

Rudolf Milerski

Modyfikacja modelu filtracji pospiesznej Iwasakiego

W niniejszym artykule przedyskutowano problem modelowania procesu filtracji pospiesznej na jednowarstwowych filtrach piaskowych, w zakresie usuwania zawieszin z wody na różnych głębokościach złoża filtracyjnego. Problem ten był badany przez wielu autorów [1–3], jednakże obecnie do opisu filtracji praktycznie stosuje się jedno równanie, które zaproponował Iwasaki [4].

Wzór Iwasakiego (1) powstał przez stochastyczne opracowanie danych doświadczalnych i określa eksponentialną zmianę zawieszin na głębokości złoża filtracyjnego podczas filtracji wody:

$$c = c_0 e^{-\lambda h} \quad (1)$$

w którym:

c – stężenie zawieszin na głębokości (h) złoża, g/m^3
 c_0 – początkowe stężenie zawieszin (w dopływie), g/m^3
 λ – współczynnik filtracji, $1/m$
 h – głębokość złoża filtracyjnego, m

Wzór Iwasakiego stosowany jest do opisu procesu usuwania zawieszin w warstwie złoża filtracyjnego. Zmiany wartości współczynnika filtracji (λ) i tym samym zmiany przebiegu samego procesu filtracji rozważane są w zależności od czasu trwania procesu, czyli w trakcie cyklu filtracyjnego [1,2]. Oznacza to, że podczas procesu filtracji wartość współczynnika λ jest stała. Jeżeli porówna się dane doświadczalne z danymi uzyskanymi z krzywej regresji modelu Iwasakiego to okaże się, że krzywa uzyskana z równania odbiega od danych doświadczalnych. Stąd też równanie Iwasakiego dobrze opisuje przebieg pracy całego złoża filtracyjnego, nie zaś na poszczególnych jego głębokościach. Krzywa wykładnicza również nie oddaje przebiegu procesu filtracji w poszczególnych godzinach cyklu filtracyjnego, co wynika z prac Ivesa i Minca [1,2].

Mając to na uwadze, w niniejszej pracy dokonano modyfikacji współczynnika, w celu przybliżenia modelu filtracji do rzeczywistego przebiegu tego procesu [5–7].

Dyskusja wyników badań

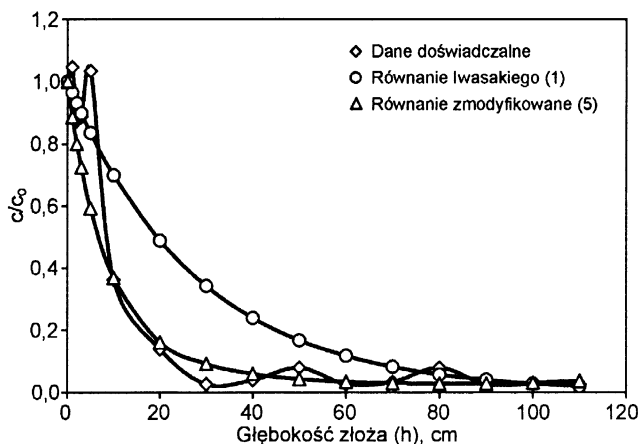
Badania przebiegu procesu filtracji przeprowadzono w skali laboratoryjnej na modelowych filtrach piaskowych. Efekty procesu filtracji określono na podstawie zmiany mętności filtratu pobranego na różnych głębokościach złoża filtracyjnego podczas trwania całego cyklu filtracyjnego. Jednowarstwowe złożo filtracyjne stanowiła warstwa piasku kwarcowego o wysokości 1,2 m i uziarnieniu 0,8+1,0 mm. Warstwa

wody nad złożem wynosiła 0,8 m. Zastosowano stałą prędkość filtracji równą 5 m/h.

Woda w przeprowadzonych 10 cyklach badawczych charakteryzowała się mętnością w granicach 30+200 NTU, barwą – 15+40 gPt/m³, utleniałością – 3,0+6,0 gO₂/m³ oraz zawartością zawieszin – 1+10 g/m³. Jako koagulant zastosowano chlorek żelaza (FeCl₃·6H₂O) w ilości 45 g/m³. Układ technologiczny uzdatniania wody stanowiły procesy szybkiego mieszania i filtracji. Pominięto procesy flokulacji i sedymentacji, co wpłynęło na skrócenie cykli filtracyjnych.

Wyniki uzyskane w badaniach, tj. zmianę mętności wody i przyrost strat ciśnienia filtracyjnego na poszczególnych głębokościach złoża filtracyjnego porównano z danymi uzyskanymi przez innych autorów (np. Minc, Vostrčil). Średni współczynnik filtracji, określony ze wzoru (1), wyniósł $\lambda=0,025$ 1/cm.

Graficzna interpretacja wyników uzyskanych w badaniach (rys. 1) z krzywą regresji obliczoną z równania (1) wskazuje, że przebieg uzyskany wg równania Iwasakiego niezbyt dokładnie odzwierciedla przebieg procesu filtracji w złożu, pomimo iż średnie odchylenie standardowe i suma kwadratów odchyłek były małe.



Rys. 1. Przebieg zmian c/c_0 na głębokości złoża po 2 godz. cyklu filtracyjnego

Z wielu badań przebiegu procesu filtracji pospiesznej wiadomo, że w warstwie złoża na głębokości 0,2+0,4 m zatrzymywanych jest najwięcej zawieszin, jak również występuje w niej maksymalny przyrost strat ciśnienia filtracyjnego. Jeżeli na podstawie analizowanego równania wykonane zostaną obliczenia współczynnika filtracji osobno dla górnej i dolnej warstwy złoża to okaże się, że współczynnik filtracji dla górnej warstwy jest około 10-krotnie większy niż dla warstwy dolnej. Oznacza to, że skuteczność procesu filtracji jest znacznie większa w górnej warstwie złoża niż w kolejnych warstwach.

Przeprowadzone badania porównawcze rozmiarów cząstek zawieszin dopływających do filtru i obecnych w filtracie wykazały, że rozkład rozmiarów cząstek zawieszin był w zasadzie taki sam oraz że złożo filtracyjne nie wykazywało preferencji dla dużych cząstek, tj. większych od porów złoża. Potwierdza to fakt uzyskania bardzo zbliżonych przebiegów krzywych $c/c_0=f(h)$ dla procesu filtracji wody przez kolejne elementy warstwy złoża, tj. filtratu pozbawionego już znacznej ilości zawieszin. Fakty te przemawiają za wyznaczeniem różnej pojemności warstwy złoża na zanieczyszczenia (tzw. zawiesionochłonności warstwy), zależnie od położenia rozpatrywanego elementu warstwy filtracyjnej w złożu.

Zawiesionochłonność warstwy filtracyjnej, w zależności od jej położenia w złożu, przedstawiono przy użyciu nowego modelu regresyjnego – zmodyfikowanego równania Iwasakiego. Istota tego modelu polega na tym, że uwzględniono w nim większe znaczenie głębokości warstwy złoża. Zastosowany do opracowania wyników badań program Statgrafic nie umożliwił znalezienia zależności współczynnika filtracji od głębokości złoża. Poszukiwano możliwie prostych funkcji, które umożliwiłyby modyfikację klasycznego wzoru Iwasakiego, tak aby osiągnąć większą zgodność modelu z danymi uzyskanymi w badaniach.

Przebieg procesu filtracji analizowano przy pomocy krzywych regresji dla cienkich warstewek złoża, a uzyskane w ten sposób wartości współczynników filtracji (λ_x) naniesiono na wykresy. Okazało się, że przebieg funkcji (h) był zbliżony do krzywych parabolicznych. Z tego względu do wzoru Iwasakiego podstawiono różne funkcje paraboliczne (h), a następnie wykonano niezbędne obliczenia celem poszukiwania zgodności wartości obliczonych i otrzymanych w badaniach. Na tej podstawie wybrano funkcję w postaci:

$$\lambda = (\lambda_0 - a\sqrt{h}) \quad (2)$$

w której a jest wartością stałą.

Funkcję tę wprowadzono następnie do wzoru Iwasakiego (1). Zastosowano metodę regresji subiektywnej, w której były eliminowane dane nieprawdopodobne. Uzyskane wartości współczynników λ_0 i a przedstawiono graficznie w funkcji czasu. Okazało się, że przebieg współczynnika λ_0 był bardzo zbliżony do przebiegu współczynnika a , przy czym współczynnik korelacji wynosił 0,986. Zatem wzór (2) został zapisany w następującej postaci:

$$\lambda = (\lambda_0 - n\lambda_0\sqrt{h}) \quad (3)$$

Wyznaczona wartość współczynnika n dla danych doświadczalnych wynosiła 0,0758. Oczywiście współczynnik λ_0 nie opisuje wprost przebiegu cyklu filtracyjnego (czasu filtracji), ale wg Ivesa zależy od stężenia zawieszin w wodzie dopływającej (c_0), prędkości filtracji (v) i stopnia zanieczyszczenia złoża (σ). Dla danych doświadczalnych uzyskano następującą funkcję liniową:

$$\lambda_0 = 0,095 - 0,0105t \quad (4)$$

w której:

t – czas filtracji, h

Z przekształcenia wzorów (2), (3) i (4) uzyskano zależność opisującą szczegółowo cykl filtracyjny w postaci:

$$c = c_0 e^{-[(0,095 - 0,105t)(1 - 0,0758\sqrt{h})]h} \quad (5)$$

Ze względu na budowę zależności (5) oraz pomiar współczynnika λ_0 i stałej n , jego zastosowanie jest ograniczone do głębokości warstwy filtracyjnej 0,8 m. Badania wskazują jednak, że do takiej głębokości zachodzi praktycznie usuwanie zawieszin, natomiast większa głębokość warstwy filtracyjnej wpływa już nieznacznie na efekt filtracji wody.

Podsumowanie

Wykazano, że ponieważ współczynnik filtracji (λ) zmienia się wraz z głębokością złoża filtracyjnego, do modelowania przebiegu procesu filtracji pospiesznej dużo lepiej nadaje się zmodyfikowany wzór Iwasakiego (5). Modyfikację wzoru opracowano dla stosunkowo małej liczby danych doświadczalnych i tylko dla jednej prędkości filtracji, jednakże możliwa jest weryfikacja modelu na podstawie danych uzyskanych w innych badaniach. W tym celu proponuje się korzystać z ogólnej zależności w następującej postaci:

$$c = c_0 e^{-(\lambda_0 - n\lambda_0\sqrt{h})h} \quad (6)$$

Należy podkreślić, że zdolność filtracyjna jednostkowej warstwy złoża filtracyjnego zależy od jej odległości od powierzchni filtru.

Badania omówione w artykule zostały zrealizowane w ramach programu badawczego nr CZ 234426.

LITERATURA

1. K. S. IVES: The physical and mathematical basis of deep bed filtration. Snelfiltratie, Mormans Periodieke, Den Haag 1967.
2. D. M. MINC: Modern theory of filtration. International Water Supply. Ass. Congress, Stockholm 1974, p. E 1-75.
3. C. TIEN, R. M. TURIAM, H. PENDSE: Simulation of the dynamic behaviour of deep bed filters. Amer. Inst. Chem. Engrs., 1979, 25, 385.
4. T. IWASAKI: Some notes on sand filtration. Journal AWWA, 1937, Vol. 29, pp. 1591-1602.
5. L. VOŠTRČIL, R. MILERSKI: Průřímá tlaková rychlofiltrace. Konf. „Filtrace v technologickém postupu a vodní hospodářství“, Brno 1982.
6. R. MILERSKI: Využití kalové kapacity rychlofiltru. Knižnice odborných a vědeckých spisů VUT, Brno 1987.
7. R. MILERSKI: Kolmatace rychlofiltru při koagulační filtraci. Disertační práce. VUT, Brno 2001.

Milerski, R. Modification of the Iwasaki Filtration Model. Ochrona Środowiska 2003, Vol. 25, No. 3, pp. 71-72.

Abstract: The key issue of the study was the modelling of the rapid filtration process through a single-layer sand filter, particular consideration being given to the efficiency of suspended solids removal at various depth of the filter bed. Theoretical

and model investigations have shown that the filtration coefficient (λ) in the Iwasaki equation varies with bed depth. In this context, a modified form of the Iwasaki equation has been proposed and tested with one filtration rate. Further verification of the modified equation is needed.

Keywords: Filtration, Iwasaki equation, filtration coefficient (λ).