

mgr inż. BARBARA OMYLIŃSKA  
dr inż. ANDRZEJ SERWACH  
Przemysłowy Instytut  
Automatyki i Pomiarów MERA-PIAP  
Warszawa

## OKREŚLENIE, NA PODSTAWIE BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH, RÓWNIANIA SIŁY HYDRODYNAMICZNEJ DZIAŁAJĄCEJ NA GRZYB ZAWORU

*W artykule podano sposób eksperymentalnego określenia siły hydrodynamicznej, działającej na grzyb zaworu, pochodzącej od przepływu wywołanego danym spadkiem ciśnienia. Wprowadzono pojęcie zastępczej powierzchni od siły hydrodynamicznej jako funkcji skoku grzyba, korygowanej przez bezwymiarową funkcję spadku ciśnienia na zaworze. Przebieg obu funkcji uzyskuje się drogą odpowiedniej obróbki danych eksperymentalnych. Dla przykładu zamieszczono przebiegi obu tych funkcji dla zaworów dwugniazdowych serii 10000 z grzybami o charakterystykach szybkootwierających, produkowanych przez ZA MERA-POLNA.*

### 1. Wstęp

Siła hydrodynamiczna, pochodząca od przepływu wywołanego określonym spadkiem ciśnienia na zaworze, w opracowaniach teoretycznych (praca źródłowa [ 1 ]) jest określana jako proporcjonalna do tego spadku ciśnienia. Przy tym najczęściej, dla uproszczenia przyjmuje się, że jest ona również proporcjonalna do stopnia otwarcia zaworu ( skoku grzyba). W raporcie firmy Masonite [ 2 ] jest podana co prawda, nieliniowa zależność tej siły od skoku grzyba ale przyjmuje się tam nadal jej proporcjonalność do spadku ciśnienia. Mierzone, rzeczywiste przebiegi siły hydrodynamicznej wykazują duże rozbieżności z danymi teoretycznymi. Rezultaty pomiarów wykazują, że siła hydrodynamiczna jest znacznie bardziej złożoną funkcją dwóch zmiennych: skoku grzyba i spadku ciśnienia na zaworze, niż wynika to z klasycznej teorii bazującej na równaniu Bernoulliego. W tym

artykule podano sposób określenia równania tej siły, drogą odpowiedniej obróbki danych eksperymentalnych.

#### Wykaz oznaczeń

- $A_d(h)$  - zastępcza powierzchnia, będąca funkcją skoku grzyba zaworu odwzorowująca efekt oddziaływania siły hydrodynamicznej na grzyb, w wyniku przepływu wywołanego spadkiem ciśnienia na zaworze
- $A_d(h, \Delta p)$  - zastępcza powierzchnia siły hydrodynamicznej jako funkcja dwóch zmiennych: skoku grzyba i spadku ciśnienia na zaworze
- $A_d(\Delta p)$  - funkcja pośrednia dla określenia  $\varphi(\Delta p)$
- $A_r$  - różnica powierzchni gniazd w zaworach dwugniazdowych lub powierzchnia gniazda w zaworach jednogniazdowych
- $A_t$  - powierzchnia przekroju trzpienia grzyba przy dławnicy
- $F_d(h, \Delta p)$  - siła hydrodynamiczna od przepływu działająca na grzyb zaworu
- $F_w$  - wypadkowa siła hydrauliczna i grawitacyjna działająca na grzyb zaworu
- $G$  - ciężar grzyba zaworu
- $h$  - skok grzyba zaworu
- $p_1$  - ciśnienie przed zaworem
- $p_2$  - ciśnienie za zaworem
- $\Delta p = p_1 - p_2$  - spadek ciśnienia na zaworze
- $\varphi(\Delta p)$  - bezwymiarowa funkcja korekcyjna dla powierzchni zastępczej siły hydrodynamicznej.

## 2. Równanie sił działających na grzyb zaworu

Jeżeli siłę działającą w kierunku otwierania zaworu, przyjąć jako danią, oraz usytuowanie trzpienia grzyba pionowe, popychaczem do gó-

to równanie sił działających na grzyb, dla zaworów prostego działania ma postać:

$$F_{\text{W}} = A_r \cdot \Delta p + A_t \cdot p_2 - F_d(h, \Delta p) - G \quad /1/$$

a dla zaworów odwrotnego działania:

$$F_{\text{W}} = A_r \cdot \Delta p - A_t \cdot p_2 - F_d(h, \Delta p) + G \quad /1a/$$

Dwa pierwsze składniki prawej strony równania /1/ lub /1a/ określają siły hydrostatyczne pochodzące od niezrównoważenia powierzchni grzyba poddanych oddziaływaniu ciśnień statycznych, trzeci składnik jest siłą hydrodynamiczną od przepływu czynnika roboczego przez zawór, natomiast czwarty jest ciężarem grzyba. Tak więc równanie /1/ lub /1a/ opisuje wypadkową siłę hydrauliczną i grawitacyjną, działającą na grzyb zaworu.

Siła hydrodynamiczna, działająca na grzyb zawsze w kierunku zamykania zaworu, jest złożoną funkcją dwóch zmiennych. Z uwagi na jednolitą postać równania /1/ lub /1a/ oraz w celu utrzymania podobieństwa równania siły hydrodynamicznej uzyskanego drogą eksperymentalną, do klasycznej postaci równania tej siły /1/ wprowadzono pojęcie powierzchni zastępczej, będącej funkcją skoku grzyba i spadku ciśnienia na zaworze. Dzięki temu, równanie siły hydrodynamicznej można przedstawić jako iloczyn powierzchni zastępczej i spadku ciśnienia

$$F_d(h, \Delta p) = A_d(h, \Delta p) \cdot \Delta p \quad /2/$$

Dałej założono, że powierzchnia zastępcza z równania /2/ może być przedstawiona jako iloczyn powierzchni zastępczej, będącej funkcją jedynie skoku grzyba i bezwymiarowej funkcji korekcyjnej, zależnej jedynie od spadku ciśnienia

$$A_d(h, \Delta p) = \varphi(\Delta p) \cdot A_d(h) \quad /3/$$

czyli

$$A_d(h) = 0 \text{ dla } h = 0$$

Iloczynową postać funkcji /3/ wprowadzono na podstawie twierdzenia "pi" Buckingham'a, powszechnie stosowanego w eksperymentalnej hydro- i termodynamice, będącego podstawowym twierdzeniem teorii podobieństwa dynamicznego.

W rezultacie, z równań /1/.../3/ otrzymuje się ostateczne zależności dla siły wypadkowej hydraulicznej i grawitacyjnej, działającej na grzyb zaworu:

dla zaworów prostego działania

$$F_w(h, \Delta p, p_2) = A_r \cdot \Delta p + A_t \cdot p_2 - \varphi(\Delta p) \cdot A_d(h) \cdot \Delta p - G \quad /4/$$

dla zaworów odwrotnego działania

$$F_w(h, \Delta p, p_2) = A_r \cdot \Delta p - A_t \cdot p_2 - \varphi(\Delta p) \cdot A_d(h) \cdot \Delta p + G \quad /4a/$$

przy czym wartości funkcji  $\varphi(\Delta p)$  i  $A_d(h)$  należy określać eksperymentalnie dla każdego typowymiaru zaworu.

### 3. Sposób opracowania wyników pomiarów

Jako bezpośrednie wyniki pomiarów laboratoryjnych otrzymuje się zbiór wartości siły wypadkowej, przy czym każda wartość odnosi się do danego skoku i danego spadku ciśnienia. Przy tym, w celu wyeliminowania siły tarcia dławnicy, każda wartość powinna być średnią z dwóch wyników pomiarów otrzymywanych przy ruchu grzyba w kierunku zamykania i otwierania.

W celu określenia przebiegów funkcji  $\varphi(\Delta p)$  i  $A_d(h)$  zastosowano następującą procedurę obróbki danych eksperymentalnych:

- a) Dla każdej, uzyskanej z pomiarów wartości siły wypadkowej posługując się równaniami /1/ i /2/ oblicza się wartość funkcji  $A_d(h, \Delta p)$ .
- b) Uzyskane w poprzednim kroku wartości funkcji  $A_d(h, \Delta p)$  zestawia się w tablicy, której wiersze zawierają podzbiory wartości funkcji  $A_d(h, \Delta p)$  dla  $\Delta p = \text{const}$ , natomiast kolumny, podzbiory tych samych wartości dla  $h = \text{const}$ .
- c) Określa się przebieg funkcji  $A_d(h)$  obliczając jej wartości dla danych skoków grzyba jako średnie z kolejnych kolumn tablicy zestawionej w drugim kroku.

- d) Określa się przebieg funkcji pośredniej  $A_d(\Delta p)$ , obliczając jej wartości dla danych spadków ciśnienia jako średnie z kolejnych wierszy tablicy zestawionej w drugim kroku.
- e) Ze zbioru średnich wartości funkcji  $A_d(h)$  określonych w trzecim kroku wybiera się jedną, najbliższą którejś z wartości średnich  $A_d(\Delta p)$  określonych w czwartym kroku, jeśli więcej niż jedna wartość średnia  $A_d(h)$  jest równa lub bliska którejś z wartości średnich  $A_d(\Delta p)$ , to wybieramy dowolną z nich.
- f) Określa się przebieg funkcji korekcyjnej  $\varphi(\Delta p)$  obliczając jej wartości jako ilorazy kolejnych wartości funkcji pośredniej  $A_d(\Delta p)$  określonej w czwartym kroku przez wartość funkcji  $A_d(h)$  dobraną w piątym kroku.

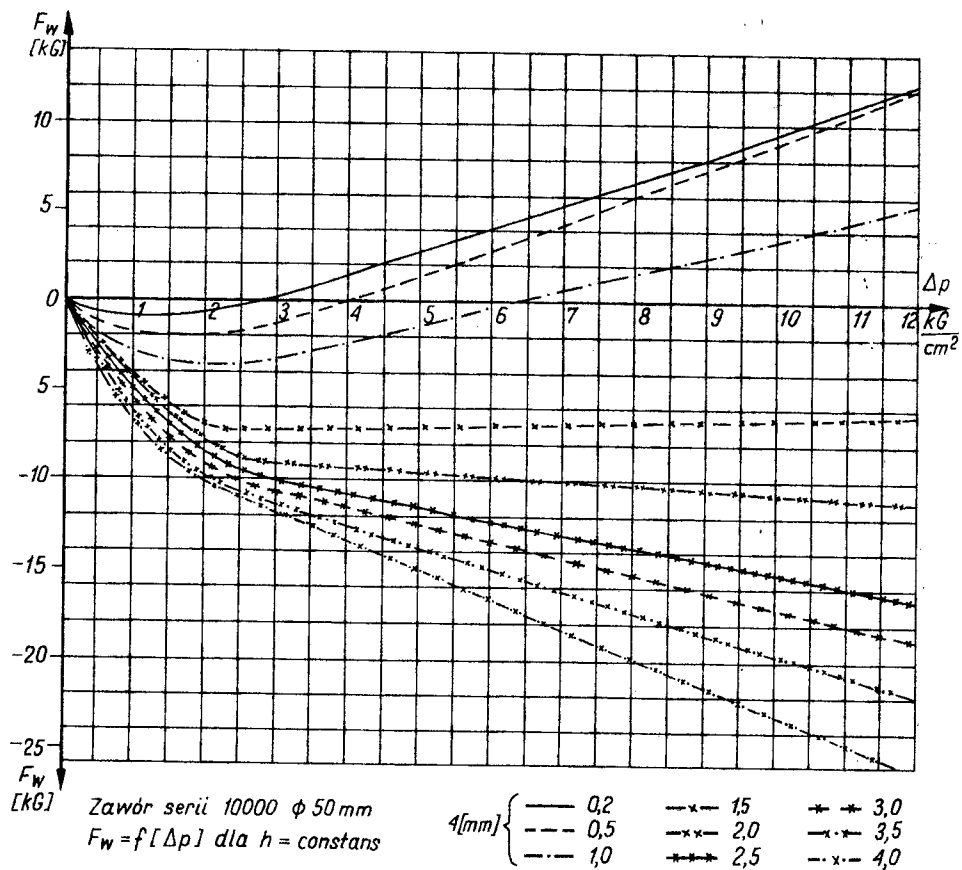
Wartości średnie w krokach c) i d) określono w ten sposób, że z danego podzbioru (kolumny w c) kroku lub wiersza w d) kroku) odrzucono około 25 % wyników najmniejszych i 25 % wyników największych, a z pozostałych obliczono średnią arytmetyczną. Ten rodzaj średniej jest używany w RAND CORPORATION do opracowywania wyników ocen ekspertów metodą delficką. Szereg eksperymentów potwierdziło jego praktyczną przydatność dla uśredniania wyników mających charakter częściowo deterministyczny, a częściowo przypadkowy. Został on tutaj zapożyczony, bowiem pomiary sił w zaworach, ze względu na szereg trudności praktycznych, są zwykle obarczone dużymi błędami przypadkowymi.

Dla przykładu, na rys. 1 pokazano przebiegi siły wypadkowej dla zaworu serii 10000, o średnicy nominalnej 50 mm z grzybem o charakterystyce szybkootwierającej, produkowanego przez ZA MERA-POLNA. Funkcje  $\varphi(\Delta p)$  i  $A_d(h)$  określone wyżej opisaną metodą dla zaworów tej samej serii, o średnicach 32...65 mm pokazano na rys. 2 i 3. Pozostałe parametry dla tych zaworów, występujące w równaniu /4/ lub /4a/, zestawiono w tablicy 1.

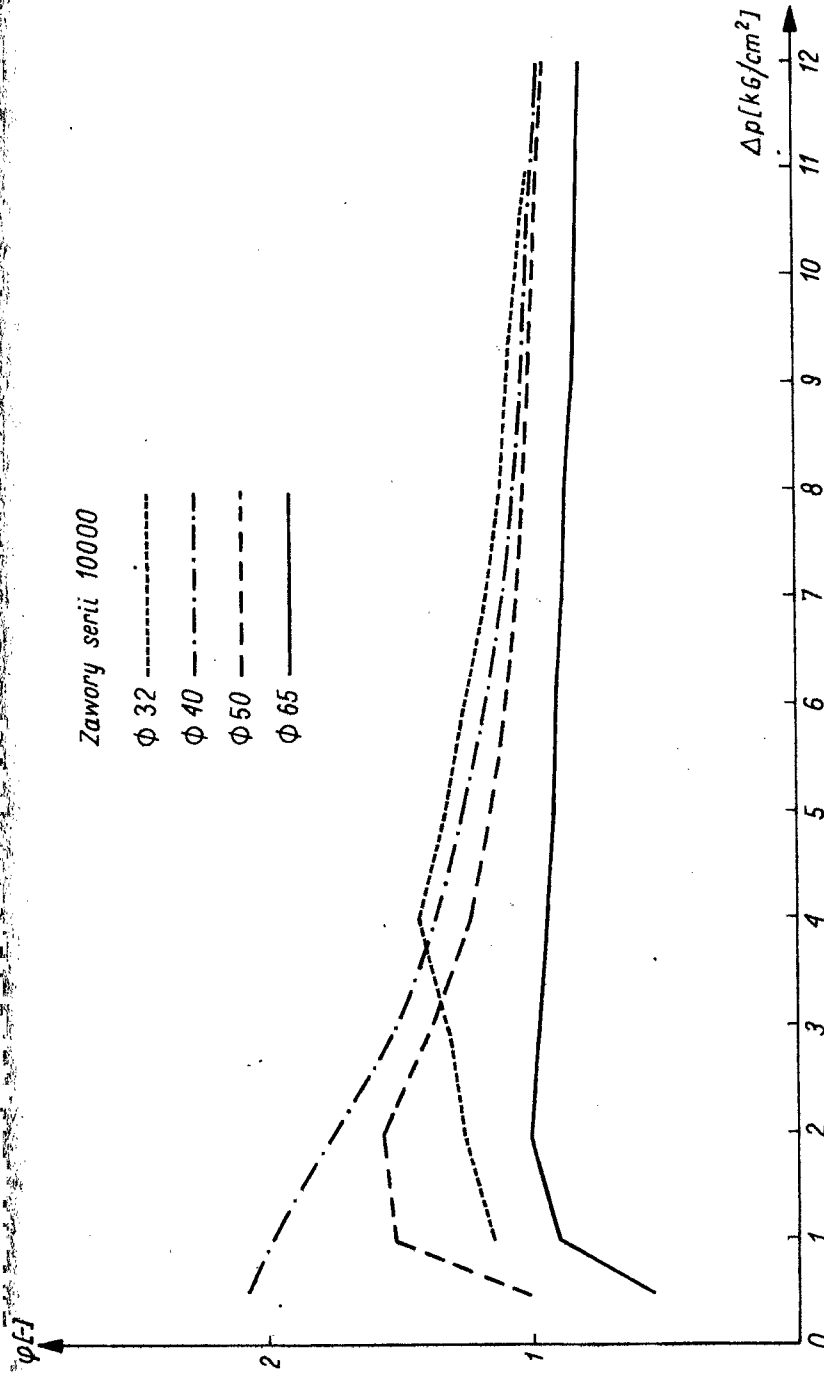
Tablica 1

Wartości parametrów w równaniu sił hydraulicznych i grawitacyjnych, działających na grzyb zaworu, dla zaworów dwugniazdowych serii 10000 produkcji ZA MERA-POLNA

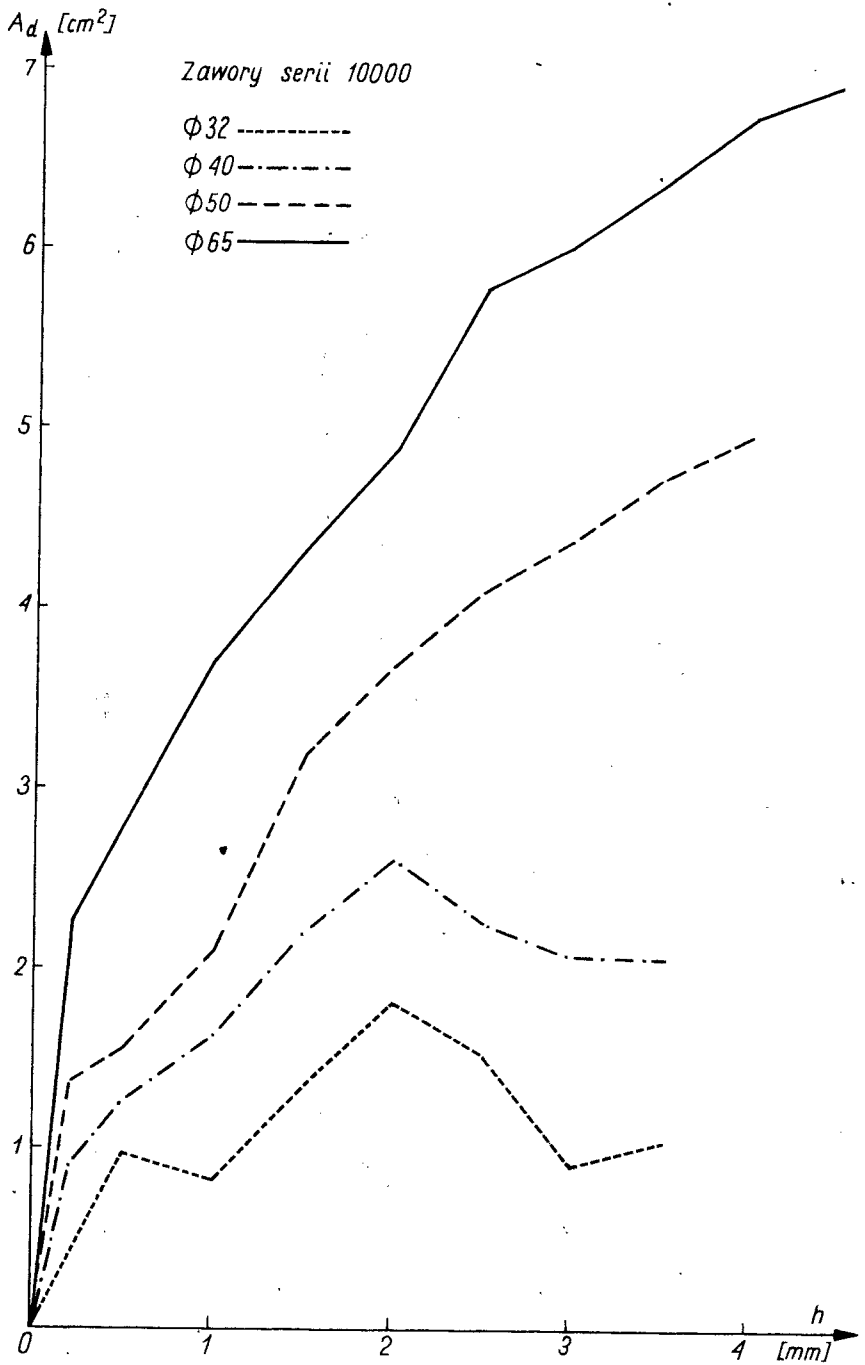
średnica nominalna (mm)	Parametr	$A_r$ (cm <sup>2</sup> )	$A_t$ (cm <sup>2</sup> )	G (kG)
32		1,28	0,49	1,35
40		1,48	0,49	1,8
50		2,44	0,71	2,7
65		2,75	0,71	3,6



Rys.1. Przykładowe przebiegi siły wypadkowej na grzybie dla zaworu serii 10000 o średnicy nominalnej  $\phi$  50 mm z grzybem o charakterystyce szybkootwierającej



Rys.2. Zależność funkcji korekcyjnej sity hydrodynamicznej od spadku ciśnienia na zaworze



Rys.3. Zależność powierzchni zastępczej siły hydrodynamicznej od skoku grzyba dla zaworów serii 10000 z grzybami o charakterystykach szybkootwierających



#### 4. Podsumowanie

Przedstawiony w artykule sposób określania przebiegów siły hydrodynamicznej, działającej na grzyb zaworu regulacyjnego, pozwala na precyzyjniejsze, niż istniejąca teoria, określenie tej siły.

Ze względu na to, że wartości siły hydrodynamicznej mogą często przewyższać wartości sił pochodzących od niezrównoważenia statycznego (zwłaszcza w zaworach dwugniazdowych), dokładna znajomość przebiegu tych sił jest niezbędna dla poprawnego doboru napędów do zaworów.

Jeszcze ważniejsza jest dokładna znajomość przebiegu sił hydrodynamicznych przy zastosowaniu danych zaworów do regulatorów bezpośredniego działania, gdyż w tym przypadku przebieg tych sił wpływa bezpośrednio na charakterystyki regulacyjne regulatora.

Przeprowadzone badania wykazały, że funkcje  $\varphi(\Delta p.)$  i  $A_d(h)$  mają przebiegi różne dla różnych typowymiarów zaworów z tej samej serii, dlatego uogólnianie wyników uzyskanych z badań danego typowymiaru zaworów na cały typoszereg jest niemożliwe.

Zaproponowany sposób określania siły hydrodynamicznej opracowano dla potrzeb projektowania urządzeń, w których wykorzystuje się normalnie produkowane zawory. Tym niemniej, może on być również przydatny przy projektowaniu odciążenia statycznego i dynamicznego samych zaworów, co zwykle robi się przy pomocy metody prób i błędów, przeprowadzając serie badań laboratoryjnych.

Przedstawienie siły wypadkowej działającej na grzyb zaworu w formie równania /4/ lub /4a/ jest szczególnie wygodne, jeżeli przy projektowaniu urządzeń zawierających zawory, korzysta się z modelowania komputerowego.

#### Literatura

- [1] Lee S.Y., Blackburn J.F.: Contributions to Hydraulic Control, 1 - Axial Forces on Control - Valve Pistons, Transactions of the ASME, Vol.74 August 1952, pp.1005...1011.
- [2] 10000 Series Double Seat Control Valves. Estimation of Steam Forces, Technical Data Supplement No.100, Masoneilan Co.