

Nastawczy element pomiarowy strumienia płynu dla instalacji przemysłowych

Adjustable fluid flow measuring element for industrial installations

MARIUSZ WNĘK, STANISŁAW GIL, ROBERT ŁUDZIEŃ

DOI 10.36119/15.2024.9.6

W publikacji przedstawiono oryginalny sposób wykorzystania nastawczego elementu dławiącego, jako układu pomiarowego przy wyznaczaniu strumienia płynu w instalacjach przemysłowych. Będący w fazie badań układ pomiarowy jest zaawansowany technologicznie, co pozwala na wybieranie nastawy dla układu pomiarowego w sposób automatyczny. W celu zmniejszenia kosztów inwestycyjnych można zastosować układ wybierania mechanicznego. Do uzyskania odpowiedniego przepływu przy nastawach elementu pomiarowego niezbędne jest zastosowanie odpowiedniego zaworu regulacyjnego o właściwej charakterystyce sterującej.

Słowa kluczowe: nastawczy element kryzowy, pomiar strumienia płynu, sterowanie przepływem, charakterystyki przepływowe

The publication presents an original method of using a regulating throttling element as a measuring system for determining the fluid flow in industrial installations. The measuring system being tested is technologically advanced, which allows for automatic selection of the measuring system setting. In order to reduce investment costs, a mechanical selection system can be used. To obtain the appropriate flow at the measuring element settings, it is necessary to use an appropriate control valve with appropriate control characteristics.

Keywords: adjustable orifice element, fluid flow measurement, flow control, flow characteristics

Wprowadzenie

Przepływy różnego rodzaju płynów (gazów i cieczy), występują w prawie każdym procesie produkcyjnym. Wymagają one często ostrożnej kontroli charakteru przepływu oraz regulacji i pomiaru tego strumienia płynu. Do podstawowych wielkości do sterowania lub regulacji w technologiach przemysłowych należą m.in. strumienie płynów, a do ich sterowania stosuje się różnego rodzaju elementy nastawcze [1]. Klasyczne elementy katalogowe nie są w stanie zapewnić liniowości regulacyjnych charakterystyk przepływowych [2], ponieważ charakteryzują się bardzo niekorzystnymi właściwościami regulacyjnymi, gdyż ich regulacyjne charakterystyki cechuje duża nieliniowość w postaci szerokiej strefy nasycenia [3]. Regulacja obiektów przepływowych powinna charakteryzować się dobrą jakością dynamiczną, która znacząco zależy od regulacyjnej charakterystyki przepływowej danego elementu nastawczego. W nawiązaniu do linearyzacji konstrukcyjnej, którą uzyskuje się poprzez kształtowanie otworu przepływowego, istnieje również

możliwość uzyskania zbliżonej do liniowej charakterystyki regulacyjnej przy wykorzystaniu, odpowiednio zaprogramowanych, cyfrowych układów automatycznej regulacji i zastosowaniu klasycznych elementów nastawczych [4-6]. Natomiast stosując połączenie cyfrowych układów regulacji z zasuwami lub przepustnicami o wyprofilowanych otworach przepływowych z odpowiednim komputerowym programem korekcyjnym można zagwarantować utrzymanie idealnej liniowej charakterystyki regulacyjnej pomimo występowania w obiekcie regulacji dużych zakłóceń parametrów ruchowych [7].

Celem publikacji było przedstawienie badań eksperymentalnych związanych ze sposobem wykorzystania nastawczego elementu dławiącego, jako układu pomiarowego do wyznaczania strumienia płynu w instalacjach przemysłowych.

Stanowisko badawcze

Badania zaprezentowanej tematyki zostały przeprowadzone na laboratoryjnym stanowisku badawczym Katedry Informatyki Przemysłowej Politechniki Ślą-



Rys. 1. Stanowisko do przemysłowych badań przepływowych

Fig. 1. Research stand for the flow testing for industrial

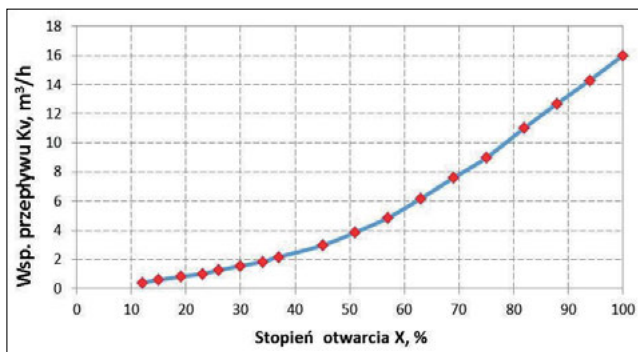
skiej (rys. 1), spełniającym warunki normy PN-EN 60534-2-3:2001 i opisywanym w innych publikacjach [8].

Na stanowisku badawczym zainstalowano autorskie rozwiązanie elementu pomiarowego (o wybranych trzech wytypowanych nastawach pomiarowych), w którym wykorzystano dławienie przepływającego płynu.

Do sterowania strumieniem płynu, w procedurze badawczej, wykorzystano zawór kulowy ZKR-224 ($K_{vs}=16 \text{ m}^3/\text{h}$) o kształtowanej charakterystyce przepływowej [9], co uzasadnia do określenia go

dr inż. Mariusz Wnęk, <https://orcid.org/0000-0003-2485-7765>, dr hab. inż. Stanisław Gil, prof. PŚ, <https://orcid.org/0000-0003-3397-0620> – Wydział Inżynierii Materiałowej, Politechnika Śląska, Katowice;

dr inż. Robert Łudzień – AUMA Polska, Sosnowiec Adres do korespondencji/ Corresponding author: stanislaw.gil@polsl.pl

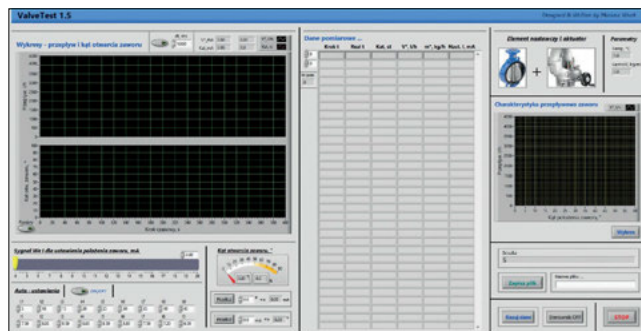


Rys. 2. Podstawowa charakterystyka przepływowa zaworu sterującego ZKR-224
Fig. 2. Basic flow characteristics of the ZKR-224 control valve

zaworem regulacyjnym [10]. Podstawową charakterystykę przepływową tego zaworu zaprezentowano na rys. 2.

Na zaworze zamontowano aktuator elektryczny, stałoprędkościowy NRY24-SR [9] o czasie przejścia 35 s w zakresie 0–90°, za pomocą którego można prowadzić sterowanie w sposób automatyczny lub ręczny. Automatyczne sterowanie aktuatorem odbywa się poprzez standardowy sygnał elektryczny typu napięciowego z możliwością wyboru jednego z dwóch dostępnych zakresów: 0-10 V lub 2-10 V, wybieranych ręcznie odpowiednim przelącznikiem znajdującym się pod wiekiem obudowy, którą należy zdemontować w przypadku zmiany zakresu. Fabrycznie ustawiony obszar sterowania wynosi 2-10 V. Aktuator wyposażony jest również w kątowne czujniki położenia (0–90°) z przetwornikiem na sygnał analogowy, napięciowy o zakresie 0-10 V, co może być wykorzystane w celu kontroli poprawności nastawy dla sygnału sterującego.

Do przeprowadzenia laboratoryjnych badań stanowiskowych przygotowano program komputerowy Reg-Z 1.0 (w przemysłowym środowisku programowania – LabVIEW), który wykorzystano do sterowania stanowiskiem badawczym, wprowadzania nastaw, wizualizacji pomiarów i archiwizacji danych (rys. 3).



Rys. 3. Zrzut z ekranu programu komputerowego Reg-Z 1.0
Fig. 3. Computer program Reg-Z 1.0

Założenia i badania laboratoryjne

W założonych rozwiązaniach dla przemysłu dotyczących nastawczego, dławiącego elementu pomiarowego, wytypowano i zaprojektowano trzy nastawy

pomiarowe określone, jako N1, N2 i N3. Charakteryzują one maksymalne przepływy (określone przez technologa) dla danego procesu, czyli są zależne od wskazanych wymagań przemysłowych. Nastawa N1 charakteryzuje się najmniejszym zakresem pomiarowym a nastawa N3 największym.

Zaprojektowany i będący w fazie badań układ pomiarowy jest znacząco zaawansowany technologicznie – nastawy układu pomiarowego są wybierane w sposób automatyczny (mini-sterownik umożliwiający wybór danego zakresu pomiarowego), ale dla zmniejszenia kosztów inwestycyjnych można zastosować układ wybierania mechanicznego – jednakże nie jest on obecnie realizowany.

W pierwszej kolejności przeprowadzono badania kontrolne zadanej nastawy (zaworu sterującego R224) ustawionej zgodnie z odpowiedzią z czujników położenia kątownego. Te badania kontrolne były bardzo istotne z powodu konieczności utrzymania jakości a przede wszystkim powtarzalności sterowania. Uzyskane odchyłki w przeprowadzonych badawczych procedurach porównawczych były zadowalające, gdyż nie przekraczały wartości niepewności względnej 0,3%. Wyznaczona niepewność pomiarów wynikała prawdopodobnie m.in. z luzów w przekładni zębatej aktuatora NRY24-SR, a nie

tylko z jakości zastosowanego w nim przetwornika sygnałów.

W kolejnym etapie przeprowadzono badania dławiącego elementu pomiarowego dla wytypowanych nastaw (umownie oznaczonych, jako N1, N2 i N3) pod

względem przepływowym z uwzględnieniem m.in. takich parametrów jak spadek ciśnienia na elemencie Δp , ciśnienia przed nim p_1 , temperatury płynu i sprężu pompy tłoczącej. W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano charakterystyki, które były podstawą do wyznaczenia przebiegów przepływowych lub zależności do określenia przepływu płynu dla rozważanego rozwiązania zaproponowanego elementu dławiącego, jako układu pomiarowego.

Analiza badań laboratoryjnych

Parametry charakterystyczne funkcji przepływowej powinny być wyznaczone przez dostawcę elementu pomiarowego, na podstawie badań stanowiskowych, i przedstawione jak te dane należy przetwarzać, aby uzyskać właściwy pomiar strumienia płynu.

Na podstawie przeprowadzonych badań i wyznaczonej zależności określono trzy charakterystyczne punkty pomiarowe dla zastosowanego pomiarowego elementu dławiącego.

Charakterystyką opisującą przepływ (wyrażony w $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$) dla rozważanego elementu pomiarowego jest zależność opisana przez

$$\dot{m} = W_p \cdot \sqrt{\Delta p_m \cdot \rho_1} \quad (1)$$

gdzie:

W_p – współczynnik przetwarzania nastawczego elementu pomiarowego;

Δp_m – spadek ciśnienia na elemencie pomiarowym, (kPa);

ρ_1 – gęstość płynu przed elementem pomiarowym, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Współczynnik W_p (określony jednostką $\text{s}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}$) jest zależny od charakterystyk zdefiniowanych przez wielkości funkcyjne oznaczone, jako K i E i zdefiniowany wzorem (2). W_p jest wielkością określaną przez firmę dostarczającą dobierany nastawczy element pomiarowy.

$$W_p = K \cdot E \quad (2)$$

W rezultacie uzyskanych wyników badań opracowano zależność (3) definiującą liczbę E – uwzględniającą stopień sprężenia płynu technologicznego z uwzględnieniem oporu przepływu przez nastawczy, dławiący element pomiarowy.

$$E = 0,95 - (10f - 1) \cdot \frac{n \cdot \Delta p_m}{\rho_1} \quad (3)$$

gdzie:

f – wartość liczbowo uwzględniająca rodzaj płynu np. dla powietrza będzie to $f = 0,45$;

n – wartość liczbowa korygująca 0,1;
 p_1 – ciśnienie przed elementem pomiarowym, (kPa).

Dla omawianego rozwiązania, w wyniku uzyskanych pomiarów, zdefiniowano K – współczynnik przetwarzania nastawczego elementu pomiarowego (wyrażony w $\text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$), który jest wyznaczany z funkcji aproksymującej charakterystykę przepływową tego elementu, jako

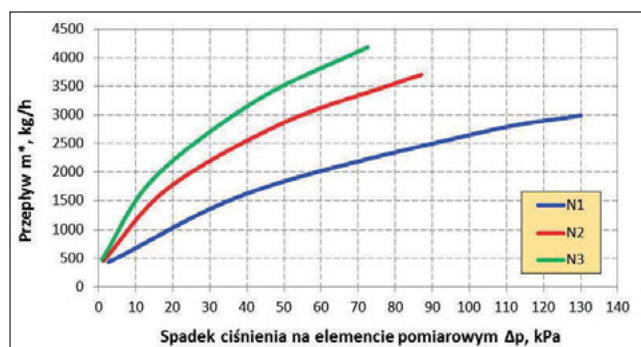
$$K = \frac{X_p}{(a + bX_p - cX_p^2) \cdot d} \quad (4)$$

gdzie:

X_p – wartość zredukowana dławiącego elementu pomiarowego zdefiniowana, jako stosunek nastawianego pola przepływu do pola maksymalnego (przypisany do proponowanych trzech nastaw N1–N3); $a = 23,33 (\text{h} \cdot \% \cdot \text{m}^{-3})$; $b = -0,28 (\text{h} \cdot \text{m}^{-3})$; $c = -2,03 \cdot 10^{-3} (\text{h} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \%^{-1})$, $d = 9,9 (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$.

We wzorze (4) wielkości a - d są współczynnikami wskazanej funkcji aproksymującej i zostały wyznaczone przy wykorzystaniu autorskiego oprogramowania Corelac-v2 [11].

Analizując otrzymane wyniki i przetwarzając dane uzyskano charakterystyki przepływu N1, N2 i N3 dla rozpatrywanego nastawczego elementu pomiarowego. Charakterystyki te zaprezentowano na rys. 4. Na podstawie przedstawionych charakterystyk, pomiaru spadku ciśnienia na tym elemencie i określonego współczynnika przetwarzania, istnieje możliwość określenia przepływu, przy czym jego wyznaczenie (w zależności od potrzeb technologicznych) może być modyfikowane na poziomie trzech ustawień N1, N2, N3 (zgodnie z założeniami prezentowanego materiału).



Rys. 4.
Charakterystyka nastawczego elementu pomiarowego
Fig. 4. Characteristics of the adjustable measuring element

Otrzymane dane z badań, nastawczego elementu pomiarowego, nie mogą być transponowane z jednej instalacji technologicznej na inną – rozwiązania opracowane dla jednego układu technologicznego nie będą odpowiednie lub efektywne w innym kontekście. Omawiany element pomiarowy jest dobierany indywidualnie do danego rozwiązania przemysłowego – wprowadzenie takiego rozwiązania wymaga indywidualnej analizy i projektu wg wskazanych wytycznych technologa odpowiedzialnego za daną instalację przemysłową.

Możliwość, łatwość i szybkość przedstawiania zakresu układu pomiarowego w prezentowanym rozwiązaniu jest interesującą funkcjonalnością i wydaje się, że bardzo przydatną w różnych procesach technologicznych. Ta zaleta eliminuje konieczność zatrzymania i dłuższego postoju instalacji przepływowej w celu demontażu a następnie montażu kolejnego przepływomierza w celu zmiany zakresu pomiarów spowodowanej wymogiem uzyskania dokładniejszych pomiarów, czyli zmniejszeniem niepewności pomiarów.

Możliwość, łatwość i szybkość przedstawiania zakresu układu pomiarowego w prezentowanym rozwiązaniu jest interesującą funkcjonalnością i wydaje się, że bardzo przydatną w różnych procesach technologicznych. Ta zaleta eliminuje konieczność zatrzymania i dłuższego postoju instalacji przepływowej w celu demontażu a następnie montażu kolejnego przepływomierza w celu zmiany zakresu pomiarów spowodowanej wymogiem uzyskania dokładniejszych pomiarów, czyli zmniejszeniem niepewności pomiarów.

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań i analizy uzyskanych wyników wyciągnięto następujące wnioski:

- Dławieniowy, nastawczy element pomiarowy musi być dobierany ściśle do danej instalacji technologicznej. Uzyskane wyniki doboru parametrycznego nie mogą być zastosowane do zaprojektowanego elementu pomiarowego w innej instalacji.
- Dobór i projekt nastawczego elementu pomiarowego wymaga znajomości parametrów sieci i jest przeprowadzany przez firmę dostarczającą wskazane rozwiązanie.
- Najważniejszym parametrem jest wyznaczenie tzw. współczynnika przetwarzania nastawczego elementu pomiarowego w zależności od wytycznych technologa dla danej instalacji przemysłowej.
- Przy dostarczaniu informacji dotyczących charakterystyk pomiarowych ele-

niuje trzy charakterystyki nastawcze oznaczone, jako N1, N2 i N3, przy czym charakterystyka N1 związana jest z najmniejszym uzyskiwanym maksymalnym rejestrowanym przepływem technologicznym a charakterystyka N3 z największym.

- Do wysterowania odpowiedniego przepływu dla nastaw elementu pomiarowego (N1, N2, N3) niezbędne jest zastosowanie odpowiedniego zaworu regulacyjnego o właściwej charakterystyce sterującej.
- Uzyskane wyniki badań opisane w tym artykule są zachęcające do dalszego rozwoju tej techniki pomiarowej. Omawiany sposób podejścia otwiera nowe możliwości dla wykonywania pomiarów związanych z elementem dławiącym, wprowadzając zmienne, nastawne pole dławienia. Zaprezentowane rozwiązanie może znacząco zmniejszyć koszty inwestycyjne przepływowych układów przemysłowych, co powinno być atrakcyjne dla danego przedsiębiorstwa do jego efektywnego funkcjonowania.

LITERATURA

- [1] Ankel T., Beks H.: Messen, Steuern und Regeln in der Chemischen Technik. Band III. Springer – Verlag. Berlin, Heidelberg, New York, 1987.
- [2] Puszer A., Tomeczek J.: Nowa generacja elementów regulacyjnych mediów gazowych dla hutniczych pieców grzewczych. Hutnik, Nr 11 (2001) s. 430 – 435.
- [3] Puszer A.: O liniowości charakterystyk przepływowych przepustnic i zasuw. Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja, Nr 7 (1990) 142 – 145.
- [4] Tomeczek J., Puszer A., Wnęk M.: Sposób kształtowania regulacyjnych charakterystyk przepływowych elementów nastawczych strumienia płynu. Pomiar Automatyka Kontrola, vol.53, Nr 11 (2007) s. 38-43.
- [5] Srikanth C., Bhasker C.: Flow analysis in valve with moving grids through CFD techniques. Advanced in Engineering Software Vol. 40, No.3 (2009) 193-201.
- [6] Simic M., Herakovic N.: Reduction of the flow forces in a small hydraulic seat valve as alternative approach to improve the valve characteristics. Energy Conversion and Management Vol. 89, No. 1 (2015) 708-718.
- [7] Srikanth C., Bhasker C.: Flow analysis in valve with moving grids through CFD techniques. Advanced in Engineering Software Vol. 40, No.3 (2009) 193-201.
- [8] Gil S., Wnęk M., Łudzień R.: Badania charakterystyki przepływowej dla modelowego zaworu kulowego. Instal, Nr 12 (2019) 34-38 DOI 10.36119/15.2019.12.4.
- [9] Strona internetowa firmy Belimo: <https://www.belimo.pl/pl/pl/index.cfm> (16.08.2024).
- [10] Puszer A., Wnęk M.: Charakterystyki regulacyjne zaworów kulowych. Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja, 1/2012, s. 33-35
- [11] Wnęk M.: Cyfrowa linearyzacja przepływowej charakterystyki regulacyjnej zasuw kominowej. Hutnik, 1 (2016), s. 18-22.

mentu dławiącego należy wykonać pomiar spadku ciśnienia na tym elemencie zgodnie z normą dotyczącą badań przepływowych oraz określić gęstość przepływającego płynu na podstawie pomiaru jego temperatury i innych wielkości fizycznych.

- Wskazane rozwiązanie, dla przykładowej instalacji technologicznej, defi-