ważny element tego typu zaworów. Dla określenia możliwych korzyści, wykonano badania symulacyjne przepływu czystej wody przez zawór o średnicy nominalnej DN125 mm, przy założeniu dwóch gęstości kuli – do tej pory stosowanej $\rho = 1,66 \text{ kg/dm}^3$ oraz zmodernizowanej $\rho = 1,20 \text{ kg/dm}^3$. Symulacje te miały na celu ustalenie wartości parametrów określających sprawność zaworów: szybkości przepływu medium i spadków ciśnienia w 4 punktach zaworu oraz wielkości i charakteru tego przepływu. Stwierdzono korzystny wpływ obniżenia gęstości kuli na parametry pracy zaworu, obniżenie oporów przepływu i wibracji wskutek łatwiejszego unoszenia kuli i mniej burzliwego przepływu medium. Jednak nie należy się spodziewać efektów wprost proporcjonalnych do stopnia obniżenia gęstości kuli.

Słowa kluczowe: zawór zwrotny, przepływ, symulacja komputerowa

Abstract

Modernisation works aiming at lowering the weight and increasing performance of the range of ball reflux valves include also, among other things, lowering the weight (density) of floating balls being an important element of this type of valves. To define the possible benefits, a simulation research of the flow of clean water through a valve of nominal diameter DN125 mm was carried assuming two densities of the ball – used up to now $\rho = 1,66 \text{ kg/dm}^3$ and modernised $\rho = 1,20 \text{ kg/dm}^3$. The simulations aimed at determining the parameters defining the efficiency of the valves: rate of flow of the media and drops of pressure in 4 points of the valve, and the size and nature of this flow. A favourable effect of lowering the density of the ball on the working parameters of the valve, reduction of flow resistance and vibrations due to easier movement of the ball and less turbulent flow of the media was found. However, results directly proportional to the degree of reduction in the density of the ball should not be expected.

Keywords: reflux valve, flow, computer simulation

Wstęp

Obecny, ogólnosiwiatowy trend podnoszenia efektywności energetycznej urządzeń i instalacji, w zakresie nowych konstrukcji armatury przemysłowej skupia się m.in. na obniżaniu masy i podwyższaniu

Introduction

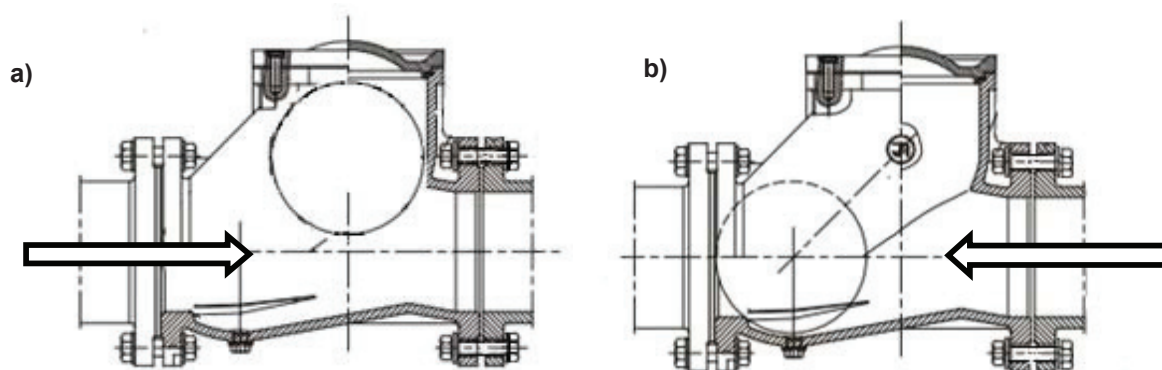
The current worldwide trend of improving the energy efficiency of devices and installations in terms of new constructions of industrial armature focuses, among other things, on lowering the weight

ich sprawności. Takie prace są obecnie prowadzone w Fabryce Armatur JAFAR SA. W przypadku kulowych zaworów zwrotnych, obok ogólnego „odchudzenia”, prace koncentrują się na konstrukcji węzła uszczelniająco-zwrotnego, w znacznym stopniu odpowiadającego za sposób pracy całego zaworu, ograniczenie występowania przepływu burzliwego, strat miejscowych i wibracji, a w końcu na jego ogólnej sprawności i trwałość eksploatacyjną.

Zawory kulowe zwrotne stosowane są powszechnie w instalacjach przemysłowych, szczególnie o działaniu okresowym, do transportu wody przemysłowej, ścieków, innych płynów obojętnych lub o niskiej agresywności chemicznej oraz dla wody pitnej. Ich zadaniem jest zapobieżenie wystąpieniu ruchu wstecznego transportowanego medium, przy jak najniższych oporach przepływu w kierunku zgodnym z pożądanym. Podstawową zaletą tego typu zaworów jest ich bezobsługowa praca. Elementem zamykającym jest metalowa (przy niskich nominacjach z tworzywa sztucznego) pusta wewnątrz kula z warstwą roboczą z wulkanizowanej gumy o wysokiej wytrzymałości i odporności. Kula ta, przy przepływie zgodnym z założonym kierunkiem, jest unoszona przez prąd cieczy do bocznej części, natomiast gdy następuje sytuacja zwrotnego ruchu, zamyka króciec przepływowy, uniemożliwiając przepływ medium. Istotną cechą, z punktu widzenia charakteru jej pracy, jedynego ruchomego elementu zaworu, jest gęstość, rozumiana jako stosunek masy kompletnej kuli do objętości całkowitej. Ogólnie kule zaworów zwrotnych posiadają gęstość większą niż transportowane medium i stąd często nazywa się je kulami tonącymi. Działanie zwrotnego zaworu kulowego dla kierunku przepływu lub kierunku zwrotnego (zamknięcia) zostało przedstawione schematycznie na rysunku 1.

and improving their efficiency. Such works are being currently conducted in Fabryka Armatur JAFAR SA. In the case of ball reflux valves, apart from general „slimming”, the works concentrate on the construction of the sealing and reflux centre to a great extent responsible for the general operation of the valve, reduction of turbulent flow occurrence, local losses and vibrations, and last but not least, the overall efficiency and exploitation durability.

Ball reflux valves are generally used in industrial installations, especially those operating temporarily, transporting industrial water, wastewater, other neutral liquids of low chemical aggressiveness, and drinking water. Their task is to prevent the occurrence of reverse traffic of the transported medium at the lowest possible flow resistances in the desired direction. The main advantage of this type of valve is maintenance-free operation. The closing element is a metal (or plastic at low values) ball, empty inside, with working surface made of vulcanised rubber characterised with high tenacity and resilience. The ball, when the flow goes in the desired direction, is raised by the current of the liquid to the side, and when a reflux occurs it closes the flow spout preventing the flow of liquid. From the point of view of the character of the work, an important feature of this sole movable element of the valve is density defined as the ratio of the mass of the whole ball to its total volume. In general, the density of the balls in reflux valves is higher than the density of the transported media and thus they are often called floating balls. The operation of a ball reflux valve for the flow direction or the reverse (closing) direction is schematically presented in Figure 1.



Rys. 1. Zasada działania kulowego zaworu zwrotnego: a) kierunek zgodny – przepływ medium, b) kierunek zwrotny – kula w pozycji zamknięcia

Fig. 1. Operating principle of a ball reflux valve: a) flow direction – flow of the media, b) reflux direction – the ball in the closing direction

Symulacje komputerowe procesów fizycznych pozwalają na poznanie tych zjawisk bez konieczności wykonywania często bardzo kosztownych, skompli-

Computer simulations of the physical processes allow for understanding of these phenomena without the need for often costly, complex research and tests

kowanych badań i prób na modelach rzeczywistych. Analiza numeryczna procesów związanych z przepływem cieczy (CFD – *Computational Fluid Dynamics*) pozwala na ocenę przepływu, jego charakteru oraz znaczenia poszczególnych czynników, które wywierają na niego wpływ [1].

Zakres i założenia obliczeń symulacyjnych

Celem symulacji komputerowych przepływu wybranego medium – czystej wody – przez kulowy zawór zwrotny było określenie wpływu zmian całkowitej gęstości kuli na charakter przepływu tej cieczy. Symulacje przepływu przez element armatury zostały przeprowadzone w programie symulacyjnym Flow-3D. Analizie zostały poddane takie parametry, jak: ciśnienie, prędkość cieczy w króćcu wejściowym i wyjściowym zaworu oraz liczba Froude'a, opisująca wpływ siły ciężkości na zjawiska przepływu. Przygotowanie symulacji komputerowej polegało na stworzeniu wirtualnej geometrii zaworu wraz z kulą oraz pokrywą, następnie opisanie warunków brzegowych, które są zbliżone do rzeczywistych warunków towarzyszących procesowi przepływu cieczy przez detale [2]. W przeprowadzonych symulacjach nie zostały uwzględnione elementy zewnętrznego ukształtowania korpusów, takich jak: żebra, otwory, pochylenia. Uwzględniony został wewnętrzny kształt zaworu, który ma bezpośredni wpływ na parametry przepływu.

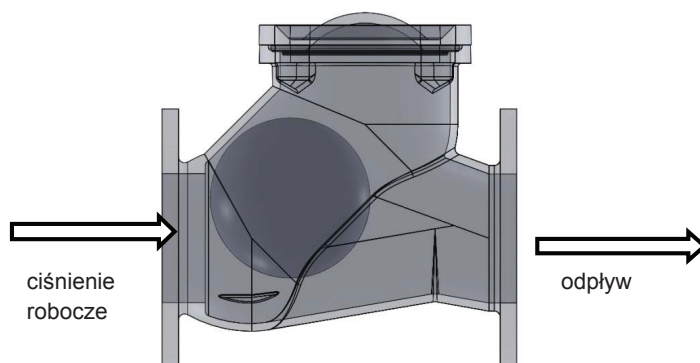
Z uwagi na przewidywany analogiczny charakter przebiegu zjawiska przepływu medium dla całego typoszeregu zaworów zwrotnych, planowanych do modernizacji, poniżej przedstawiono przebieg obliczeń dla najmniejszej wielkości – DN125 mm. Dodatkowym czynnikiem tego wyboru jest możliwość przeprowadzenia badań egzemplarzy modelowych, w celu potwierdzenia wyników badań symulacyjnych, na odpowiednio przygotowanym stanowisku pomiaru oporów przepływu. Na rysunku 2 został przedstawiony kompletny, przygotowany do symulacji, zawór złożony z korpusu, pokrywy oraz kuli.

on real models. Numerical analysis of the processes related to fluid flow (CFD – *Computational Fluid Dynamics*) allows for the assessment of the flow, the nature and importance of the different factors that have an impact on it [1].

The scope and objectives of the simulation calculations

The aim of the computer simulation of the flow of the chosen fluid – clean water – through a ball reflux valve was to define the influence of changing the overall density of the ball on the character of the flow of water. The simulations of the flow through this element of armature were carried out with the use of a simulation software Flow-3D. The analysis included parameters such as: pressure, speed of the fluid in the inlet and outlet spout of the valve and Froude number describing the influence of the gravity to the flow phenomena. The preparation of the computer simulation consisted in developing virtual geometry of the valve with the ball and lid, and then describing the boundary conditions close to the real conditions accompanying the process of fluid flow through the element [2]. In the conducted simulations the elements of the outside construction of the body such as ribs, holes and slopes, were not taken into consideration. The internal shape of the valve, which has a direct impact on the flow parameters, was considered.

Due to the corresponding nature of the expected course of the flow of the fluid for the whole range of the reflux valves chosen for modernisation sequence of calculations is presented below for the smallest size – DN125 mm. An additional factor for this choice is the possibility of testing the model units, in order to confirm the results of simulations, in the properly prepared localisation of measurement of flow resistance. Figure 2 presents a complete valve, ready for simulation and consisting of the body, lid and ball.



Rys. 2. Rysunek złożeniowy kulowego zaworu zwrotnego DN125
Fig. 2. Assembly drawing of a ball reflux valve DN125

Tak przygotowana geometria zaworu została zapisana w formacie plików kompatybilnych z programem. Następnie została stworzona domena w postaci siatki obliczeniowej. Jakość siatki, czyli wielkość pojedynczej komórki obliczeniowej, została dobrana w sposób pozwalający na wierne odzwierciedlenie każdego z detali oraz poszczególnych elementów zaworu. Następnie zostały założone parametry brzegowe symulacji. Założono, że medium transportowanym przez zawór będzie woda. Parametry wody zostały opisane dla warunków stałej temperatury $t = 20^{\circ}\text{C}$. W tabeli 1 zostały zamieszczone podstawowe parametry wprowadzone do programu obliczeniowego.

Such prepared valve geometry is saved in a file format compatible with the programme. Then the domain in the form of computing grid was created. The quality of the grid, that is the size of a single calculation cell, was chosen so as to allow for reliable reflection of every detail of the valve elements. Then the boundary parameters were established for the simulation. It was assumed that the fluid transported by the valve will be water. Water parameters were defined for the constant temperature $t = 20^{\circ}\text{C}$. Table 1 presents the basic parameters input to the calculating programme.

Tabela 1. Właściwości medium przyjętego do obliczeń
Table 1. Properties of the medium assumed for the calculations

Medium/Fluid	Lepkość/Viscosity, Pa·s	Gęstość/Density, kg/m ³	Napięcie powierzchniowe / Surface tension, J/m ²
Woda/Water	0,001	1000	0,73

Warunki brzegowe zostały dobrane w sposób pozwalający wiernie odtworzyć warunki pracy zaworu. Wartości minimalne oraz maksymalne zostały zaczerpnięte z dokumentacji techniczno-ruchowej dla zaworu z typoszeregu 6516 [3].

Zakres pracy:

- max. prędkość przepływu medium – do 4 m/s,
- wartości ciśnienia nominalnego PN – 1,0 MPa,
- wartości ciśnienia nominalnego PN – 1,6 MPa,
- ciśnienie potrzebne do otwarcia po ustąpieniu ciśnienia zwrotnego – 0,02 MPa,
- całkowita gęstość kuli dotychczasowej – 1,66 kg/dm³,
- całkowita gęstość kuli projektowanej – 1,20 kg/dm³.

Analiza numeryczna zaworu DN125 dla całkowitej gęstości kuli $\rho = 1,66 \text{ kg/dm}^3$

Ciśnienie, z jakim ciecz wpływa do zaworu zostało określone na podstawie dokumentacji techniczno-ruchowej, $p = 0,02 \text{ MPa}$. Jest to minimalne ciśnienie potrzebne do uniesienia kuli po ustąpieniu ciśnienia zwrotnego. Założono, że warunkiem początkowym pracy zaworu będzie kula w pozycji otwartej oraz częściowo wypełniona cieczą przestrzeń robocza. W celu uzyskania charakterystycznych wielkości, takich jak: ciśnienie robocze, prędkości itp., zostały umieszczone punkty pomiarowe, których usytuowanie przedstawiono na rysunku 3.

Na rysunku 4 została przedstawiona wizualizacja przepływu cieczy przez zawór DN125. W pierwszej fazie zauważalny jest wzrost prędkości, spowodowany wpływaniem pierwszej porcji medium w obszar roboczy zaworu. Zmiana ciśnienia na króćcu wpły-

The boundary conditions were chosen so as to faithfully reproduce the conditions of the work of the valve. The minimum and maximum values were taken from the technical manual for valve series 6516 [3].

Operating range:

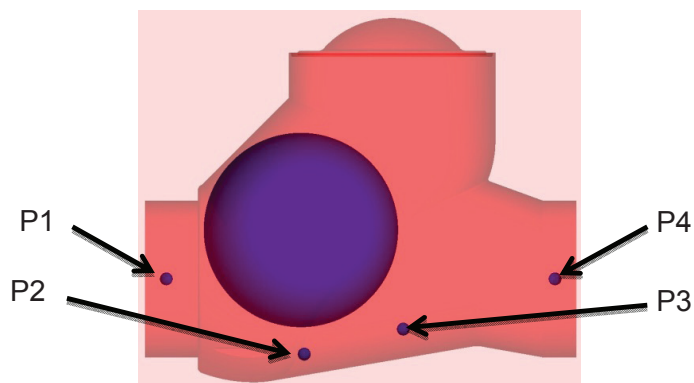
- max. flow velocity of a medium: – up to 4 m/s,
- nominal pressure value PN: – 1.0 MPa,
- nominal pressure value PN: – 1.6 MPa,
- pressure needed to open after the disappearance of back pressure – 0.02 MPa,
- total density of the previous ball – 1.66 kg/dm³,
- total density of the designed ball – 1.20 kg/dm³.

Numerical analysis of the DN125 valve for the total density of the ball $\rho = 1.66 \text{ kg/dm}^3$

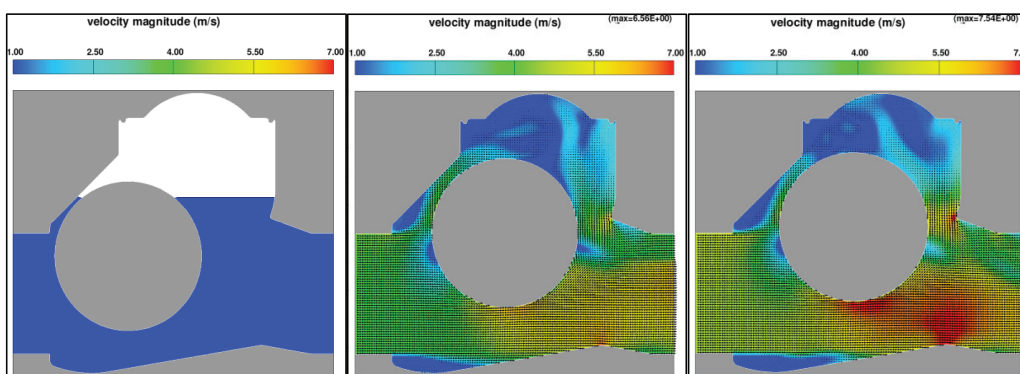
Pressure at which the liquid flows into the valve has been determined on the basis of the technical manual, $p = 0.02 \text{ MPa}$. Minimal pressure is needed to raise the ball after the disappearance of back pressure. It was assumed that the initial condition of the work of the valve will be the ball in the open position and working space partially filled with liquid. In order to obtain characteristic values such as pressure, velocity, etc., measuring points were arranged in the positions shown in Figure 3.

Figure 4 presents a visualisation of medium flow through the DN125 valve. In the first phase, an increased velocity due to the entry of the first portion of the working medium into the valve working area is observed. A change in pressure at the inlet spout of the valve causes a change in pressure at the

wowym do zaworu powoduje zmianę ciśnienia na outlet spout. króćcu odpływowym.



Rys. 3. Usytuowanie punktów pomiarowych w przestrzeni roboczej korpusu DN125
 Fig. 3. Localisation of measuring points in the working space of the DN125 body



Rys. 4. Wizualizacja prędkości przepływu cieczy przez zawór DN125 kolejno w czasie 0, 4, 9 s, dla kuli o gęstości $\rho_k = 1,66 \text{ kg/dm}^3$

Fig. 4. Visualisation of the velocity of the flow of the liquid through the DN125 valve sequentially after 0; 4; 9 s, for the ball of density $\rho_k = 1,66 \text{ kg/dm}^3$

Analiza danych przedstawionych na rysunku 5, na którym został przedstawiony wykres prędkości w poszczególnych punktach pomiarowych, pozwala zauważyć, że po upływie około 1 s następuje częściowe ustabilizowanie przepływu. Następnie po około 7,5 s następuje wzrost prędkości, co może być spowodowane ruchem kuli. Gdy kula o gęstości $\rho_k = 1,66 \text{ kg/dm}^3$ znajduje się w dolnym położeniu, na skutek opadania, może powodować falę.

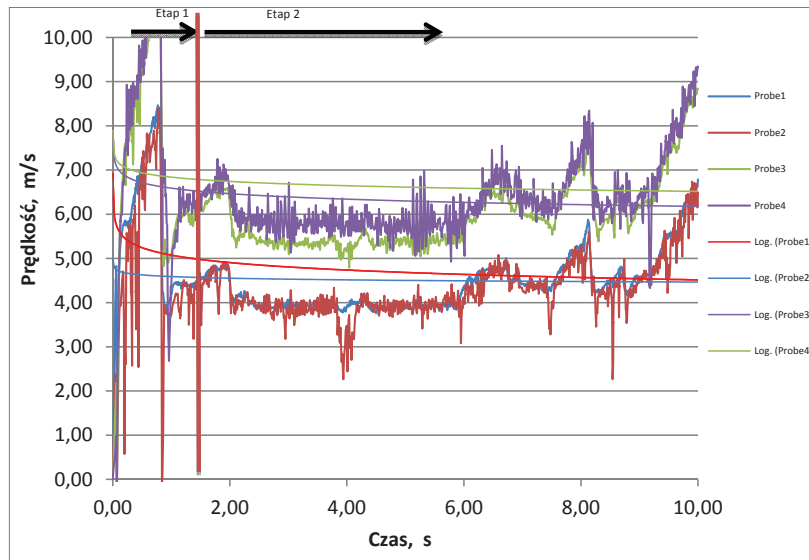
Pomiar prędkości jest dynamiczny, w każdej sekundzie pomiaru następuje jego zmiana, dlatego wartości zostały przedstawione w postaci średniej: $v_{probe1} = 4,77 \text{ m/s}$, $v_{probe2} = 4,52 \text{ m/s}$, $v_{probe3} = 6,36 \text{ m/s}$, $v_{probe4} = 6,66 \text{ m/s}$. Na rysunku 6 zostały przedstawione zmiany ciśnienia w cieczy podczas przepływu, a na rysunku 7 – wizualizacja zmian ciśnienia w cieczy podczas przepływu powstającego w cieczy podczas przepływu.

W celu scharakteryzowania przepływu na rysunku 8 został przedstawiony wykres liczby Froude'a, która pozwala określić, czy przepływ jest stabilny, krytyczny lub nadkrytyczny.

The analysis of the data presented in Figure 5 showing the velocity chart in specific measuring points, shows that after about 1 second a partial stabilisation of the flow occurs. Then, after about 7.5 s an increase of velocity occurs which may be caused by the ball movement. When the ball of density $\rho_k = 1.66 \text{ kg/dm}^3$ is in the bottom position, its descent can cause a wave.

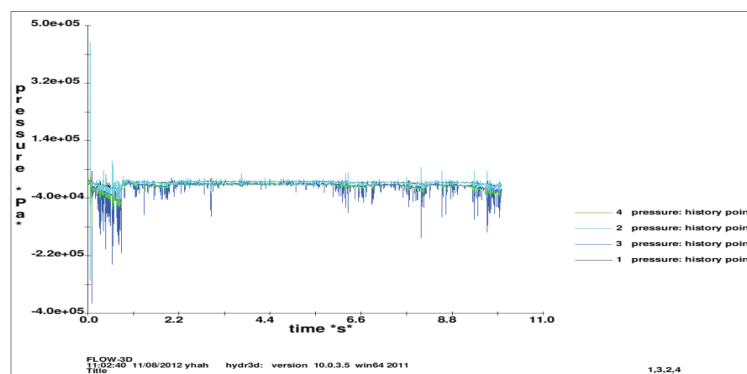
The velocity measurement is dynamic, in each second of the measurement a change occurs, so the values are presented as an average: $v_{probe1} = 4.77 \text{ m/s}$, $v_{probe2} = 4.52 \text{ m/s}$, $v_{probe3} = 6.36 \text{ m/s}$, $v_{probe4} = 6.66 \text{ m/s}$. Figure 6 presents the changes of the pressure of the medium during the flow of the liquid, and Figure 7 shows a visualisation of the changes of the pressure of the liquid.

In order to characterise the flow in Figure 8 a chart of the Froude number is presented, which allows to determine if the flow is stable, critical or supercritical.



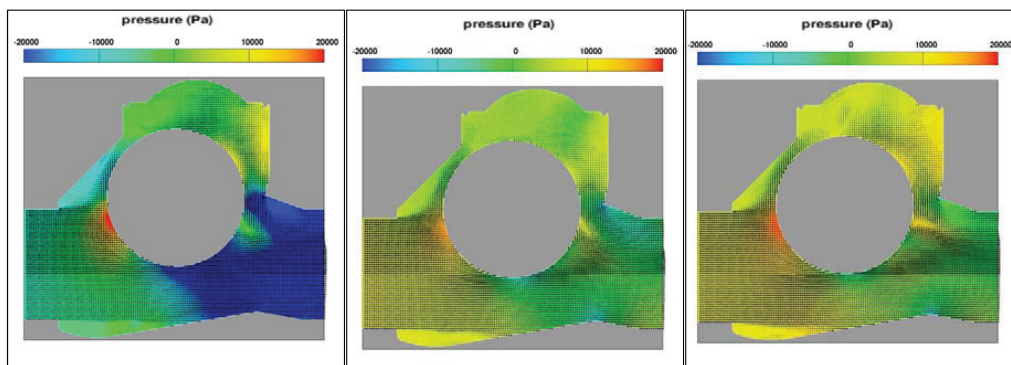
Rys. 5. Wykres prędkości przepływającego medium w poszczególnych punktach pomiarowych, zawór DN125, gęstość kuli $\rho_k = 1,66 \text{ kg/dm}^3$. Etap 1 – przepływ burzliwy, Etap 2 – stabilizacja przepływu

Fig. 5. Velocity chart of the fluid flow in the individual measuring points, valve DN125, density of the ball $\rho_k = 1.66 \text{ kg/dm}^3$. Stage 1 – turbulent flow, Stage 2 – stabilisation of the flow



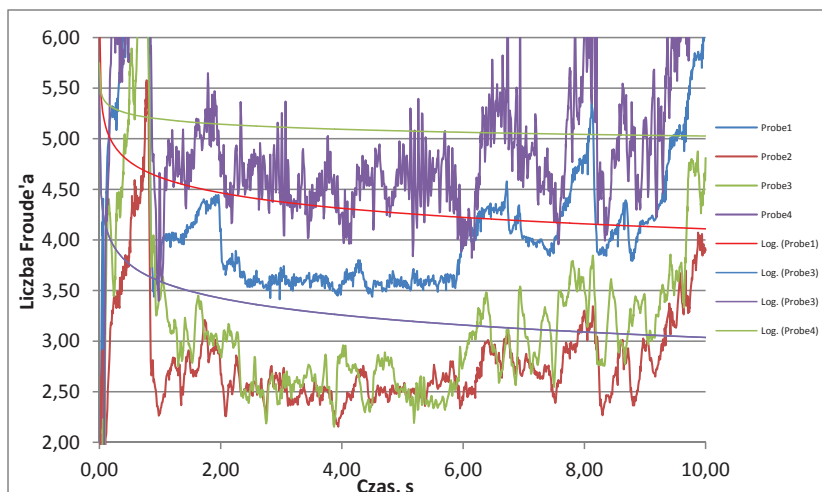
Rys. 6. Zmiany ciśnienia cieczy podczas przepływu przez zawór DN125, dla kuli o gęstości $\rho_k = 1,66 \text{ kg/dm}^3$

Fig. 6. The change of the pressure of the medium during the flow of the liquid through the DN125 valve for the ball of density $\rho_k = 1.66 \text{ kg/dm}^3$



Rys. 7. Wizualizacja zmian ciśnienia w cieczy podczas przepływu przez zawór DN125 kolejno w czasie 0,5; 4; 9 s, dla kuli o gęstości $\rho_k = 1,66 \text{ kg/dm}^3$

Fig. 7. Visualisation of the changes of the pressure of the liquid during the flow through the DN125 valve sequentially after 0.5; 4; 9 s, for the ball of density $\rho_k = 1.66 \text{ kg/dm}^3$



Rys. 8. Zmiany wartości liczby Froude'a w punktach pomiarowych następujące w trakcie przepływu medium przez zawór DN125, dla kuli o gęstości $\rho_k = 1,66 \text{ kg/dm}^3$

Fig. 8. The change of the Froude number in measuring points occurring during the flow of the liquid through the DN125 valve for the ball of density $\rho_k = 1.66 \text{ kg/dm}^3$

Wartości średnie liczby Froude'a wynoszą kolejno w punktach pomiarowych: $Fr_{prob1} = 4,34$; $Fr_{prob2} = 2,89$; $Fr_{prob3} = 3,29$; $Fr_{prob4} = 5,10$. Wartości te potwierdzają, że charakter przepływu przez zawór jest burzliwy. Określenie ciśnienia przy króćcu wpływowym oraz przy króćcu odpływowym pozwala na określenie współczynnika przepływu Kv zaworu [4]:

$$Kv = \frac{Q}{\sqrt{\Delta p}}, \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (1)$$

gdzie:

Q – natężenie przepływu, m^3/h

Δp – spadek ciśnienia na zaworze, bar.

Dla określonych parametrów analizowanego zaworu: $Q = 213,84 \text{ m}^3/\text{h}$ oraz $\Delta p = 0,1 \text{ bar}$, wartość współczynnika przepływu wyniosła: $Kv = 676,22 \text{ m}^3/\text{h}$.

Analiza numeryczna zaworu DN125 dla całkowitej gęstości kuli $\rho = 1,20 \text{ kg/dm}^3$

Następna symulacja została przeprowadzona z uwzględnieniem zmiany całkowitej gęstości kuli na $\rho = 1,20 \text{ kg/dm}^3$. Pozostałe parametry techniczno-technologiczne, warunki brzegowe, rozmieszczenie punktów pomiarowych pozostały niezmiennione. Pierwszy etap symulacji jest bardzo podobny do poprzedniej symulacji, następuje uniesienie kuli i następnie jej tonięcie. Na rysunku 9 została przedstawiona wizualizacja przepływu medium przez zawór, z uwzględnieniem początkowej fazy przepływu do momentu ustabilizowania.

Wizualizacja przedstawia ruch kuli w obecności przepływającego przez zawór medium. Symulacja przedstawia przemieszczenie się kuli do maksymalnej wysokości w wyniku wpłynięcia strugi w obszar

Average values of the Froude number sequentially amount to the following values in measuring points: $Fr_{prob1} = 4.34$; $Fr_{prob2} = 2.89$; $Fr_{prob3} = 3.29$; $Fr_{prob4} = 5.10$. Those values confirm that the nature of the flow through the valve is turbulent. Determining the pressure at the inlet spout and the outlet spout allows to determine the Kv flow rate of the valve [4]:

$$Kv = \frac{Q}{\sqrt{\Delta p}}, \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (1)$$

where:

Q – flow rate, m^3/h

Δp – drop of the pressure in the valve, bar.

For the determined parameters of the analysed valve: $Q = 213.84 \text{ m}^3/\text{h}$ and $\Delta p = 0.1 \text{ bar}$, the value of the flow rate was: $Kv = 676.22 \text{ m}^3/\text{h}$.

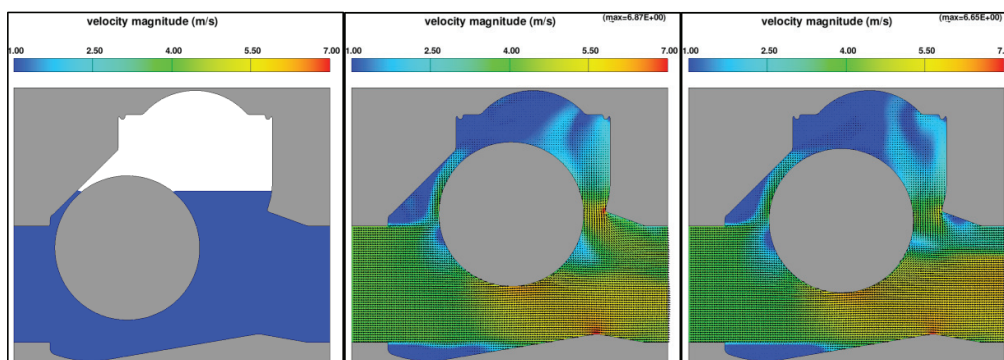
Numerical analysis of the DN125 valve for the total density of the ball $\rho = 1.20 \text{ kg/dm}^3$

The next simulation was carried out taking into account the change in the total density of the ball to $\rho = 1.20 \text{ kg/dm}^3$. The other technical and technological parameters, boundary conditions and the localisation of measurement points remained unchanged. The first stage of the simulation is similar to the previous simulation, the ball is raised and then it sinks. Figure 9 presents a visualisation of medium flow through the valve taking into account the initial phase of the movement until the stabilization.

The visualization presents the movement of the ball in the presence of the medium flowing through the valve. The simulation presents the dislocation of the ball to the maximal height due to the influence of the workspace stream in the valve. Then due to gravity

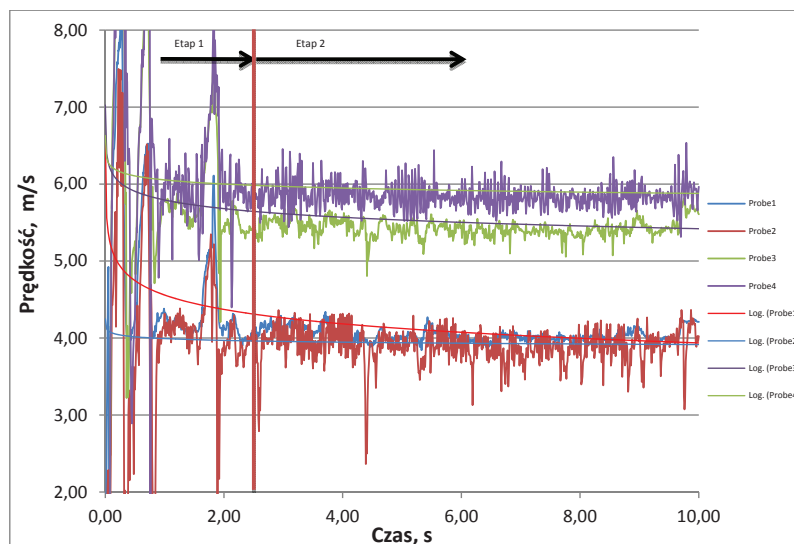
roboczy zaworu. Następnie pod wpływem grawitacji opada ona, powodując powstanie dużej prędkości w obszarze odpływu. Analizując wyniki przedstawione na rysunku 10, na którym zestawione zostały wyniki prędkości w poszczególnych punktach pomiarowych, można zauważyć, że po upływie $t = 2,2$ s, przepływ ulega stabilizacji. Osiągnięcie ustabilizowanej pozycji kuli pozwala ocenić, jakie prędkości uzyskuje medium przy króćcu odpływowym.

the ball descends causing the increase of velocity in the area of the outlet. Analysing the results presented in Figure 10 in which values of velocity in particular measurement points are compiled, it can be observed that after $t = 2.2$ s the flow is stabilising. Reaching the stabilised position of the ball allows an estimation of what values of velocity the medium has at the outlet spout.



Rys. 9. Wizualizacja prędkości przepływu cieczi przez zawór DN125, kolejno w czasie 0; 4,5; 9 s, dla kuli o gęstości $\rho_k = 1,2 \text{ kg/dm}^3$

Fig. 9. Visualisation of the velocity of the flow of the liquid through the DN125 valve sequentially after 0; 4.5; 9 s, for the ball of density $\rho_k = 1.2 \text{ kg/dm}^3$



Rys. 10. Wykres prędkości przepływającego medium w poszczególnych punktach pomiarowych, zawór DN125, gęstość kuli $\rho_k = 1,2 \text{ kg/dm}^3$. Etap 1 – przepływ burzliwy, Etap 2 – stabilizacja przepływu

Fig. 10. Velocity chart of the fluid flow in the individual measuring points, valve DN125, density of the ball $\rho_k = 1.2 \text{ kg/dm}^3$. Stage 1 – turbulent flow, Stage 2 – stabilisation of the flow

Wartości w punktach pomiarowych można podzielić na dwie grupy, w pierwszej prędkości nie przekraczają wartości około $v_1 < 4,5$ m/s a w drugiej – powyżej $v_2 > 4,5$ m/s. Ze względu na dynamiczną zmianę prędkości przedstawione zostały wartości średnie z poszczególnych punktów pomiarowych:

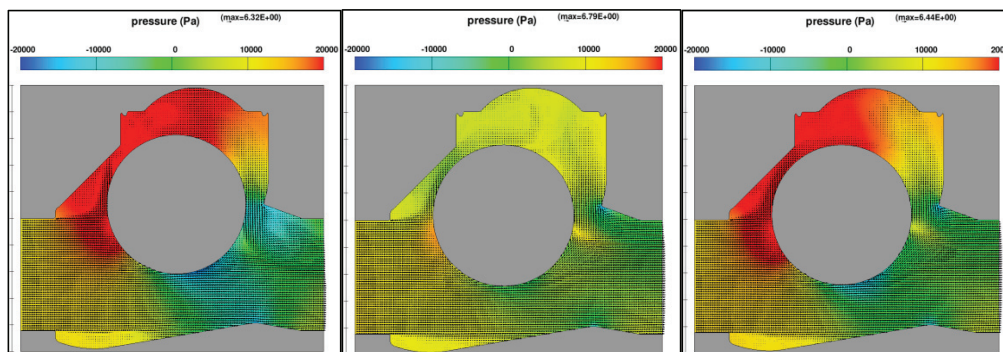
The values measured in the measurement points can be divided into two groups, in the first of which the velocities do not exceed about $v_1 < 4.5$ m/s and in the second – over $v_2 > 4.5$ m/s. Due to the dynamic change of velocity average values from particular measuring points are presented: $v_{probe1} = 4.22$ m/s, $v_{probe2} = 3.95$

$v_{probe1} = 4,22$ m/s, $v_{probe2} = 3,95$ m/s, $v_{probe3} = 5,59$ m/s, $v_{probe4} = 5,96$ m/s. Zmiana jest wywołana zmniejszeniem się przekroju, przez który przepływa medium. Zmiana przekroju następuje przez ruch kuli, która cyklicznie unosi się i tonie.

Na rysunku 11 została zamieszczona wizualizacja wyników pomiaru ciśnienia medium w zaworze.

m/s, $v_{probe3} = 5.59$ m/s, $v_{probe4} = 5.96$ m/s. The change is caused by a decrease in the cross section through which the fluid flows. The change of the section is caused by the movement of the ball which cyclically rises and sinks.

Figure 11 presents the visualisation of results of pressure measurement of the medium in the valve.



Rys. 11. Wizualizacja zmian ciśnienia w cieczy podczas przepływu przez zawór DN125 kolejno w czasie 0,5; 4; 9 s, dla kuli o gęstości $\rho_k = 1,2$ kg/dm³

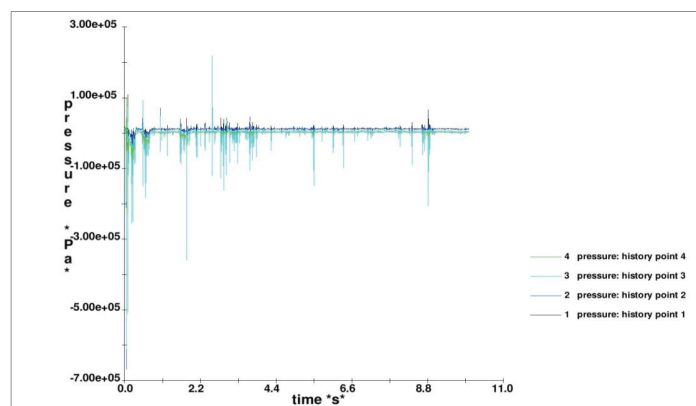
Fig. 11. The change of the pressure of the medium during the flow of the liquid through the DN125 valve sequentially after 0.5; 4; 9 s, for the ball of density $\rho_k = 1.2$ kg/dm³

Analiza powyższych danych pozwala stwierdzić, jaki jest rozkład ciśnienia danego medium w zaworze. W obszarach, gdzie ciśnienie jest wyższe, analogicznie jak na rysunku 12, można zaobserwować mniejsze prędkości. Przy króćcu odpływowym, gdzie ciśnienie jest niższe, również prędkość jest wyższa. Poniżej został przedstawiony wykres pomiarów uzyskany z poszczególnych punktów, który pokazuje, że ciśnienie w punkcie pomiarowym (króćciec odpływowy) 3 i 4 jest niższe niż w punktach mierzonych przez sondy (króćciec wpływowy) 1 i 2. Analogicznie w tych samych punktach prędkości dla punktu 3 i 4 są wyższe niż w punkcie 1 i 2.

Na rysunku 13 został przedstawiony wykres obrazujący liczbę Froude'a w poszczególnych punktach pomiarowych analizowanego układu.

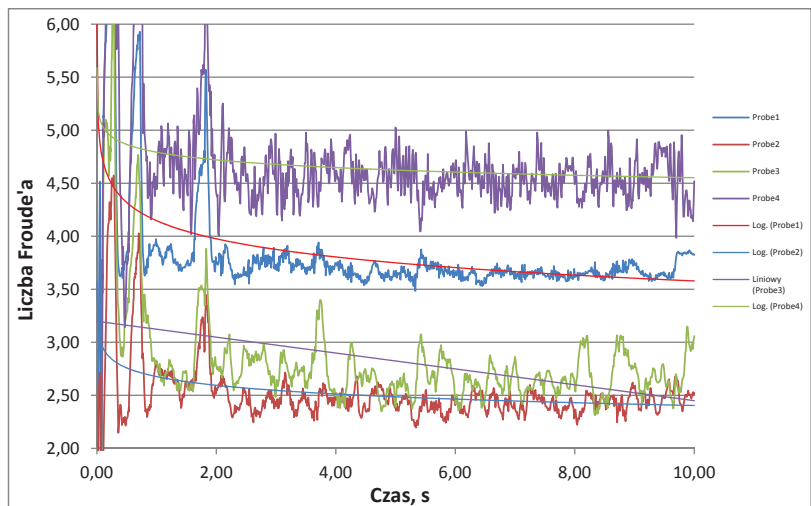
The analysis of the above presented data determines the pressure distribution of the fluid in the valve. In the areas where pressure is higher, analogously to Figure 12, lower velocities can be observed. At the outlet valve, where pressure is lower, the velocity is also higher. Below a chart of measurements taken in particular points is presented, which shows that pressure in a measurement point (outlet spout) 3 and 4 is lower than in the points measured by the probe (inlet spout) 1 and 2. Similarly, at the same points velocities for points 3 and 4 are higher than in points 1 and 2.

Figure 13 presents the chart of Froude number in each of the measurement points of the analysed system.



Rys. 12. Zmiany ciśnienia cieczy podczas przepływu przez zawór DN125, dla kuli o gęstości $\rho_k = 1,2$ kg/dm³

Fig. 12. The change of the pressure of the medium during the flow of the liquid through the DN125 valve for the ball of density $\rho_k = 1.2$ kg/dm³



Rys. 13. Zmiany wartości liczby Froude'a w punktach pomiarowych następujące w trakcie przepływu medium przez zawór DN125, dla kuli o gęstości $\rho_k = 1,2 \text{ kg/dm}^3$

Fig. 13. The change of the Froude number in measuring points occurring during the flow of the liquid through the DN125 valve for the ball of density $\rho_k = 1.2 \text{ kg/dm}^3$

Ze względu na nieliniowość przepływu wyznaczone zostały wartości średnie liczby Froude'a dla poszczególnych punktów pomiarowych: $Fr_{prob1} = 3,84$; $Fr_{prob2} = 2,53$; $Fr_{prob3} = 2,84$; $Fr_{prob4} = 4,66$. Dla kuli o obniżonej gęstości został również wyznaczony współczynnik przepływu K_v zaworu. Dla wartości określonych dla analizowanego zaworu: $Q = 211,98 \text{ m}^3/\text{h}$ i $\Delta p = 0,09 \text{ bar}$, współczynnik ten wynosi $K_v = 706,6 \text{ m}^3/\text{h}$.

Due to the nonlinearity of the flow average values of Froude number for each of the measurement points: $Fr_{prob1} = 3.84$; $Fr_{prob2} = 2.53$; $Fr_{prob3} = 2.84$; $Fr_{prob4} = 4.66$. For the ball of lower density the K_v flow rate of the valve was also determined. For the values determined in the case of the analysed valve: $Q = 211.98 \text{ m}^3/\text{h}$ and $\Delta p = 0.09 \text{ bar}$, the rate equals $K_v = 706.6 \text{ m}^3/\text{h}$.

Tabela 2. Zestawienie wyników analizy z poszczególnych symulacji zaworu DN125

Table 2. Compilation of the results of the analysis of each of the simulations of the DN125 valve

Gęstość kuli / Density of the ball, kg/dm^3	Prędkość / Velocity, m/s				Liczba Froude'a / Froude number				$K_v, \text{m}^3/\text{h}$
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	
$\rho_k = 1,66$	4,77	4,52	6,36	6,66	4,34	2,89	3,29	5,10	676,2
$\rho_k = 1,20$	4,22	3,95	5,59	5,96	3,84	2,53	2,84	4,66	706,6

Zestawione w tabeli 2 wyniki pozwalają zauważyć, że prędkości medium w punktach pomiarowych zaworu, w którym znajduje się kula o gęstości $\rho = 1,20 \text{ kg/dm}^3$ są niższe niż w zaworze z kulą o gęstości $\rho = 1,66 \text{ kg/dm}^3$. Jest to spowodowane tym, iż lżejsza kula unosi się wyżej, pozostawiając większy przekrój czynny, stwarzając mniejsze opory przepływającej cieczy. Zmiana kuli, z dotychczas stosowanej, na zmodyfikowaną o mniejszej gęstości, powoduje mniej burzliwy przepływ medium przez zawór, co ma wyraz w spadku liczby Froude'a we wszystkich punktach pomiarowych. Równocześnie obliczone współczynniki przepływu K_v dla obu zastosowanych kul wykazały, że wskaźnik ten jest korzystniejszy dla kuli o zmodyfikowanej gęstości.

The results presented in Table 2 show that the velocities of the medium in measurement points of the valve with a ball of density $\rho = 1.20 \text{ kg/dm}^3$ are lower than in the valve with a ball of density $\rho = 1.66 \text{ kg/dm}^3$. It is caused by the fact that the lighter ball is raised higher leaving a bigger active section creating less resistance to water flow. Substitution of the ball from the previously used to the modified one with lower density, causes less turbulent flow of the medium through the valve, which is reflected in a decrease of the Froude number in all measurement points. At the same time the calculated K_v factors used for both balls have shown that this ratio is more favourable for the ball with a modified density.

W podsumowaniu można stwierdzić, iż planowana zmiana konstrukcji ważnego elementu, jakim jest kula tonąca, prowadząca do obniżenia jej gęstości, prowadzi do poprawy właściwości użytkowych zaworu zwrotnego.

Wnioski

1. Analiza numeryczna przy wykorzystaniu wirtualnego odwziewiedlenia elementu armatury oraz przy zastosowaniu warunków pracy detalu pozwala na ocenę parametrów pracy oraz charakter przepływu medium przez zawór.
2. Wykonana analiza numeryczna, na zaworze zwrotnym o wybranej wielkości, pozwoliła określić wpływ zmian całkowitej gęstości kuli na parametry przepływu cieczy przez zawory z typoszeregu 6516.
3. Dane uzyskane z symulacji pozwoliły stwierdzić, że zmiana gęstości całkowitej kuli z $\rho = 1,66 \text{ kg/dm}^3$ na $\rho = 1,20 \text{ kg/dm}^3$ powoduje wzrost wydajności oraz dynamiki przepływu cieczy przez zawór, co jest związane ze zmniejszeniem oporów wewnętrznych.
4. Obniżenie gęstości kuli winno skutkować mniejszymi wibracjami zaworu i stabilniejszym charakterem pracy.
5. Spodziewany wzrost sprawności ogólnej zaworu nie będzie jednak proporcjonalnie tak wysoki jak stopień obniżenia gęstości kuli.
6. Weryfikacja wyników powyższych symulacji musi być przeprowadzona przy użyciu modelowych zaworów na stanowisku do testowania armatury, co pozwoli na wyznaczenie rzeczywistych parametrów pracy zmodyfikowanych zaworów zwrotnych.

Podziękowania

Prace wykonano w ramach projektu celowego ROW-III-239/2012 pt. „Opracowanie i wdrożenie nowej konstrukcji węzła uszczelniająco-zwrotnego typoszeregu żeliwnych zaworów zwrotnych, spełniającego wymagania normy PN-EN 1074-3:2002” (zlec. 2203/00).

Literatura/References

1. *Flow-3D – Manual*. (2012).
2. Turesson, M. (2011). *Dynamic simulation of check valve using CFD and evaluation of check valve model in RELAP5*. Göteborg, Sweden: Chalmers University of Technology.
3. *Dokumentacja techniczno-ruchowa zaworów zwrotnych kulowych typoszeregu 6516*.
4. Smusz R. *Metodyka wyznaczania współczynnika przepływu Kv*. Rzeszów: Politechnika Rzeszowska, Katedra Termodynamiki.

In summary it can be stated that the proposed change in the structure of an important element, which is the floating ball, leading to a reduction in the density leads to an improvement of the performance of the reflux valve.

Conclusions

1. Numerical analysis with the use of virtual model of the element of armature and with the use of the working conditions of the element allows for the assessment of the working parameters and the nature of fluid flow through the valve.
2. The performed numerical analysis of the reflux valve of a chosen size determined the influence of changes of the total density of the ball on the parameters of the flow in valves from 6516 range.
3. The data obtained during simulation allowed to determine that the change of the total density of the ball from $\rho = 1.66 \text{ kg/dm}^3$ to $\rho = 1.20 \text{ kg/dm}^3$ causes an increase of the efficiency and the dynamics of fluid flow through the valve, which is associated with a reduction in internal resistance.
4. Lowering the density of the ball should result in less vibration and more stable nature of valve operation.
5. The expected increase in the overall efficiency of the valve will not be proportionately as high as the degree of reduction in the density of the ball.
6. The verification of the results of these simulations must be carried out using the model-valve in the valve test bench, which will determine the actual parameters of the modified valves.

Acknowledgments

The study was performed in the target project no ROW-III-239/2012: “Development and implementation of the new structure of the sealing and reflux node in the range of cast iron reflux valves that meets the requirements of PN-EN 1074-3:2002” standard (order 2203/00).

