

Jacek Marzec, Wojciech Dąbrowski

Eksploatacja filtrów pospiesznych w warunkach zmiennej mętności wody

Filtry o skokowo zmiennej wydajności, nazywane w literaturze światowej w skrócie VDRF (*Variable Declining Rate Filters*), są eksploatowane bez regulatorów natężenia przepływu, które zastępują kryzy umieszczone na rurociągach odprowadzających filtrat. Autorzy prac [1,2,8] podają następujące zalety filtracji w systemie VDRF w stosunku do filtrów o stałej prędkości filtracji, bądź filtracji ze stałą wysokością zwierciadła wody nad złożem filtracyjnym:

- lepsza jakość filtratu,
- mniejsza strata ciśnienia dla takich samych długości cykli filtracyjnych,
- wzrost obciążenia stacji filtrów powoduje wolniejsze i bardziej płynne zmiany natężenia przepływu przez poszczególne filtry oraz ma mniejszy wpływ na jakość filtratu,
- mniejsze koszty eksploatacji oraz mniejsze koszty inwestycyjne wynikające z wyeliminowania drogich urządzeń regulujących,
- łatwa kontrola strat ciśnienia poprzez obserwację wysokości zwierciadła wody nad złożem oraz możliwość prostego automatycznego zapisu,
- brak urządzeń regulujących uniemożliwia przypadkowy bądź celowy nagły wzrost natężenia przepływu, co mogłoby wpłynąć niekorzystnie na jakość filtratu,
- uniknięcie powstawania podciśnienia w filtrze, gdy wpływ filtratu w zbiorniku wody czystej jest położony powyżej złoża filtracyjnego.

Za celowością stosowania filtrów VDRF przemawiają w największym stopniu niskie koszty inwestycyjne, które w warunkach Ameryki Łacińskiej ocenia się na 30+40% nakładów, jakie należałoby ponieść w przypadku tradycyjnych stacji filtrów wyposażonych w regulatory natężenia przepływu [3]. Tak znaczące efekty ekonomiczne nie są miarodajne dla warunków polskich, ze względu na różnice w cenie regulatorów mechanicznych, choć koszty inwestycyjne można zmniejszyć nawet o 70% w tych szczególnych przypadkach, w których samoregulacja VDRF pozwoli na zwiększenie wydajności zakładu uzdatniania w stopniu eliminującym konieczność rozbudowy stacji filtrów [4].

Istniejące modele matematyczne J. Arboledy [3] i L. Di Bernardo [5], opisujące współpracę filtrów VDRF, zakładają stałą, niezmienną w czasie jakość wody surowej oraz stałą wartość zapotrzebowania na nią. W rzeczywistości jednak podczas eksploatacji stacji filtrów parametry te są zmienne w czasie i dodatkowo w dużej mierze zależą od temperatury [6].

Uogólniony model Arboledy

J. Arboleda i inni [3] zaproponowali obliczanie współpracy zespołu n filtrów VDRF w oparciu o następujący układ równań:

$$h = (K_i/a)q_i + K_e q_i^2 \quad (1)$$

$$K_i = K_o(1 + \alpha V_i)(1 + \beta V_i)^{bV_i} \quad (2)$$

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i + Adh/dt \quad (3)$$

gdzie:

- a – powierzchnia jednego filtru,
- A – powierzchnia wszystkich pracujących filtrów,
- b – współczynnik empiryczny,
- h – całkowita, zmienna w czasie, strata wysokości ciśnienia na filtrze,
- K_e – współczynnik oporów turbulentnych na drenażu i kryzie,
- K_i – współczynnik strat liniowych wysokości ciśnienia w złożu filtracyjnym, uzależniony od wartości początkowej (K_o) oraz od objętości przefiltrowanej wody (V_i),
- Q – natężenie dopływu wody surowej do wszystkich filtrów,
- q_i – natężenie przepływu wody przez i -ty filtr,
- t – czas,
- V_i – objętość przefiltrowanej wody przez i -ty filtr,
- i – wskaźnik oznaczający i -ty filtr ($i=1, \dots, n$),
- n – liczba filtrów,
- α, β – współczynniki empiryczne.

Metodę częściowego rozwiązania analitycznego układu powyższych równań w postaci q_i, V_i, K_i, h przedstawiono w pracy [4], wskazując równocześnie na konieczność uzupełnienia tego układu o następujące równanie:

$$q_i = dV_i/dt \quad (4)$$

Próbę zaadaptowania tego modelu dla zmiennej w czasie jakości wody surowej przedstawiono w pracy [7], w której rozważono przypadek skokowej zmiany mętności wody surowej przy ustalonej temperaturze. W tym celu równanie (2) zmodyfikowano do następującej postaci:

$$K_i = K_o[1 + \alpha V_i^* + \alpha^*(V_i - V_i^*)](1 + \beta V_i)^{bV_i} \quad (5)$$

gdzie:

- α – współczynnik empiryczny z równania (2), odpowiadający początkowej mętności wody surowej,

α^* – nowa wartość współczynnika α po zmianie mętności wody,

V_i^* – objętość przefiltrowanej wody przez i -ty filtr do momentu zmiany współczynnika α ,

V_i – objętość wody przefiltrowanej przez i -tą jednostkę od chwili zakończenia płukania.

W celu rozwiązania układu równań (1), (2), (3) i (4) opracowano program komputerowy FILTR, pozwalający na wyznaczenie współpracy stacji filtrów VDRF. Pewną trudność w rozwiązaniu numerycznym stanowił brak znajomości na początku obliczeń warunków granicznych. W programie FILTR rozwiązanie rozpoczyna się od następujących warunków początkowych:

$$V_i = 0 \quad (6)$$

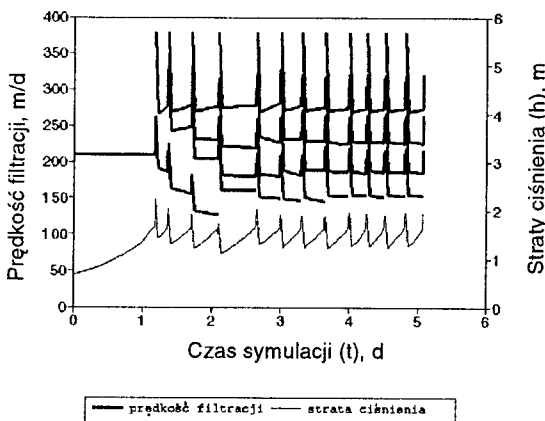
$$q_i = Q/n \quad (7)$$

które opisują bardzo szczególny przypadek eksploatacyjny, gdy wszystkie filtry są tuż po płukaniu. Przypadki takie nie występują w praktyce inżynierskiej, za wyjątkiem warunków występujących tuż po oddaniu nowej stacji filtrów do użytku. Niemniej warunki początkowe (6) i (7) pozwalają rozpocząć obliczenia, w których płukanie kolejnego filtra ma miejsce, gdy tylko zwierciadło wody nad nim osiągnie założoną wartość. Po kilkunastu cyklach filtracyjnych obliczenia prowadzą do regularnych w czasie płukań i okresowo powtarzalnych zmian w czasie zarówno wysokości położenia zwierciadła wody, jak i wartości natężenia przepływu przez poszczególne filtry. W ten sposób w trakcie obliczeń wyznaczane są nowe warunki graniczne, tym razem o praktycznym znaczeniu.

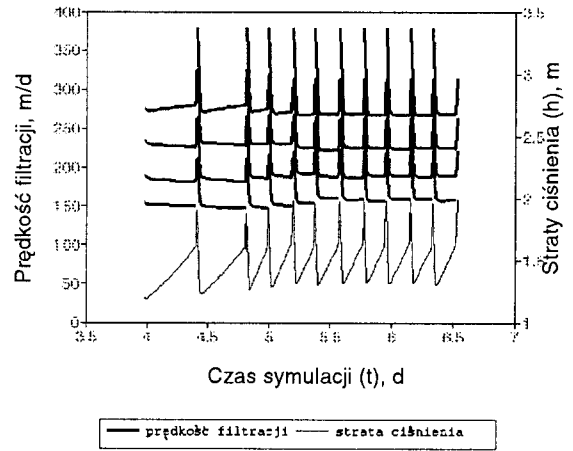
Po wielokrotnym symulowaniu numerycznym cykli filtracyjnych dla ustalonej w czasie jakości wody surowej wprowadzono po płukaniu kolejnego z filtrów nową wartość współczynnika α^* , który opisuje w równaniu (5) wpływ mętności wody surowej na współczynnik strat liniowych wysokości ciśnienia w złożu filtracyjnym. W ten sposób śledzono zachowanie się stacji filtrów w warunkach skokowej zmiany jakości wody.

Przykłady obliczeń

Wyniki symulacji przy pomocy programu FILTR dla danych zaczerpniętych z publikacji [3] potwierdziły całkowitą poprawność przyjętej metodyki rozwiązania analitycznego oraz metody numerycznej. Następnie przystąpiono do ekspe-



Fys. 1. Przykładowe wyniki symulacji dla danych ze stacji Medmenham przy skokowej zmianie mętności wody surowej (zależność $h=f(t)$ i $q=q(t)$, cykl 0+12)



Fys. 2. Przykładowe wyniki symulacji dla danych ze stacji Medmenham przy skokowej zmianie mętności wody surowej (zależność $h=f(t)$ i $q=q(t)$, cykl 8+18)

rymentów numerycznych, w których badano zachowanie się stacji filtrów VDRF w chwili wystąpienia gwałtownej zmiany mętności wody surowej, która może być spowodowana ulewnym deszczem. W przeprowadzonych obliczeniach wykorzystano dane empiryczne odnoszące się do stacji Medmenham w Wielkiej Brytanii. Według literatury [3] w okresie ustalonej jakości wody surowej były one następujące:

$$Q/A = 844 \text{ m/h,}$$

$$K_o = 0,00174 \text{ mH}_2\text{O s/m,}$$

$$K_e = 0,0000066 \text{ mH}_2\text{O s}^2/\text{m}^6,$$

$$\alpha = 0,00513 \text{ 1/m}^3,$$

$$\beta = -0,00513 \text{ 1/m}^3,$$

$$b = 0,00205 \text{ 1/m}^3.$$

Na rysunku 1 przedstawiono wyniki obliczeń dla przypadku skokowej zmiany, na początku cyklu nr 6, parametru $\alpha=0,00513 \text{ 1/m}^3$ na $\alpha^*=0,009 \text{ 1/m}^3$, natomiast rysunek 2 obrazuje przypadek zmiany (na początku cyklu 10) współczynnika $\alpha=0,00513 \text{ 1/m}^3$ na $\alpha^*=0,02052 \text{ 1/m}^3$.

Podsumowanie

Podczas obliczeń przyjęto zasadę, że najbardziej zanieczyszczony filtr jest przeznaczony do płukania wówczas, gdy wysokość wahań zwierciadła wody osiągnie tę samą założoną wartość, niezależnie od mętności wody surowej. Wyniki symulacji numerycznej wskazują na możliwość utrzymania niezmiennych obciążań hydraulicznych złożów filtracyjnych, przy tej metodzie eksploatacji stacji, pomimo znacznych zmian długości cykli filtracyjnych.

LITERATURA

1. J.L. CLEASBY: Filter rate control without rate controllers, Journal AWWA, 1969, 61, 4, pp. 181-185.
2. J.L. CLEASBY, L. DI BERNARDO: Hydraulics considerations in declining-rate filtration, Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, 1980, EE6, pp. 1043-1055.
3. J. ARBOLEDA, R. GIRALDO, H. SNEL: Hydraulic behaviour of declining rate filtration, Journal AWWA, 1985, 77, 12, pp. 67-74.
4. W. DĄBROWSKI: Badania hydrauliki stacji filtrów o zmiennej wydajności, monografia nr 170, Politechnika Krakowska, 1994, s. 176.

-
5. L. Di BERNARDO: Designing declining-rate filters, *Filtration & Separation*, 1987, pp. 338–341.
 6. W. DĄBROWSKI, R.I. MACKIE: Influence of temperature on the performance of VDR filters, *Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics*, 1994, 41, 3–4, pp. 37–51
 7. J. MARZEC: Teoretyczne badania nad zachowaniem się filtrów VDRF w przypadku zmiennej jakości wody surowej. Praca magisterska, Politechnika Krakowska, Kraków 1993 (praca nie publikowana).
 8. W. DĄBROWSKI, J. DZIOPAK: Sposób regulacji wydajności filtrów pospiesznych (VDRF). *Ochrona Środowiska*, 1991, nr 2(43), s. 55.
-

Operation of a VDR Filter Plant under Variable Raw Water Turbidity

Based on a former mathematical model of Variable Declining Rate Filters by Arboleda et. al., a numerical program was developed for investigating the filter plant behaviour during episodes of variable raw water turbidity. As shown by numerical experiments, there is a plant operation technique, in which the

frequency of backwash can be determined by identical water table fluctuations above the filters. Irrespective of the variable raw water turbidity and visibly different filter run lengths, the rates of flow through the filters remain essentially the same.