

Jerzy TOMECZEK, Andrzej PUSZER, Mariusz WNEK
POLITECHNIKA ŚLĄSKA, KATEDRA ENERGETYKI PROCESOWEJ

Sposób kształtowania regulacyjnych charakterystyk przepływowych elementów nastawczych strumienia płynu

Prof. dr hab. inż. Jerzy TOMECZEK

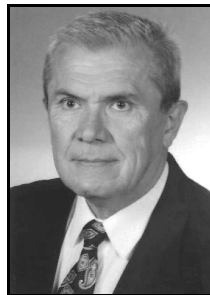
Kierownik Katedry Energetyki Procesowej. Obszar zainteresowań: energetyka cieplna, termodynamika, przepływ ciepła i substancji, spalanie paliw, mechanizmy tworzenia i destrukcji zanieczyszczeń w procesach spalania, zgazowanie węgla, konstrukcje niskoemisyjnych urządzeń do spalania paliw. Autor ponad 300 publikacji. Członek Komitetu Termodynamiki i Spalania PAN.



e-mail: jerzy.tomczek@polsl.pl

Dr inż. Andrzej PUSZER

Studia ukończył w 1964 r., doktorat w 1973. Zajmuje się problematyką przemysłowych systemów pomiarowych oraz automatyką w energetyce i hutnictwie. Problematyce tej poświęcił 55 publikacji oraz 60 referatów.



e-mail: a.puszer@chello.pl

Dr inż. Mariusz WNEK

Stypendysta Marie Curie Fellowship. Doktorat w 2005. Adiunkt w Katedrze Energetyki Procesowej. Obszar zainteresowań: metrologia przemysłowa i komputerowa, teoria sterowania i automatyka procesów przemysłowych, nowoczesne elementy nastawcze, palniki regeneracyjne, modelowanie i konstruowanie regeneratorów ciepła do wysokotemperaturowych pieców grzewczych.



e-mail: mariusz.wnek@polsl.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono koncepcję elementów nastawczych: zasuw, przepustnic oraz zaworu grzybkowego, które charakteryzują się dobrą założoną zależnością między strumieniem płynu a stopniem ich otwarcia. Przedstawiono ideę algorytmu obliczeń projektowych, w którym wykorzystano metodę charakterystyki odwrotnej, kryterium liniowości oraz uogólnioną, podstawową charakterystykę przepływową.

Słowa kluczowe: elementy nastawcze strumienia płynu, przepływowa charakterystyka regulacyjna, kryterium liniowości.

The control characteristic shaping of fluid mass flow adjustment elements

Abstract

Paper presents a concept of adjustment elements which is characterized by demanded relation between the fluid mass flow and the opening factor. A method suitable for design process is presented in which the method of inverse characteristic, linearization criteria and fluid mass flow characteristic are utilized.

Keywords: adjustment elements, control characteristic, linearity criteria.

1. Wprowadzenie

Podstawowymi wielkościami sterującymi w obiektach regulacji, w których występuje proces spalania paliw są strumienie substratów i produktów spalania. Do sterowania strumieniami substratów gazowych i ciekłych najczęściej stosuje się elementy nastawcze w postaci: przepustnic, zaworów grzybkowych lub zaworów kulowych, a do sterowania strumieniami produktów spalania wykorzystuje się zasuwę lub przepustnicę [1, 2]. Automatyczna regulacja tych obiektów powinna cechować się dobrą jakością dynamiczną, na którą duży wpływ mają regulacyjne charakterystyki przepływowe elementów nastawczych strumieni substratów i produktów spalania, przy czym właściwymi byłyby elementy nastawcze o liniowych charakterystykach regulacyjnych, w których strumień płynu jest proporcjonalny do stopnia otwarcia.

Klasyczne zasuwę, zawory kulowe i zawory z grzybkami płaskimi charakteryzują się wyjątkowo niekorzystnymi właściwościami regulacyjnymi, ponieważ ich charakterystyki regulacyjne cechuje duża nieliniowość w postaci szerokiej strefy nasycenia. Nieliniowość ta jest typowa dla armatury zaporowej [3, 4]. W Katedrze Energetyki Procesowej opracowano własną metodę projektowania zasuw oraz przepustnic o liniowych, przepływowych charakterystykach regulacyjnych. Liniowość tę uzyskuje się przez odpowiednie wyprofilowanie otworu przepływowego [2, 5]. Metoda umożliwia uzyskanie dowolnego, założonego kształtu charakterystyki regulacyjnej. Celem publikacji jest prezentacja metody oraz jej adaptacja do zaworów grzybkowych. W tym przypadku liniowość charakterystyki uzyskuje się przez odpowiednie wyprofilowanie grzybka.

2. Charakterystyki konstrukcyjne i przepływowe elementów nastawczych

Zależność między polem powierzchni przepływowej a stopniem otwarcia, zwana charakterystyką konstrukcyjną, może mieć charakter liniowy (zasuwa prostokątna i zawór z grzybkami płaskimi) lub nieliniowy (zasuwa kołowa, przepustnica, zawór kulowy oraz zawory z grzybkami profilowanymi). Liniowe charakterystyki konstrukcyjne są typowe dla armatury zaporowej, natomiast armatura sterownicza (regulacyjna) wymaga odpowiednio ukształtowanych, nieliniowych charakterystyk konstrukcyjnych [6, 7, 8].

Charakterystyka konstrukcyjna determinuje przebieg podstawowej charakterystyki przepływowej elementu nastawczego określającej związek między strumieniem płynu a stopniem otwarcia tego elementu przy niezmiennym spadku ciśnienia w elemencie nastawczym. Do jej opisu powszechnie stosuje się współczynnik przepływu K_V wyznaczany eksperymentalnie [3, 9], który w literaturze jest czasami błędnie interpretowany [10]. Współczynnik K_V wyraża strumień objętości wody o gęstości 1000 kg/m^3 , dla stopnia otwarcia X , przy niezmiennym spadku ciśnienia w elemencie nastawczym, wynoszącym $\Delta p_N = 98,1 \text{ kPa}$. Współczynnik przepływu jest funkcją monotonicznie rosnącą wraz ze wzrostem stopnia otwarcia [11, 12]. W literaturze technicznej do opisu podstawowej charakterystyki przepływowej stosuje się również liczbę lokalnego oporu przepływu Z_N , którą odnosi się najczęściej do prędkości płynu w króćcu dolotowym elementu nastawczego. W krajowej literaturze przedmiotu nie podaje się związku między $K_V(X)$ i $Z_N(X)$, który wynika z definicji współczynnika przepływu

$$Z_N(X) = c_2 \left[\frac{D_N^2}{K_V(X)} \right]^2, \quad (1)$$

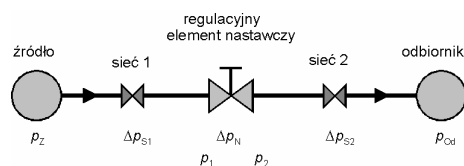
gdzie: c_2 – współczynnik liczbowy $c_2 = 15,7 \cdot 10^8 \text{ (m/h)}^2$, D_N – nominalna lub ekwiwalentna średnica króćca dolotowego, mm.

Dla celów sterowania strumieniem płynu w układach automatycznej regulacji istotny jest kształt charakterystyki regulacyjnej podającej związek między strumieniem płynu a stopniem otwarcia przy zmiennym spadku ciśnienia w elemencie nastawczym. Dla przepływów turbulentnych strumień m płynu w kg/h, płynący przez element nastawczy opisuje równanie

$$m = c_1 K_V \varepsilon \sqrt{\Delta p_N \rho}, \quad (2)$$

gdzie: c_1 – współczynnik liczbowy $c_1 = 0,101$ s/m, Δp_N – spadek ciśnienia w elemencie nastawczym, Pa, ε – liczba ekspansji, ρ – gęstość płynu dla parametrów w króćcu dolotowym, kg/m³.

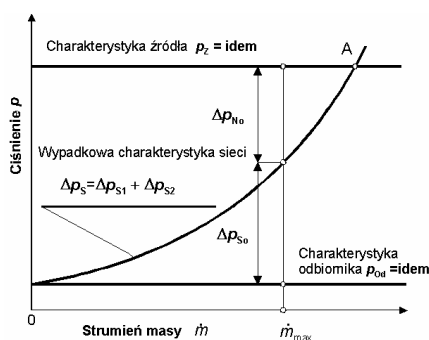
Na rys. 1 przedstawiono przykładowo schemat instalacji przepływowej z regulacyjnym elementem nastawczym zawierającej: źródło o ciśnieniu p_Z , sieć ze spadkiem ciśnienia Δp_{S1} przed i ze spadkiem ciśnienia Δp_{S2} za elementem regulacyjnym oraz odbiornik, w którym panuje ciśnienie p_{Od} . Źródłem w instalacji mogą być: wentylator, pompa lub zawór z regulatorem ciśnienia.



Rys. 1. Schemat instalacji z regulacyjnym elementem nastawczym
Fig. 1. Installation scheme with control adjustment element

Na rys. 2 pokazano przykładowo charakterystyki źródła, odbiornika i sieci. Punkt A odpowiada wersji, gdy w instalacji brakuje regulacyjnego elementu nastawczego. Spadek ciśnienia statyczny w elemencie nastawczym dla układu jak na rys. 1 i 2 będzie

$$\Delta p_N = p_Z - \Delta p_S - p_{Od}. \quad (3)$$



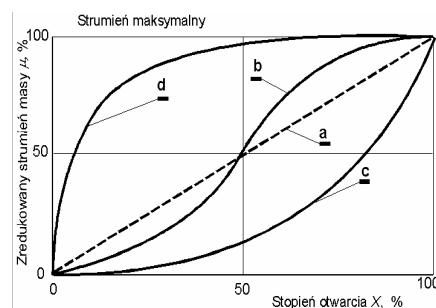
Rys. 2. Przykład charakterystyk przepływowych sieci, źródła i odbiornika
Fig. 2. Fluid flow characteristic of system, source and receiver

Przy projektowaniu regulacyjnego elementu nastawczego do instalacji lub jego dobieraniu z katalogu należy dla obliczeniowego, maksymalnego strumienia płynu przewidzieć odpowiedni, dyspozycyjny spadek ciśnienia w zaworze Δp_{No} . Z doświadczeń autorów wynika, iż dla zmniejszenia strat energii dyspozycyjny spadek ciśnienia, w nowo projektowanych instalacjach, powinien być przyjmowany z przedziału [2]

$$\frac{\Delta p_{No}}{\Delta p_{ins}} = k_N \in [0,2 \div 0,4] \quad (4)$$

gdzie k_N – liczba straty ciśnienia w elemencie nastawczym, zaś $\Delta p_{ins} = p_Z - p_{Od}$ – całkowity spadek ciśnienia w instalacji, Pa. Spotykane w praktyce projektowej wyższe wartości k_N nie są uzasadnione, gdyż powodują konieczność stosowania wyższych

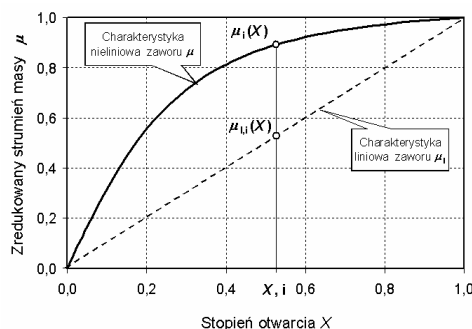
ciśnień w źródle. Przyjmowanie wartości k_N z przedziału (4) prowadzi najczęściej do redukcji pola powierzchni przepływowej elementu nastawczego w stosunku do pola powierzchni przepływowej rurociągu lub kanału, bądź do ograniczenia maksymalnej wartości stopnia otwarcia. Na rys. 3 przedstawiono przykładowo regulacyjne charakterystyki przepływowe, zwane również charakterystykami roboczymi. Jeśli wielkością regulowaną w instalacji jest strumień płynu, to pożądane jest, aby regulacyjna charakterystyka przepływowa elementu nastawczego była liniowa (rys. 3a). Natomiast w przypadku, gdy stopień otwarcia zaworu jest sygnałem sterującym, a wielkością regulowaną jest inny parametr, np. temperatura lub ciśnienie, to wypadkowa charakterystyka statyczna elementu nastawczego i obiektu regulacji powinna mieć przebieg liniowy. Z tego warunku wynika kształt charakterystyki elementu nastawczego [2].



Rys. 3. Regulacyjne charakterystyki przepływowe elementów nastawczych: a – idealna, liniowa; b – zbliżona do liniowej; c – charakterystyka nieliniowa dla dużych wartości $k_N > 40\%$; d – charakterystyka nieliniowa dla małych wartości $k_N < 20\%$

Fig. 3. Control flow characteristics of adjustment elements: a – ideal linear; b – semi-linear; c – nonlinear for $k_N > 40\%$; d – nonlinear for $k_N < 20\%$

W praktyce często, przy projektowaniu instalacji, przyjmuje się bardzo małą wartość liczby strat ciśnienia k_N , która odpowiada maksymalnej wartości strumienia. Założenie to, mające na celu minimalizację oporu przepływu oraz uproszczenie instalacji, powoduje dużą nieliniowość charakterystyki regulacyjnej zaworu, jak na rys. 3d, co jest typowe dla armatury zaporowej. Przy doborze klasycznych, katalogowych zaworów do sterowania strumienia płynu należy przyjmować wartość liczby k_N nie mniejszą od 20%. Poprawia to przebieg charakterystyki regulacyjnej (rys. 3b), nie czyni jej jednak liniową. Zwiększanie liczby k_N ponad 40% powoduje nieliniowość charakterystyki w postaci szerokiej strefy nieczułości (rys. 3c). Do analizy liniowości charakterystyk regulacyjnych w pracach projektowych i eksperymentach przydatna jest liczbowo miara tej liniowości lub nieliniowości (rys. 4). W literaturze często autorzy posługują się pojęciem nachylenia charakterystyki zwanym również jej wzmocnieniem [8, 13].



Rys. 4. Przykłady liniowej i nieliniowej, zredukowanych charakterystyk regulacyjnych

Fig. 4. Linear and nonlinear reduced control characteristic

Dla celów oceny zmienności nachylenia rzeczywistej charakterystyki regulacyjnej w Katedrze Energetyki Procesowej wprowadzono do badań kryterium liniowości charakterystyki regulacyjnej J [1, 2, 3]. Stanowi ono nieobciążony estymator wariancji charakterystyki rzeczywistej zredukowanego strumienia masy μ , dla której estymowaną charakterystyką oczekiwaną jest regulacyjna charakterystyka liniowa μ_1

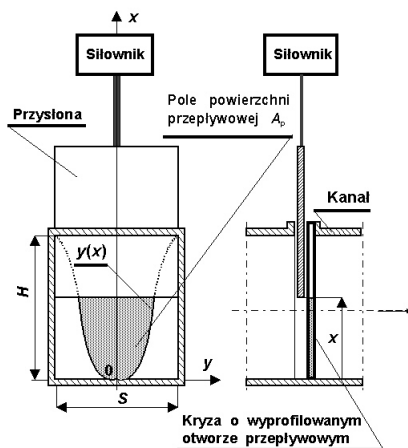
$$J = S_{\mu}^2 = \frac{1}{N-2} \sum_{i=1}^N (\mu_i - \mu_{1,i})^2, \quad (5)$$

gdzie $i = 1, 2, 3, \dots, N$ – liczba punktów podziału, przy czym $N > 10$. Dla rzeczywistej charakterystyki regulacyjnej dążącej do przebiegu liniowego wartość J dąży do zera, a wraz ze wzrostem nieliniowości charakterystyki wartość J rośnie.

Podstawowe charakterystyki przepływowe K_V lub Z_N są przydatne przy dobieraniu do instalacji przepływowej armatury sterującej z katalogów producentów. Natomiast do zaprojektowania elementu nastawczego, np. zasuw lub przepustnicy o odpowiednim, założonym kształcie charakterystyki regulacyjnej, niezbędna jest znajomość tzw. „uogólnionej, podstawowej charakterystyki przepływowej”. Charakterystyka ta określa zależność liczby lokalnego oporu przepływu Z_N od zredukowanego pola powierzchni przepływowej a_p , które wyraża stosunek pola powierzchni przepływowej elementu nastawczego A_p do pola powierzchni przepływowej rurociągu lub kanału A_R , w którym zainstalowany jest element nastawczy. Liczba lokalnego oporu przepływu jest odniesiona do prędkości płynu w króćcu dopływowym elementu nastawczego.

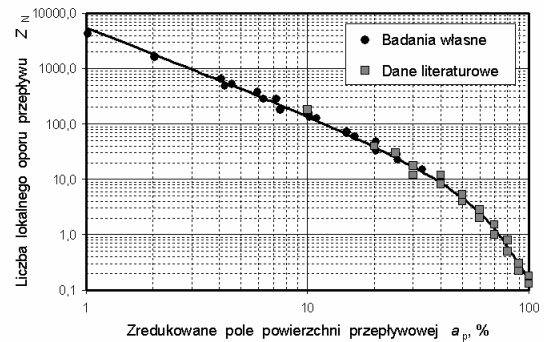
3. Zasuwa o liniowej charakterystyce regulacyjnej

Dla uzyskania odpowiedniej, regulacyjnej charakterystyki przepływowej należy wyprofilować otwór przepływowy zasuw. W powszechnie stosowanych klasycznych zasuwach otwory przepływowe są prostokątne lub kołowe. Na rys. 5 pokazano zasuwę z wyprofilowanym otworem przepływowym, który wykonany jest w specjalnej kryzie umieszczonej przed lub za przysłoną [2, 5]. Zasuwę zainstalowano w kanale prostokątnym o wysokości H i szerokości S . Kształt otworu przepływowego określa konstrukcyjna charakterystyka.



Rys. 5. Zasuwa prostokątna z wyprofilowanym otworem przepływowym
Fig. 5. Rectangular damper with formed flow hole

Do obliczenia charakterystyki konstrukcyjnej niezbędna jest znajomość uogólnionej, podstawowej charakterystyki przepływowej dla zasuw, którą wyznaczono na podstawie wyników badań własnych [5] i danych literaturowych [14]. Wykres charakterystyki przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Uogólniona, podstawowa charakterystyka przepływowa zasuw
Fig. 6. Generalized-basic flow characteristic of damper

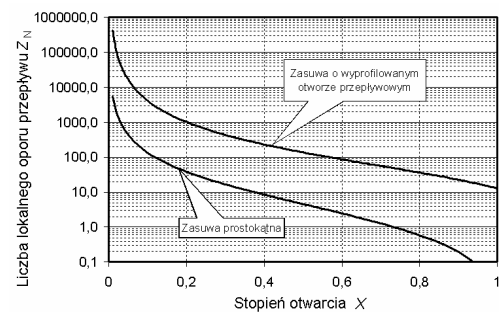
W celu określenia równania $y(x)$ konturu otworu przepływowego, jak na rys. 5, zakłada się kształt regulacyjnej charakterystyki przepływowej zasuw. Charakterystykę liniową określa równanie

$$\dot{m} = \dot{m}_{\max} \frac{x}{x_{\max}} = \dot{m}_{\max} X, \quad (6)$$

gdzie:

\dot{m}, \dot{m}_{\max} – strumień masy i jego wartość maksymalna, kg/h,
 x, x_{\max} – stopień otwarcia zasuw i jego maksymalna wartość, m,
 X – zredukowany stopień otwarcia.

Zakładając wartość liczby strat ciśnienia k_N , która odpowiada maksymalnemu strumieniowi płynu, oblicza się następnie z układu równań (1), (2), (4) i (6) podstawowe charakterystyki przepływowe $K_V(X)$ i $Z_N(X)$. Na rys. 7 porównano podstawowe charakterystyki przepływowe klasycznej zasuw prostokątnej i zasuw o liniowej charakterystyce regulacyjnej z wyprofilowanym otworem przepływowym.

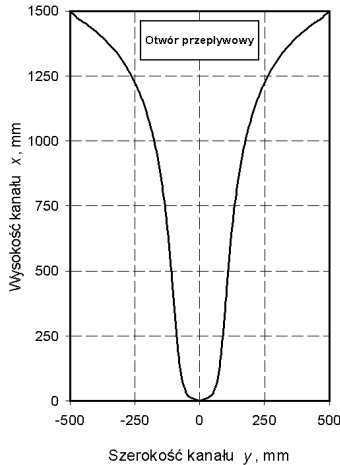


Rys. 7. Porównanie podstawowych charakterystyk przepływowych klasycznej zasuw i zasuw o liniowej charakterystyce regulacyjnej
Fig. 7. Basic flow characteristics comparison of classic and linear damper

Obliczenia projektowe wykonano dla zasuw sterującej strumieniem spalin w hutniczym piecu przepychowym o mocy nominalnej 10 MW i o prostokątnym kanale spalinowym. Obliczenia konturu otworu przepływowego $y(x)$ wykonano używając równania całkowitego (7) [5], w którym do określenia charakterystyki a_p wykorzystano wykres z rys. 5, a jako maksymalny stopień otwarcia przyjęto wysokość kanału spalinowego $x_{\max} = H$ ($X = 1$)

$$\frac{2}{S} \int_0^x y(X) dX - a_p(X) = 0. \quad (7)$$

Obliczony kształt otworu przepływowego zasuw liniowej przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8. Wyprofilowany otwór przepływowy zasowy na tle kanału spalinowego
Fig. 8. Shapes hole comparison of flue and formed chimney damper

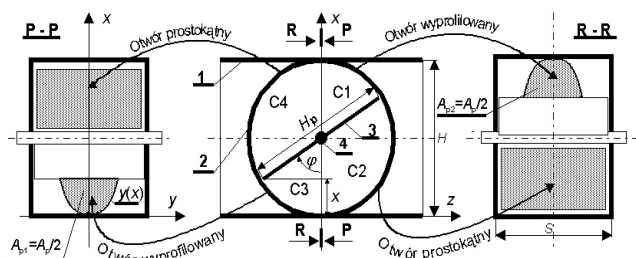
Otwór przepływowy ma kształt kielichowy, dla którego największy przyrost pola powierzchni przepływowej następuje przy dużych wartościach stopnia otwarcia. Maksymalna wartość pola powierzchni przepływowej wynosi około 35% pola powierzchni kanału spalinowego. Zasowy w kanałach spalinowych i wentylacyjnych, z reguły wielkogabarytowe, są proste w wykonaniu, ale trudne w manipulacji, gdyż w zależności od swej wysokości wymagają do napędu przysłony siłowników liniowych o dużych i zmiennych skokach.

4. Przepustnica o liniowej charakterystyce regulacyjnej

Zastosowanie idei zasowy o wyprofilowanym otworze przepływowym do przepustnicy prostokątnej [2] pokonuje trudności wynikające z napędu zasowy kominowej. Przepustnice niezależnie od swych wymiarów cechują się niezmiennym przedziałem kąta otwarcia $\varphi \in [0, 90^\circ]$, stąd do ich napędu można stosować standardowe siłowniki typu wahliwego, powszechnie dostępne na rynku aparaturowym.

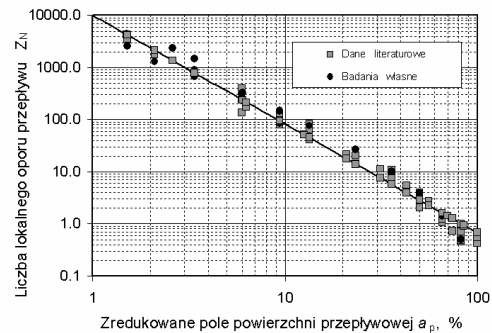
Ideę przepustnicy o wyprofilowanych otworach przepływowych, które zapewniają liniowość jej charakterystyki regulacyjnej, przedstawiono na rys. 9. W kanale prostokątnym (1) o wysokości H i szerokości S wstawiono rurę ze stali żaroodpornej (2) o średnicy zewnętrznej równej wysokości H . Wewnątrz rury znajduje się przysłona prostokątna (3), o długości H_p , połączona z wałkiem napędowym (4). W ścianie rury wyfrezowano:

- w ćwiartkach C1 i C2 otwory odpowiednio wyprofilowane, których rzuty prostokątne na płaszczyznę (x,y) są widoczne na przekrojach P-P i R-R,
- w ćwiartkach C3 i C4 otwory prostokątne o minimalnych oporach przepływu, których rzuty prostokątne również pokazano na przekrojach P-P i R-R.



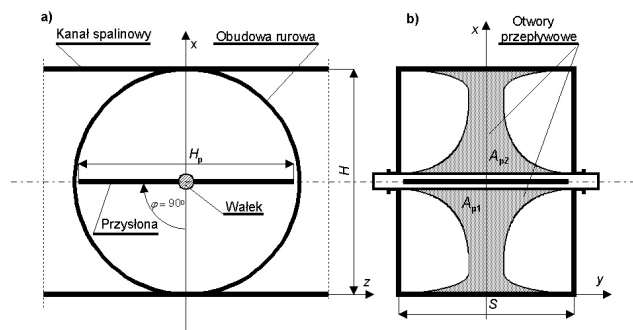
Rys. 9. Schemat ideowy przepustnicy o wyprofilowanych otworach przepływowych
Fig. 9. Schematic diagram of butterfly valve with formed flow hole

Przy kącie otwarcia $\varphi \in [0; 90^\circ]$ pole powierzchni przepływowej A_p jest sumą rzutów prostokątnych pól powierzchni wyprofilowanych otworów znajdujących się w ćwiartkach C1 i C3 na płaszczyznę (x,y) prostopadłą do osi przepływu. Kształt otworów określa charakterystyka konstrukcyjna, która podaje zależność między A_p , a kątem otwarcia φ przepustnicy. Charakterystykę konstrukcyjną wyznaczono na podstawie znajomości uogólnionej, podstawowej charakterystyki przepływowej przepustnicy, którą określono na podstawie wyników badań własnych [3m] i danych literaturowych [2, 3] (rys. 10).



Rys. 10. Uogólniona, podstawowa charakterystyka przepływowa dla przepustnic
Fig. 10. Generalized-basic flow characteristic of butterfly valve

W celu uzyskania liniowego kształtu regulacyjnej charakterystyki przepustnicy odniesiono go do kąta φ otwarcia $m = m_{\max} \varphi / \varphi_{\max}$. Do przykładowych obliczeń przyjęto dane jak dla zasowy o liniowej charakterystyce do sterowania strumieniem spalin. Na rys. 11 przedstawiono obliczony przekrój wzdłużny przepustnicy w stanie pełnego otwarcia (a) i widok wyprofilowanych otworów przepływowych z ćwiartek C1 i C3 (rys. 9) w rzucie na płaszczyznę prostopadłą do osi przepływu (b). Maksymalne całkowite pole powierzchni przepływowej, będące sumą pól obu otworów, przy $\varphi = 90^\circ$ stanowi 36% pola powierzchni kanału spalinowego.



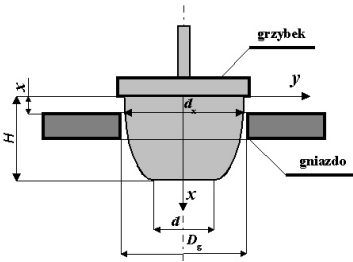
Rys. 11. Przepustnica o liniowej charakterystyce regulacyjnej w stanie pełnego otwarcia: a – przekrój wzdłużny, b – przekrój poprzeczny
Fig. 11. Full throttle of linear butterfly valve: a – longitudinal section; b – cross section

5. Zawór grzybkowy o liniowej charakterystyce regulacyjnej

Regulacyjne zawory grzybkowe charakteryzuje grzybek profilowany, jak na rys. 12. Pole powierzchni przepływowej A_p tworzy szczelina pierścieniowa powstała między gniazdem zaworu o średnicy D_g i pobocznica stożkowego grzybka o średnicy d_x przy otwarciu x . Powszechnie stosowane zawory regulacyjne mają stałoprocentową charakterystykę konstrukcyjną

$$a_p = \frac{D_g^2 - d_x^2}{D_g^2} = a_{p0} \exp\left(n \frac{x}{H}\right), \quad (8)$$

gdzie a_{p0} – zredukowane pole szczeliny początkowej zaworu, zaś n – parametr konstrukcyjny zaworu.

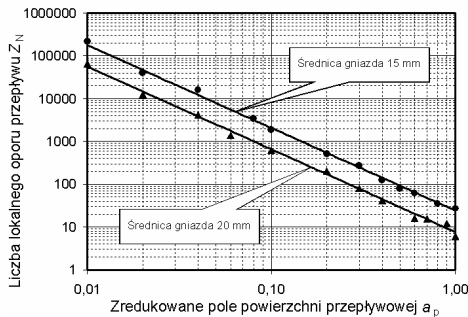


Rys. 12. Grzybek profilowany
Fig. 12. Formed valve head

Na podstawie wstępnych wyników badań własnych zaworów grzybkowych o średnicy króćców 25 mm i średnicy gniazda 20 i 15 mm sporządzono uogólnioną, podstawową charakterystykę przepływową, w której liczbę oporu lokalnego Z_N odniesiono do prędkości płynu w króćcu dolowym (rys. 13). Równanie opisujące charakterystyki przepływowe badanego zaworu, wyznaczono metodą regresji nieliniowej ze współczynnikiem korelacji $r = 0,998$, ma postać

$$Z_N = \frac{1}{\beta^4} \frac{3,12}{a_p^{1,93}}, \quad (9)$$

gdzie $\beta = D_g/D_N$ – liczba redukcji (przewężenie) zaworu, zaś D_N – nominalna średnica zaworu, mm.

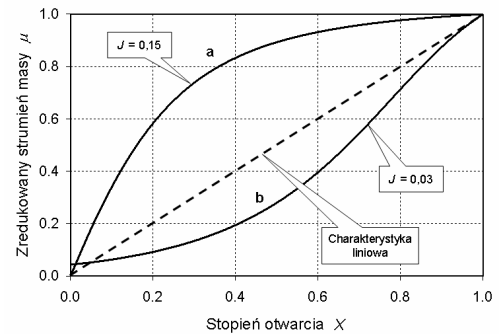


Rys. 13. Uogólniona, podstawowa charakterystyka przepływowa zaworu grzybkowego
Fig. 13. Generalized-basic flow characteristic of mushroom valve

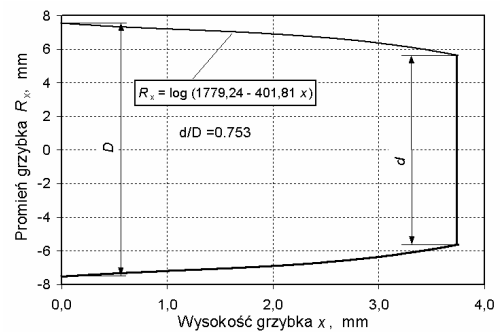
Na rys. 14 porównano przebiegi charakterystyk regulacyjnych zaworów, o średnicy nominalnej 25 mm i średnicy gniazda 20 mm, z grzybkami płaskim (a), profilowanym stałoprocentowym (b) i z liniową charakterystyką regulacyjną. Charakterystyki obliczono dla wody dla następujących danych: manometryczne ciśnienie w źródle $p_Z = 200$ kPa, w odbiorniku $p_{Od} = 50$ kPa, liczba strat ciśnienia w zaworze $k_N = 20\%$, maksymalna prędkość w gnieździe zaworu $w_{gmax} = 2,8$ m/s. Charakterystyki regulacyjne rys. 14a i 14b znacznie odbiegają od idealnej charakterystyki liniowej. Świadczą o tym wartości kryterium liniowości J .

Na rys. 15 przedstawiono obliczony kształt grzybka spełniającego warunek liniowości charakterystyki regulacyjnej. Dane konstrukcyjne grzybka są następujące: założona wysokość $H = x_{max} = 3,75$ mm, średnica podstawy dolnej grzybka $D = D_g = 15$ mm i górnej $d = 11,3$ mm.

Z rezultatów obliczeń wynika, że dla realizacji maksymalnego strumienia wody 1800 kg/h w zaworze wykorzystuje się 45% pola powierzchni przepływowej gniazda, przy relatywnie niewielkiej wartości straty ciśnienia w zaworze nie przekraczającej 20% wartości ciśnienia w instalacji. W literaturze firmowej (katalogowej) zaleca się tę stratę do 50% [8, 12]. Powstaje pytanie – jak zmiana parametrów instalacji przepływowej wpływa na liniowość charakterystyki regulacyjnej zaworu? W tym celu zmieniano ciśnienie w źródle (wartość projektowa $p_Z = 200$ kPa) przy $k_N = 20\% = idem$, a następnie zmieniano liczbę strat ciśnienia w zaworze (wartość projektowa $k_N = 20\%$) przy $p_Z = 200$ kPa = idem.

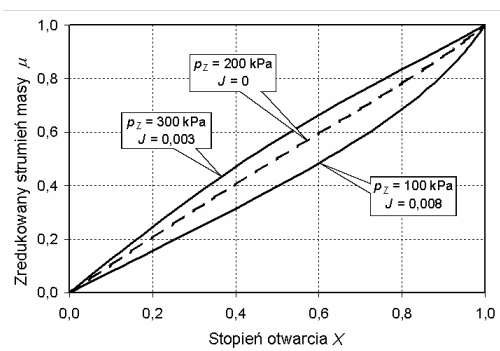


Rys. 14. Zredukowane charakterystyki przepływowe zaworów dla wody:
a – grzybek płaski, b – profilowany grzybek stałoprocentowy
Fig. 14. Reduced flow characteristic of water valves: a – flat valve head; b – formed steady-percentage valve head

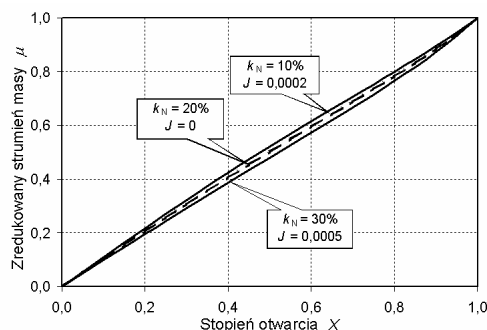


Rys. 15. Kształt grzybka dla zaworu o liniowej charakterystyce regulacyjnej
Fig. 15. Mushroom valve shape of linear control characteristic

Wyniki obliczeń przedstawiono na rys. 16 i 17. Zmiany analizowanych parametrów nie mają zbyt wielkiego wpływu na przebieg charakterystyki regulacyjnej zaworu.



Rys. 16. Wpływ zmian ciśnienia w źródle na charakterystyki regulacyjne zaworu
Fig. 16. Relation between source pressure and valve control characteristics



Rys. 17. Wpływ zmian liczby strat ciśnienia na charakterystyki regulacyjne zaworu
Fig. 17. Relation between loss-pressure number and valve control characteristics

Większą nieliniowość powoduje spadek niż wzrost ciśnienia w źródle, natomiast zmiany liczby strat ciśnienia w zaworze, a więc oporów przepływu w instalacji praktycznie nie odkształcają liniowej charakterystyki zaworu.

6. Podsumowanie

W większości instalacji przemysłowych i domowych elementy nastawcze do sterowania strumieniami płynów są niewłaściwie dobrane, stąd spełniają funkcję elementów zaporowych a nie regulacyjnych. Błędny, a właściwie przypadkowy dobór elementów nastawczych do sterowania strumieniami substratów i produktów spalania w instalacjach np. kotłowych i piecowych powoduje duże straty paliwa [1, 2].

Istotną poprawę jakości regulacji i minimalizację strat energii można uzyskać przez zastosowanie elementów nastawczych nowej generacji (zasuwa lub przepustnica) o liniowych charakterystykach regulacyjnych. W elementach tych zastosowano odpowiednio wyprofilowane otwory przepływowe. Dla dużych obiektów przemysłowych kształt otworu powinien być dobierany indywidualnie do instalacji cechującej się określoną wartością oporów przepływu.

W cyfrowych układach automatycznej regulacji istnieje również możliwość uzyskania zbliżonej do liniowej charakterystyki regulacyjnej w klasycznej zasuwie i przepustnicy drogą odpowiedniego programu komputerowego [15], co wymaga jednak znacznej korekty wymiarów na mniejsze, gdyż obecnie są one najczęściej przedymensjonowane. Rozwiązanie takie jest jednak kosztowne ze względu na konieczność linearyzacji charakterystyki w szerokim zakresie parametrów. W cyfrowych układach regulacji połączenie zasuw lub przepustnicy o wyprofilowanych otworach przepływowych z odpowiednim komputerowym programem korekcyjnym gwarantowałyby utrzymanie idealnej liniowej charakterystyki regulacyjnej pomimo występowania w obiekcie regulacji dużych zakłóceń parametrów ruchowych.

Wyniki dotychczasowych badań wskazują, iż ideę zasuw i przepustnicy o liniowych charakterystykach regulacyjnych moż-

na wykorzystać w zaworach grzybkowych. Tezę tę potwierdzają wstępne wyniki badań i wyniki obliczeń dla jednocalowego zaworu prezentowane w niniejszej pracy. Niezbędne są obecnie badania eksperymentalne w celu stworzenia dużej bazy danych do wyznaczenia uogólnionej, podstawowej charakterystyki przepływowej dla zaworów grzybkowych. Badania te są realizowane w ramach projektu badawczego PBZ-KBN-117/T08/2005 [16].

7. Literatura

- [1] J. Tomczek, A.M. Puszer, Zb. Lorkiewicz - Problemy doboru elementów nastawczych strumieni substratów i produktów spalania dla pieców przemysłowych. *Gospodarka Paliwami i Energią* 3/1991, str. 335 – 340.
- [2] A.M. Puszer, J. Tomczek – Nowa generacja elementów regulacyjnych mediów gazowych dla hutniczych pieców grzewczych. *Hutnik* 11/2001, str. 430 – 435.
- [3] A.M. Puszer – O liniowości charakterystyk przepływowych przepustnic i zasuw. *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja* 7/1990, str. 142 – 145.
- [4] T. Ankel, H. Beks – Messen, Steuern und Regeln in der Chemischen Technik. Band III. Springer – Verlag. Berlin, Heidelberg, New York, 1987.
- [5] A.M. Puszer – Zasuwa kominowa o profilowanym polu powierzchni przepływowej. Raport BW-60489/RM-4/94. Katedra Energetyki Procesowej, Politechnika Śląska, Katowice, 1994 (praca niepublikowana).
- [6] L. Driskell – Control valve sizing with ISA. *Formulas, Instrument Technology*, July, 1974, str. 245 – 380.
- [7] I.W. Hutschison – ISA Handbuch of Control Valves. 2 nd Edition, Instrument Society of America, Pittsburg, 1972.
- [8] J. Pyötsia, M. Seppa – A new solution for control valve flow characteristic. *Proceedings of the ISA International Conference and Exhibit Anaheim, California, 1987*, str. 1371 – 1379.
- [9] A.M. Puszer – Charakterystyki przepływowe zaworów kulowych. *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja* 7/1991, str. 153 – 157.
- [10] Z. Trybalski – Urządzenia i układy automatycznej regulacji. WNT, Warszawa, 1978.
- [11] ISSUE O9. 84, 9E14 – Neles control valve sizing manual. Helsinki, 1984.
- [12] Neles – The Valve Book. Neles-Jamesbury, Helsinki, 1990.
- [13] The Valve Book. Neles-Jamesbury, Helsinki, 1990.
- [14] T. Senkara – Obliczenia cieplne pieców grzewczych w hutnictwie. Wydawnictwo Śląsk, Katowice, 1981.
- [15] A.M. Puszer, J. Tomczek, M. Wnęk – Wpływ sterowania strumieniami substratów i produktów spalania na straty energii w piecach przemysłowych. *Gospodarka Paliwami i Energią* 10/2001, str. 8 – 12.
- [16] J. Tomczek, A.M. Puszer, M. Wnęk – Materiały i technologie dla gospodarki wodorowej w oparciu o przemysłowe gazy procesowe. Raport PBZ-KBN-117/T08/2005. Katedra Energetyki Procesowej, Politechnika Śląska, Katowice, 2006 (praca niepublikowana).

Artykuł recenzowany

INFORMACJE

Zapraszamy do publikacji artykułów promocyjnych w czasopiśmie PAK

Rada Programowa PAK na zebraniu w Kielcach w dn. 23.02.2007 zaleca zwiększenie w PAK-u działu zawierającego artykuły promocyjne dotyczące nowych aplikacji urządzeń pomiarowych, automatyki przemysłowej i sterowników programowalnych. Zapraszamy firmy specjalizujące się w tej problematyce do przygotowania materiałów do kolejnych numerów naszego miesięcznika.