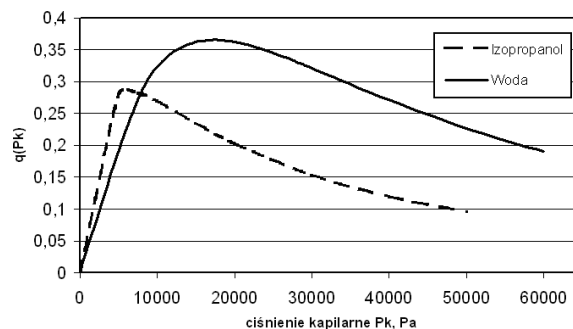
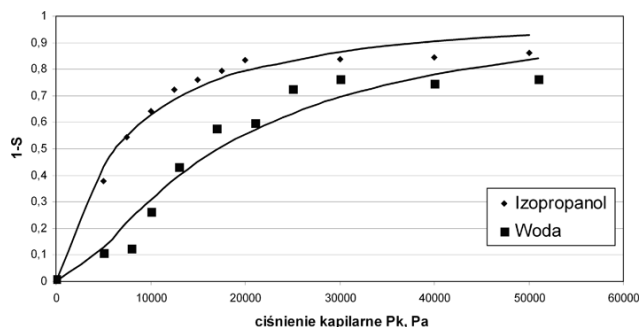


Rys. 3. Wpływ właściwości zwilżających cieczy na krzywe kapilarne



Rys. 5. Logarymiczno-normalna funkcja gęstości rozkładu ciśnienia kapilarnego dla wyznaczonych parametrów  $P_{k50}$  i  $\sigma$



Rys. 4. Porównanie wyników eksperymentalnych z dystrybucją rozkładu prawdopodobieństwa ciśnienia kapilarnego. Parametry dopasowanych rozkładów L-N: woda  $P_{k50w} = 17200$  Pa,  $\sigma_w = 1,09$  Pa, izopropanol  $P_{k50izo} = 6300$  Pa,  $\sigma_{izo} = 1,41$  Pa

rozkładów  $P_{k50}$  i  $\sigma$ . Dla przebadanych materiałów  $P_{k50w} = 17200$  Pa oraz  $P_{k50izo} = 6300$  Pa. Oznacza to, że aby otrzymać 50 % odwodnienie osadu filtracyjnego należy zastosować dla izopropanolu ciśnienie odwadniania  $P_k = 6300$  Pa, natomiast dla wody trzykrotnie większe.

Pokazano również, że osady mające lepsze zdolności do odwadniania, charakteryzują się wyższą wartością drugiego parametru rozkładu jakim jest parametr  $\sigma$ .

#### LITERATURA

1. L. Besra, B. P. Singh, P. S. R. Reddy, D. K. Sengupta: Powd. Techn. 96 (1998).
2. J.A. Sorrentino: AIChE Annual Meeting, Conf. Proceed, 2006.
3. W. Stahl, Gss. Stroth: Filtr. Sep. 27, Issue 3, May-June (1990).

MAREK DZIUBIŃSKI  
ŁUKASZ PRZELAZŁY

Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, Łódź

## Współczynniki wpływu cieczy przez otwory o nieregularnych kształtach

### Wprowadzenie

Rozwój przemysłu charakteryzuje się znacznym wzrostem liczby i różnorodności nowych procesów technologicznych. W wielu realizowanych w praktyce technologiach mamy obecnie do czynienia z występowaniem dużych ilości niebezpiecznych substancji. Niesie to ze sobą ryzyko wystąpienia awarii, skutkiem których może być niekontrolowany wypływ cieczy lub gazów do otoczenia. Analiza potencjalnych awaryjnych wpływów cieczy ze zbiorników nabiera więc coraz większego znaczenia, ponieważ jest podstawą szacowania ryzyka procesowego, charakteryzującego warunki pracy instalacji przemysłowych.

Zagadnienie wpływu cieczy ze zbiorników, mimo swojej prostoty i dużego znaczenia praktycznego, jest słabo opracowane w literaturze przedmiotu. Natomiast awaryjne wypływy cieczy ze zbiornika przez otwory o nieregularnych kształtach nie były jak do tej pory przedmiotem opublikowanych badań.

### Stanowisko doświadczalne i metodyka pomiarów

W celu przeprowadzenia badań doświadczalnych wpływu cieczy newtonowskich i nienewtonowskich ze zbiorników przez otwory o nieregularnych kształtach zbudowano stanowisko doświadczalne, przedstawione na rys. 1, którego zasadniczymi elementami były pionowe kolumny szklane o średnicach wewnętrznych 200 i 400 mm. Szczegółowy opis budowy stanowiska oraz metodykę pomiarów przedstawiono w pracach [1, 2].

W celu przeprowadzenia badań wpływu cieczy przez otwory o nieregularnych kształtach przygotowano 26 elementów ze stali nierdzewnej, w których wykonano otwory różniące się wielkością i kształtem, uzyskując w ten sposób 26 różnych geometrii otworu wpływowego o średnicach zastępczych zdefiniowanych równaniem (4), równych  $d_z = 5, 8, 12,5, 25, 34$  i 50 mm – patrz rys. 2a,b,c,d. Otwory, których pola powierzchni odpowiadały otworom okrągłym o średnicy  $d = 5$  mm oznaczono literą A, a dla odpowiedników otworów



Rys. 1. Aparatura do badania wypływów cieczy ze zbiorników

o średnicach 8 i 12,5 mm 25, 34 i 50 mm, kolejno B, C, D, E oraz F. Stosunek długości otworu do jego średnicy  $L/d \approx 0$ .

Wykonane otwory wypływowe stanowiły odzwierciedlenie rzeczywistych otworów, jakie mogą powstawać podczas awaryjnych wypływów cieczy, np. na skutek pęknięcia ścianek i dennic zbiorników lub membran bezpieczeństwa.

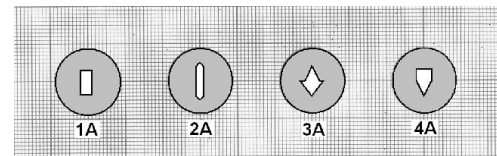
W badaniach jako ciecze newtonowskie stosowano wodę oraz glikol trójetylenowy, zaś mediami nienewtonowskimi były wodne roztwory karboksymetylocelulozy CMC o stężeniach 1,6; 2; 2,5; 3; 3,5; 4 i 5% wag. oraz wodne roztwory poliakryloamidu PAA o stężeniach 0,07 i 0,1% wag. Właściwości fizykochemiczne oraz parametry reologiczne wszystkich cieczy określono dla temperatury mierzonej każdorazowo podczas trwania pomiarów.

Na podstawie uzyskanych danych doświadczalnych, dla każdego punktu pomiarowego wyznaczono wartości: średniej prędkości wypływającej cieczy  $v$  oraz obliczono wartość współczynnika wypływu  $\phi$  ze wzoru:

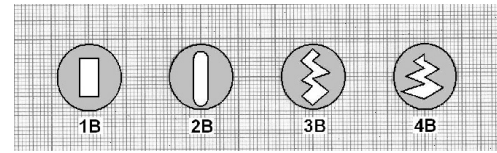
$$\phi = \frac{2S_Z(\sqrt{H_P} - \sqrt{H_K})}{S\tau\sqrt{2g}} \quad (1)$$

gdzie:  $H_P$  i  $H_K$  – odpowiednio, początkowa i końcowa wysokość zwierciadła cieczy w kolumnie [m].

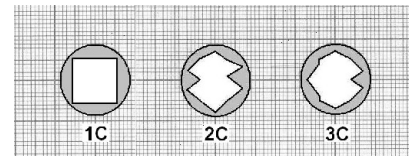
Wyznaczono także wartości liczby *Reynoldsa*  $Re$  dla wypływu cieczy newtonowskich i nienewtonowskich odpowiednio z zależności:



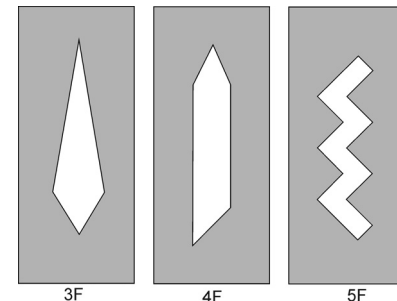
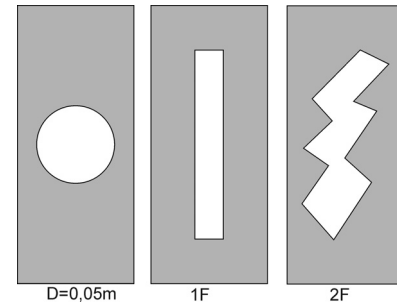
a) dla średnicy  $d = 5$  mm



b) dla średnicy  $d = 8$  mm



c) dla średnicy  $d = 12,5$  mm



d) dla średnicy  $d = 50$  mm

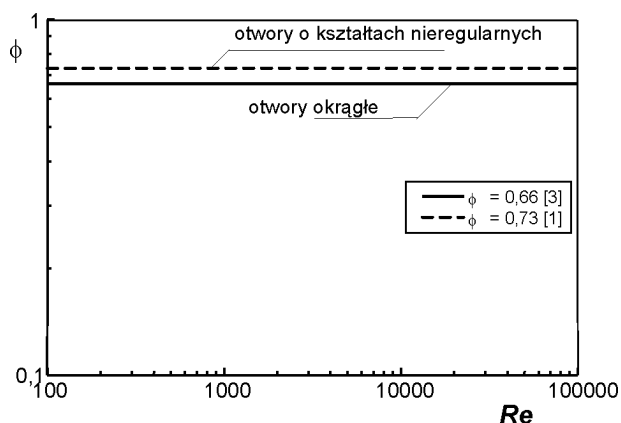
Rys. 2. Kształty wybranych otworów wypływowych zastosowane w badaniach

$$Re = \frac{vd_z\rho}{\eta} \quad (2)$$

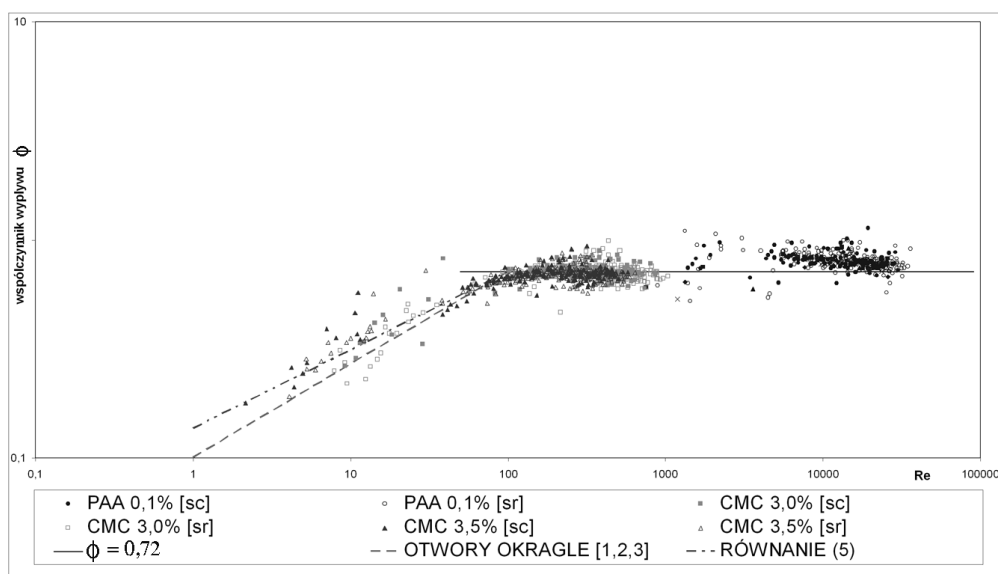
$$Re_{MR} = \frac{vd_z\rho}{k\left(\frac{3n+1}{4n}\right)^n\left(\frac{8v}{d_z}\right)^{n-1}} = \frac{v^{2-n}d_z^n\rho}{k\left(\frac{3n+1}{4n}\right)^n 8^{n-1}} \quad (3)$$

Średnice zastępcze dla otworów o nieregularnych kształtach wyznaczono na podstawie porównania powierzchni poprzecznej przekroju otworu o kształcie niekołowym z jego okrągłym odpowiednikiem. Zakładając, że obie rozpatrywane powierzchnie są sobie równe, średnicę zastępczą otworu o kształcie nieregularnym można opisać równaniem:

$$d_z = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} \quad (4)$$



Rys. 3. Porównanie wartości współczynnika  $\phi$  dla wypływu cieczy newtonowskich



Rys. 4. Porównanie wartości współczynnika  $\phi$  dla wypływu cieczy nienewtonowskich

### Omówienie wyników i wnioski

W wyniku przeprowadzonych badań doświadczalnych otrzymano szeroki zakres danych opisujących zjawisko wypływu cieczy newtonowskich i nienewtonowskich przez otwory okrągłe i o nieregularnych kształtach umieszczonych w dnie pionowego zbiornika.

Uzyskane dane doświadczalne przedstawiono w postaci wykresów zależności  $\phi = f(Re)$  oraz  $\phi = f(Re_{MR})$ .

W przypadku wypływów płynów newtonowskich uzyskane dane doświadczalne mieściły się w zakresie wartości liczby *Reynoldsa*  $Re > 100$  i można je było z zadowalającą dokładnością opisać wartością stałą współczynnika wypływu cieczy  $\phi = 0,73$  (Rys. 3).

Natomiast dla wypływu cieczy nienewtonowskich przez otwory o nieregularnych kształtach, uzyskane dane doświadczalne opisano dwiema różnymi korelacjami. Dla wartości liczby *Reynoldsa*  $Re_{MR} < 100$  oryginalnym równaniem o postaci:

$$\phi = 0,137 Re_{MR}^{0,36} \quad (5)$$

a dla liczb *Reynoldsa* z zakresu  $Re_{MR} > 100$  wartością stałą współczynnika wypływu  $\phi = 0,72$  (Rys. 4).

Równanie (5) jest słuszne w zakresie:  $0,3 < Re_{MR} < 100$ ;  $0,005 \text{ m} < d_Z < 0,05 \text{ m}$ ;  $1,195 \text{ Pa} \cdot \text{s}^n < k < 4,186 \text{ Pa} \cdot \text{s}^n$ ;  $0,579 < n < 0,672$

Dokonano porównania uzyskanych w badaniach własnych wartości współczynnika wypływu  $\phi$  dla otworów niekołowych z danymi doświadczalnymi dotyczącymi wypływu cieczy newtonowskich przez otwory okrągłe o tej samej powierzchni dla zakresu liczby *Reynoldsa*  $Re > 100$  (Rys. 3). Jak wynika z rys. 3 uzyskane w badaniach wartości współczynnika wypływu  $\phi$  były nieznacznie większe od współczynnika wypływu cieczy przez otwory o kształtach okrągłych.

Dla wypływu cieczy nienewtonowskich ze zbiornika przez otwory o nieregularnych kształtach w zakresie liczby *Reynoldsa*  $Re_{MR} < 100$  wartości współczynnika wypływu  $\phi$  były nieznacznie większe niż miało to miejsce podczas wypływu przez otwory okrągłe [1–3] (Rys. 4). Podobną tendencję uzyskano dla danych doświadczalnych z zakresu wartości liczby *Reynoldsa*  $Re_{MR} > 100$ . Wartość współczynnika wypływu była również nieznacznie wyższa od wartości współczynnika wypływu  $\phi = 0,69$  [3] dla cieczy nienewtonowskich wypływających przez otwory o kształtach okrągłych. Na wykresie (Rys. 4) dane reprezentujące wypływ cieczy przez otwory umieszczone w środkowej części dna zbiornika opisano skrótem „śr”, natomiast skrótem „śc” punkty pomiarowe dla wypływu przez otwory znajdujące się w pobliżu ścianki.

### Oznaczenia

- $S$  – pole powierzchni poprzecznego przekroju otworu wypływowego, [m<sup>2</sup>]  
 $S_Z$  – pole powierzchni przekroju poprzecznego zbiornika, [m<sup>2</sup>]

### LITERATURA

1. *Ł. Przelazły*: Wypływy cieczy newtonowskich i nienewtonowskich ze zbiornika przez otwory o nieregularnych kształtach, Praca magisterska, Politechnika Łódzka, 2005.
2. *M. Woźniak*: Grawitacyjny wypływ cieczy ze zbiornika przez otwory o nieregularnych kształtach, Praca magisterska, Politechnika Łódzka, 2008.
3. *A. Marcinkowski*: Wpływ cieczy nienewtonowskich oraz mieszanin dwufazowych ciecz – gaz ze zbiornika, Rozprawa doktorska, Politechnika Łódzka, 2003.