

RAFAL DROBNIK  
JERZY SKŁADZIEN  
JANUSZ SZYMKÓW

Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Politechnika Wroclawska, Wrocław

# Krzywa ciśnienia kapilarnego jako miara zdolności odwadniania osadów filtracyjnych

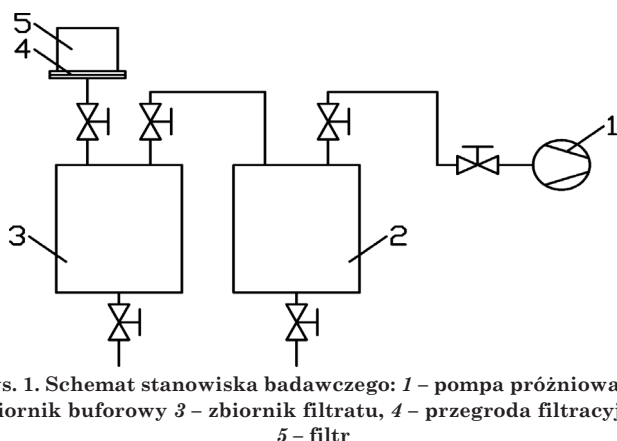
## Wprowadzenie

Proces odwadniania materiałów ziarnistych jest jedną z podstawowych operacji stosowaną, w ochronie środowiska, przeróbce minerałów, przemyśle chemicznym i spożywczym oraz w energetyce. Odwadnianie pozwala na uzyskanie wymiernych korzyści ekonomicznych [1]. Poprzez zmniejszenie masy wilgotnego materiału ziarnistego placka uzyskuje się oszczędności przy transporcie. Przy dobrym odwodnieniu można wyeliminować energochłonne suszenie termiczne placka. Często cenny jest filtrat, wypełniający pory osadów filtracyjnych, także jego odzysk z osadu może być bardzo opłacalny. Niestety osadów filtracyjnych nie daje się nam odwodnić całkowicie przez przedmuchiwanie powietrzem [2]. Wewnątrz placka w wąskich kapilarach zawsze pozostaje pewna ilość filtratu. Prowadząc proces odwadniania przez przedmuchiwanie osadu powietrzem napotyka się na opór spowodowany istnieniem sił kapilarnych. Siły te wynikają z wielkości porów osadu oraz własności zwilżających cieczy tj. napięcia powierzchniowego i kąta zwilżania [3]. Przeprowadzone badania miały na celu potwierdzenie możliwości określenia zdolności osadów do odwadniania na podstawie krzywej kapilarnej.

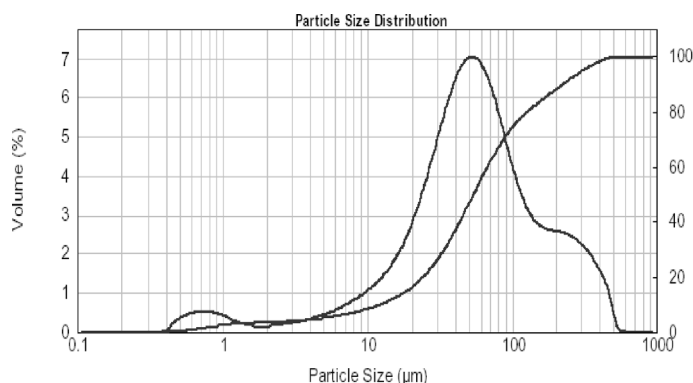
## Część eksperymentalna

Badania zostały przeprowadzone na stanowisku pomiarowym pokazanym na rys. 1.

Jako materiał ziarnisty zastosowano ziemię okrzemkową (*Celite*) o gęstość  $\rho = 2150 \text{ kg/m}^3$ . Na podstawie analizy granulometrycznej przeprowadzonej na laserowym aparacie *Malvern Mastersizer 2000* wyznaczono przeciętną wielkość cząstek złoża  $d_{50} = 54 \text{ }\mu\text{m}$ , oraz skrajne kwantyle rozkładu wielkości cząstek  $d_{10} = 12 \text{ }\mu\text{m}$  oraz  $d_{90} = 225 \text{ }\mu\text{m}$ .



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1 – pompa próżniowa 2 – zbiornik buforowy 3 – zbiornik filtratu, 4 – przegroda filtracyjna, 5 – filtr



Rys. 2. Rozkład uziarnienia badanej ziemi okrzemkowej

Badania eksperymentalne prowadzono dla układów: materiał ziarnisty – woda oraz materiał ziarnisty – izopropanol. Parametry fizykochemiczne cieczy wynoszą odpowiednio: dla wody:  $\gamma_w = 0,0728 \text{ N/m}$ ,  $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$ , dla izopropanolu:  $\gamma_{izo} = 0,0480 \text{ N/m}$ ,  $\rho_{izo} = 728 \text{ kg/m}^3$ .

Średnia wysokość odwodnionych osadów wynosiła  $h = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ , natomiast porowatość  $\epsilon = 0,82$ . Doświadczenia pozwoliły na wyznaczenie krzywych ciśnienia kapilarnego, czyli zależności nasycenia osadu od ciśnienia odwadniania po długim czasie trwania tego procesu. W celu znalezienia miary ilościowej zdolności osadu do odwadniania, krzywe ciśnienia kapilarnego poddano analizie statystycznej.

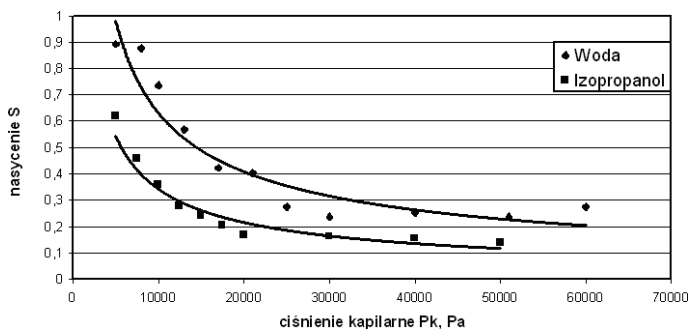
Założono, że ciśnienie kapilarne jest zmienną losową. Krzywa ciśnienia kapilarnego przedstawiona w układzie  $1 - S = f(P_k)$  ma postać dystrybuanty rozkładu zmiennej losowej  $P_k$ . W związku z tym wyrażenie  $1 - S$  jest prawdopodobieństwem odwodnienia placka filtracyjnego, równoważnym stopniowi odwodnienia placka przy danym ciśnieniu  $P_k$ .

Punkty eksperymentalne otrzymane w trakcie eksperymentu opisano dystrybuantą rozkładu logarytmiczno-normalnego. Dopasowanie rozkładu do wyników doświadczalnych pozwoliło na oszacowanie jego parametrów:  $P_{k50w} = 17200 \text{ Pa}$ ,  $\sigma_w = 1,09 \text{ Pa}$  dla wody i  $P_{k50izo} = 6300 \text{ Pa}$ ,  $\sigma_{izo} = 1,41 \text{ Pa}$ , dla izopropanolu.

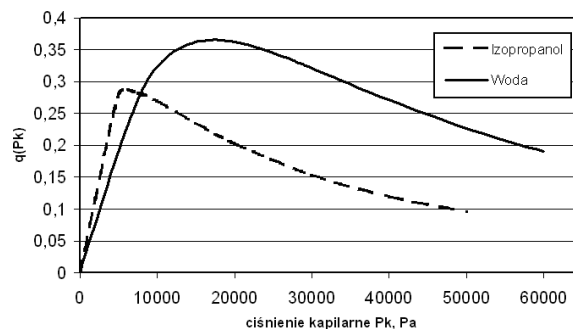
Wyniki estymacji pokazano na rys. 3, 4, 5.

## Podsumowanie

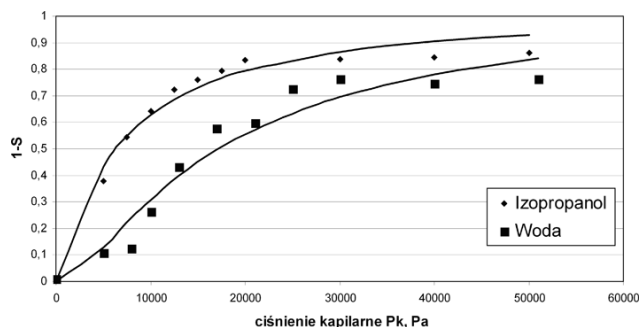
Przedstawione badania potwierdzają możliwość obniżenia wilgotności osadów filtracyjnych poprzez zmianę własności zwilżalnych filtratu. W zakresie ciśnień stosowanych w badaniach, stwierdzono wyraźny spadek nasycenia placka filtracyjnego przy odwadnianiu izopropanolu. Przyjętą miarą zdolności osadów do odwadniania są estymowane parametry



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 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 PRZELAŻŁY

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