

Bogdan ZASTEMPOWSKI, Piotr DOMANOWSKI

e-mail: pedom@utp.edu.pl

Instytut Techniki Wytwarzania, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

Pośrednia metoda pomiaru mikroprzecieków w zaworach hydraulicznych

Wstęp

W napędach płynowych stosowanych w przemyśle spożywczym najkorzystniejszą cieczą roboczą jest woda. Czysta woda jest idealnym medium spełniającym warunki higieniczno-sanitarne. W związku z małą lepkością wody ważnym zagadnieniem jest ocena przecieków wewnętrznych przez zawory hydrauliczne.

Celem pracy jest przedstawienie oryginalnej, pośredniej metody pomiarów mikroprzecieków wody, jako hydraulicznego czynnika roboczego.

Stosowane metody pomiarów mikroprzecieków

Obecnie stosowane metody pomiarów mikroprzecieków to:

- pomiar objętości cieczy przeciekającej przez badany zawór w określonym czasie. Przed zaworem utrzymuje się stałe ciśnienie. Ten sposób opisany jest w normie [1].
- Pomiar spadku ciśnienia w komorze, do której na wejściu zainstalowany jest badany zawór. W nieodkształcalnej komorze przed pomiarem wytwarzane jest ciśnienie o określonej wartości. Obserwuje się spadek ciśnienia w określonym czasie.

Pierwszy sposób pomiaru przecieków jest metodą bezpośrednią. Wadą tej metody pomiarowej są trudności zautomatyzowania tego procesu. Przecieki to krople wypływające z badanego zaworu. Metoda ta wymaga dokładnego odpowietrzenia badanego zaworu oraz stosowanej cieczy.

Drugi sposób pomiaru przecieków jest metodą pośrednią. Zaletą tej metody pomiarowej jest łatwość zautomatyzowania tego pomiaru.

Wartość spadku ciśnienia w komorze zależy od wielu czynników:

- szczelności zaworu (oporu hydraulicznego zaworu),
- czasu pomiaru,
- ciśnienia początkowego w komorze,
- objętości komory,
- modułu sprężystości objętościowej cieczy, zależnego od zapowietrzenia cieczy.

Norma nie określa jednak tych wszystkich czynników, które decydują o spadku ciśnienia spowodowanym mikroprzeciekami.

Podstawy teoretyczne nowej metody pomiarowej

Metoda pomiaru przecieków opiera się o pomiar spadku ciśnienia w komorze. W tym celu przedstawiony zostanie model matematyczny tego zjawiska.

Ogólne równanie bilansu przepływu, wynikające z zasady zachowania masy, ma postać:

$$Q_{md} - Q_{mw} = \frac{dm}{dt} \quad (1)$$

gdzie:

Q_{md} – masowe natężenie przepływu cieczy dopływającej do komory, [kg/s]; $Q_{md} = 0$ ponieważ komora w trakcie pomiaru odcięta jest od zasilania

Q_{mw} – masowe natężenie przepływu cieczy wypływające z komory, czyli badane przecieki, [kg/s]

M – masa cieczy w komorze, [kg]

t – czas, [s].

Równanie (1) dla celów dalszej analizy można przedstawić w postaci [2, 3]:

$$-\frac{p}{R} = \frac{V_k}{B} \frac{dp}{dt} \quad (2)$$

gdzie:

$p = p(t)$ – ciśnienie w komorze, [Pa]

R – opór hydrauliczny badanego zaworu, [Pa·s/m³]

B – moduł sprężystości objętościowej, [Pa]

V_k – objętość komory, [m³].

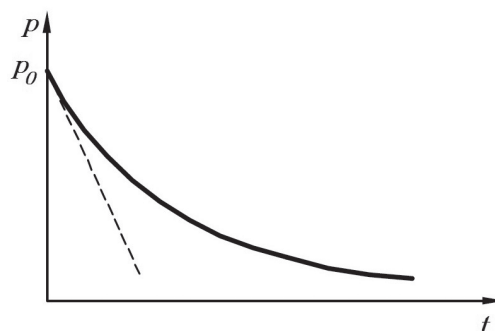
Rozwiązanie równania różniczkowego (2) dla wartości początkowej $t = 0, p = p_0$ ma postać:

$$p = p_0 e^{-\frac{B}{V_k R} t} \quad (3)$$

i zostało przedstawione na rys. 1.

Przy badaniu szczelności interesujący jest tylko początkowy przebieg funkcji (3) dlatego po jej linearyzacji w otoczeniu punktu $t = 0$ otrzymano:

$$p = p_0 \left(1 - \frac{B}{V_k R} t\right) \quad (4)$$



Rys. 1. Spadek ciśnienia w komorze przy badaniu szczelności zaworu

Pomiar spadku ciśnienia $\Delta p = p - p_0$ w czasie t umożliwia wyznaczenie z zależności (4) oporu hydraulicznego R badanego zaworu:

$$R = \frac{B}{V_k} \frac{p_0}{\Delta p} t \quad (5)$$

Dokładne oszacowanie oporu hydraulicznego R wymaga znajomości modułu B sprężystości objętościowej cieczy. Moduł B zależy znacznie od stopnia zapowietrzenia cieczy i dlatego najlepiej jest go wyznaczyć doświadczalnie. Przykładowy sposób wyznaczenia modułu przedstawiono przy opisie stanowiska pomiarowego (Rys. 2). Natężenie przecieków dv/dt opisuje zależność:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{p}{R} \quad (6)$$

stąd wartość przecieków V w czasie Δt wynosi:

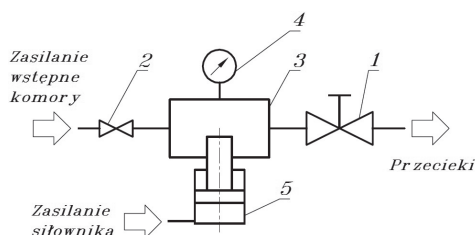
$$V = \int_0^{\Delta t} \frac{p}{R} dt \quad (7)$$

Po podstawieniu zależności (4) do (7) otrzymano ostatecznie zależność na wartość przecieków:

$$V = \frac{p_0}{R} \Delta t \left(1 - \frac{B}{2V_k R} \Delta t\right) \quad (8)$$

Schemat układu pomiarowego

Na rys. 2 przedstawiono schemat układu pomiarowego mikroprzecieków. Badany zawór – 1 podłączony jest do komory – 3. Komora zasilana jest wstępnie z układu zewnętrznego w celu wytworzenia określonego ciśnienia. Zawór – 2 służy do odcięcia zewnętrznego źródła zasilania. Pomiar spadku ciśnienia w czasie przeprowadzany jest przez przetwornik ciśnienia – 4. Tłoczyśko siłownika – 5 wnikając w komorę – 3 umożliwia pomiar modułu B sprężystości objętościowej zgodnie z zależnością [2, 3]:



Rys. 2. Schemat układu pomiarowego, 1 – badany zawór, 2 – zawór odcinający zasilanie, 3 – komora, 4 – przetwornik ciśnienia, 5 – siłownik

$$B = \frac{V_k \Delta p}{\Delta V} \quad (9)$$

gdzie:

Δp – różnica ciśnień wywołana ruchem tłoczyska o średnicy d w komorze o długości s , [Pa]

ΔV – zmiana (zmniejszenie) objętości cieczy związane ze wzrostem różnicy ciśnień Δp , [m³].

Zmiana objętości ΔV cieczy spowodowana jest efektem kinematycznym wnikania tłoczyska do komory:

$$\Delta V = \frac{\pi d^2}{4} s \quad (10)$$

gdzie:

d – średnica tłoczyska, [m]

s – przemieszczenie tłoczyska w komorze, [m].

Wyznaczenie modułu B przeprowadza się po każdym napełnieniu komory cieczą. Zawór odcinający – 2, przyłączy przetwornika ciśnienia – 4 oraz połączenie ruchowe tłoczyska siłownika – 5 z komorą – 3 powinny zapewniać bardzo wysoką szczelność. Pomiar przecieków oraz sterowanie elementów układu pomiarowego realizowane jest komputerowo.

Aplikacja przemysłowa metody pomiaru mikroprzecieków

Pomiary mikroszczelności realizowane są przez producentów zaworów w ramach kontroli zupełnej oraz badań typu. Opisana metoda pomiaru znajdzie zastosowanie na stanowisku pomiarowym wg konstrukcji autorów zrealizowanego w firmie *Bohamet – Armatura Sp. J.* w Białych Błotach. Stanowisko pomiarowe przedstawiono na rys. 3. Umożliwia ono badanie zasuw o wielkościach od DN50 do DN 300 oraz przy specjalnej zastosowaniu przystawki (Rys. 4) badanie hydrantów o wielkościach DN80 i DN100. Na stanowiskach przeprowadzane są następujące próby:

- sprawdzanie wytrzymałości i szczelności obudowy i elementów ciśnieniowych zasuw na ciśnienie wewnętrzne,
- badanie wytrzymałości organu zamykającego na różnicę ciśnienia,
- badanie wytrzymałości zasuw na obciążenie robocze,
- badanie szczelności zamknięcia przy wysokiej różnicy ciśnienia,
- badanie szczelności przy niskiej różnicy ciśnienia.

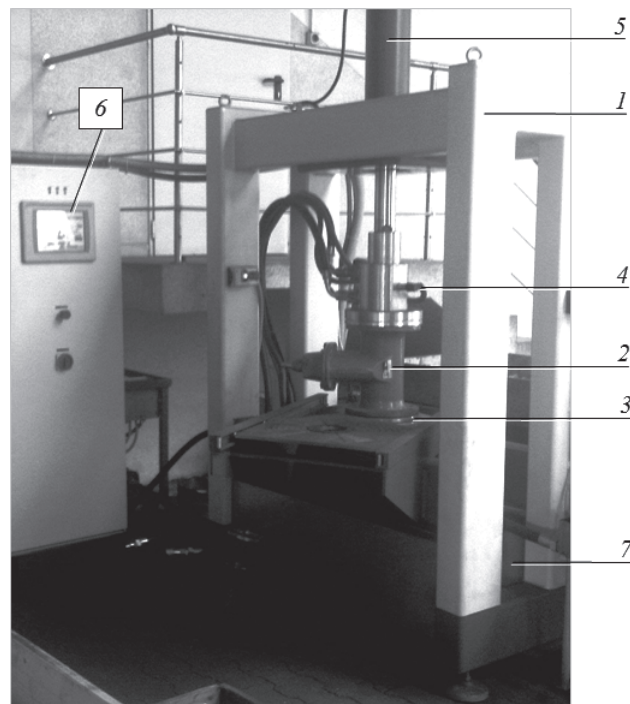
Korpus – 1 modułu do badań zasuw zbudowany jest w postaci ramy z profili zimno-giętych. Badaną zasuwę – 2 umieszcza się na podstawie – 3 i mocuje dociskając głowicę – 4 przesuwaną za pomocą siłownika hydraulicznego – 5. Siłownik hydrauliczny połączony jest z agregatem hydraulicznym umieszczonym z tyłu urządzenia i sterowany jest z szafy sterowniczej – 6. Woda pod zadanym ciśnieniem roboczym podawana kolejno z obu stron zasuw i odprowadzana do zbiornika wody – 7.

Podsumowanie

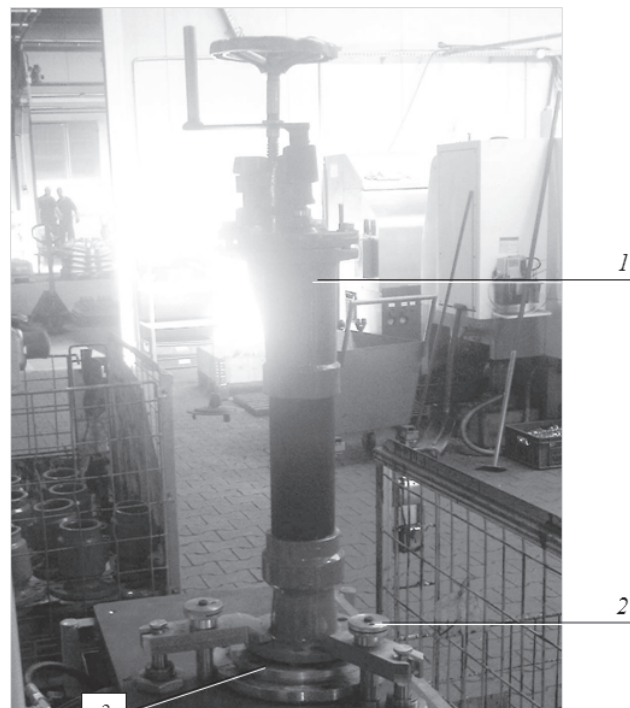
Przedstawiona pośrednia metoda wyznaczania przecieków w zaworach hydraulicznych wymaga przeprowadzenia pomiaru:

- spadku ciśnienia po określonym czasie w komorze, do której podłączony jest badany zawór,
- modułu sprężystości objętościowej cieczy.

Pomiary te umożliwiają wyznaczenie wartości przecieków na podstawie zależności (8). Pomiar przeprowadzony tą metodą może być w pełni zautomatyzowany.



Rys. 3. Stanowisko do badań zasuw, 1 – korpus, 2 – badana zasuwa, 3 – głowica dociskowa dolna, 4 – głowica dociskowa górna, 5 – siłownik hydrauliczny, 6 – szafa sterownicza, 7 – zbiornik wody



Rys. 4. Stanowisko do badań hydrantów wodociągowych, 1 – badany hydrant, 2 – pierścienie mocujące, 3 – dociski hydrauliczne

LITERATURA

- [1] Armatura wodociągowa – Wymagania użytkowe i badania sprawdzające cz. 1 Wymagania ogólne, cz. 2 Armatura zaporowa PN-EN 1074-1, PN-EN 1074-2.
- [2] Z. Szyderski: Napęd i sterowanie hydrauliczne. WKiŁ, Warszawa 1999.
- [3] B. Zastempowski, J. Musiał, M. Styp-Rekowski: Układy oraz elementy hydrauliczne i pneumatyczne w budowie maszyn. Wyd. Uczelniane UTP, Bydgoszcz 2008.