

Zbigniew Hrynkiewicz

PLUKANIE WODOCIĄGOWYCH FILTRÓW POŚPIESZNYCH

Streszczenie

Zasygnalizowano nie w pełni jeszcze rozwiązane problemy związane z płukaniem filtrów pośpiesznych. Umotywowano i wskazano kierunek prowadzenia badań naukowych w celu kompleksowego rozwiązania zagadnienia regeneracji złóż filtracyjnych.

Zusammenfassung

Der Verlauf der Filterspülung, trotz vielen Untersuchungen, enthält noch einige nicht voll gelöste Probleme. Es wurde die Richtung weiterer Untersuchungen gezeigt, um die Regenerierung des Filterbettes umfassend zu lösen.

Proces płukania jako sposób odnowy złóż filtracyjnych polegający na usunięciu z filtru materii, która zgromadziła się podczas filtracji jest bardzo ważną i złożoną czynnością wykonywaną w celu właściwej eksploatacji filtrów a tym samym całego układu technologicznego uzdatniania wody. Właściwie zaprojektowany i prowadzony proces płukania złóż filtracyjnych podnosi jakość produkowanej wody oraz ma nie mały wpływ na ekonomikę układu technologicznego. Na proces ten zużywa się znaczne ilości filtratu, a instalacje i urządzenia stosowane w zależności od przyjętej metody płukania filtrów są bardziej lub mniej złożone i kosztowne.

Na wstępie należałoby spróbować zrobić obiektywny przegląd dotychczasowych osiągnięć w tym temacie. Na potrzebę badań w tym zakresie zwrócił uwagę S. T. Kołaczkowski, który prowadził pierwsze w Polsce badania na temat płukania filtrów [9]. Dalsze prace prowadził A. L. Kowal i M. Sozański [11] oraz H. Labijak [12, 13].

Z problemów, które należałoby poddać badaniom należy wymienić:

- wybór sposobu płukania określonych złóż filtracyjnych;
- określenie wpływu wybranych parametrów na efekty płukania (czas płukania, intensywność płukania itp.)

— dobór systemu doprowadzającego i odprowadzającego wodę do płukania.

Nie dysponujemy obecnie jednoznacznie określonymi modelami pozwalającymi obliczyć parametry regeneracji złożeń filtracyjnych i uwzględniającymi wszystkie w/w czynniki. Praca ta jest próbą wykazania wpływu tych czynników na efektywność procesu filtracji wody i jego ekonomii oraz wskazania kierunku prac badawczych podjętych w tym temacie w WSInż. w Zielonej Górze.

Proces płukania filtrów może być prowadzony różnymi sposobami. Ze względu na użyty czynnik, filtry mogą być płukane samą wodą, mieszaniną wody i powietrza [15] lub na zmianę wodą i powietrzem. Najczęściej stosowanym sposobem płukania filtrów jest płukanie samą wodą. Sposób ten jak dotychczas jest najlepiej poznany praktycznie i teoretycznie. Najwięcej zależności wyprowadzono w celu wyznaczenia intensywności płukania, głównego procesu regeneracji złożeń filtrów pośpiesznych. Obliczenie natężenia płukania najczęściej przeprowadza się przyjmując za podstawę dopuszczalną wysokość spulchnienia złoża (ekspansja złoża) w oparciu o analizę sitową piasku. Różnorodność form przedstawianych przez poszczególnych autorów wzorów i formuł empirycznych spotykanych w literaturze, prowadzi do rozbieżnych wyników wskazując na dużą złożoność procesu płukania filtrów pośpiesznych. Szczegółową i krytyczną analizę porównawczą najczęściej spotykanych wzorów przeprowadził S. T. Kołaczkowski i H. Labijak [7, 13]. Przeanalizowano teoretycznie i sprawdzono doświadczalnie wzory m.in. G. M. Faira, I. Ch. Geyera, D. A. Okuna, D. M. Minca, S. A. Szuberta oraz badań S. T. Kołaczkowskiego i H. Tetzlawa [9] oraz przyjęte przez autorów tych wzorów założenia i zakresy ich stosowalności. Stwierdzono, iż kryterium stosowalności poszczególnych wzorów powinna być liczba Reynoldsa.

Analiza porównawcza zależności intensywności płukania od ekspansji złoża przy większych wartościach liczb Reynoldsa wykazała, że różnice między otrzymanymi wynikami dochodzą do 300% i jest to konsekwencją prowadzenia badań w różnych warunkach, przyjmowania różnych modeli opisujących zjawiska występujące w czasie płukania złożeń filtracyjnych oraz z powodu braku ścisłego modelu matematycznego opisującego stan fluidyzacji. Praktycznie najczęściej, przy projektowaniu procesu płukania filtrów znajduje zastosowanie wzór D. M. Minca i S. A. Szuberta [10, 18] wyrażony w postaci:

$$\alpha = 102,67 \frac{d^{1,31}}{\eta^{0,54}} \cdot F(e, m) : \left[\frac{dm^3}{s \cdot m^2} \right]$$

oraz zależność między ekspansją złoża e i porowatością m w postaci:

$$F(e, m) = \frac{(e + m_0)^{2,31}}{(e + 1)^{1,77} \cdot (1 - m_0)^{0,54}}$$

gdzie:

- q — intensywność płukania, $\left[\frac{\text{dm}^3}{\text{s} \cdot \text{m}^2} \right]$
 d — średnica równoważna, [cm]
 η — dynamiczny współczynnik lepkości, $\left[\frac{\text{g}}{\text{cm} \cdot \text{as}} \right]$
 m — porowatość
 m_0 — porowatość początkowa

Wg autorów tego wzoru jest on słuszny tylko dla liczb Reynoldsa w zakresie $R_e = 0,9 \div 35,5$.

Bezkrytyczne stosowanie tego wzoru, jako że nie uwzględnia on w swej postaci wszystkich czynników mających niejednokrotnie istotny wpływ na efektywność płukania filtrów i został wyprowadzony przy określonych założeniach ($m_0 = 40\%$) prowadzi w praktyce do występowania dużych trudności w eksploatacji filtrów. Ponadto głównym parametrem tego wzoru jest ekspansja złoża. Na podstawie licznych badań [1, 6, 7, 9, 12] należy stwierdzić, że ekspansja złoża, nie może być jedynym kryterium oceny efektywności płukania złożów filtracyjnych a zwłaszcza przy płukaniu z użyciem sprężonego powietrza. W filtrach zamkniętych natomiast jej kontrola jest ograniczona. D. M. Minc i S. A. Szubert [14] wykazali, że najczęściej przyjmowana do projektowania wartość ekspansji piasku równa 50% jako wskaźnik najefektywniejszego płukania filtrów, nie znajduje zastosowania przy płukaniu złożów o większym uziarnieniu oraz, że wielkość najefektywniejszej ekspansji zależy również od rodzaju wypłukiwanych osadów.

I. R. Baylis [3] płuczając złożo piaskowe o uziarnieniu $d_{\max} = 2 \cdot 10^{-3} \text{m}$ uzyskał najefektywniejsze płukanie przy ekspansji złoża w granicach (20÷25%).

R. L. Johnson i I. L. Cleasby [6] wypłukując osad wytrącony przy zmękczeniu wody zakumulowany w złożu piaskowym o $d_{10} = 0,65 \cdot 10^{-3} \text{m}$ uzyskali najlepszy efekt płukania przy (16÷18%) ekspansji. A. Amirtharajah [1] wypłukiwał osady żelaziste ze złoża niejednorodnego o wymiarze ziaren $d_{10} = 0,455 \cdot 10^{-3} \text{m}$ oraz ze złoża jednorodnego o podobnym uziarnieniu. Najlepsze efekty płukania uzyskiwał przy 100% ekspansji złoża niejednorodnego. Należy tu zwrócić uwagę, że uzyskanie takich parametrów w praktyce jest nieekonomiczne i trudne ze względów technicznych. Ponadto należy stwierdzić, że w prowadzonych badaniach do określenia efektywnych parametrów płukania dokonywano pomiaru róż-

nych wielkości fizycznych. Badanie efektywności wypłukiwania osadów poprzez np. analizę mętności wody popłucznej, jako wymiar pośredni może prowadzić do niemiarodajnych wyników. Zmniejszenie intensywności płukania może doprowadzić do scementowania się złoża. Oczyszczane są wówczas tylko fragmenty wypełnienia filtru i popłuczyny szybko osiągną dopuszczalną mętność, mimo, że całe złoże nie jest wystarczająco wypłukane.

Bardziej miarodajne wyniki otrzyma się mierząc wielkości bezpośrednio związane z jakością wypłukania złoża jak np. wagowa analiza pozostałych po płukaniu zanieczyszczeń bądź przy powtarzalności cyklu filtracyjnego określenie wydajności filtru. Stopień oczyszczenia złoża filtrów można określić w sposób najwłaściwszy na podstawie pomiaru oporu płukania filtrów przy optymalnej intensywności i optymalnym czasie płukania. Jako skalę porównawczą można stosować opór wyznaczony na nowym złożu.

Bardzo istotny wpływ na dobór optymalnych parametrów płukania filtrów ma rodzaj wypłukiwanych osadów. Różnorodność ujmowanych wód, zmiany ich parametrów w ciągu roku oraz różne technologie uzdatniania tych wód powodują, że w praktyce złoża filtracyjne zakolmatowywane są osadami o różnych właściwościach fizyczno-chemicznych. Do czynników fizyko-chemicznych można zaliczyć m. in. wzajemne oddziaływanie między cząsteczkami zawiesin i powierzchnią ziaren, ściślność, lepkość. Wielkość sił wiązania pomiędzy cząstkami zatrzymanej materii a ziarnami złoża filtracyjnego mogą być dobrym parametrem do obliczenia efektywnej prędkości płukania lub wyboru odpowiedniego sposobu płukania. Osady zatrzymane w złożu filtracyjnym jedynie dzięki zjawiskom fizycznym będą dobrze wypłukiwane za pomocą samej wody (np. osady powstające przy odżelazianiu wody), natomiast jeżeli osady zatrzymane w złożu (np. osady powstałe w procesie zmiękczenia wody) będą tam utrzymywane dzięki chemicznym siłom wiążącym (stosunkowo dużym), wówczas płukanie samą wodą może być niewystarczające. Dla otrzymania dobrych efektów trzeba wówczas stosować inne techniki płukania (np. z użyciem sprężonego powietrza). Mimo wielu prowadzonych prac badawczych [2, 4, 14] nt. wypłukiwania różnych osadów, nie można sformułować jednoznacznie odpowiedzi na pytanie: jak efektywnie płukać filtry zakolmatowane różną materią oraz jakie wielkości fizyczne bądź chemiczne zatrzymywanych osadów przyjąć jako parametry do obliczenia efektywnej intensywności płukania złożeń filtrów pospiesznych? Należy się również zastanowić nad wpływem technologii samego procesu filtracji na efekty płukania.

Tezę, iż skuteczność płukania zależy nie tylko od spulchnienia złoża lecz również od jego stanu „burzliwości”, naprężeń jakie występują mię-

dzy jego ziarnami, wielkości sił hydrodynamicznych występujących w strumieniu wody płuczącej, charakterystyki materiału filtracyjnego oraz warunków flokulacji w złożu udowodniła H. Labijak [12].

Badano dwa rodzaje materiału filtracyjnego: piasek kwarcowy o gęstości $\delta_z = 2,65 \cdot 10^{-3} \text{kg/m}^3$, o współczynniku kształtu ziaren $\alpha = 1,17$ oraz węgiel antracytowy o gęstości $\delta_z = 1,65 \cdot 10^{-3} \text{kg/m}^3$ i o współczynniku kształtu ziaren $\alpha = 1,50$ o różnych zakresach uziarnienia. W celu osiągnięcia możliwie wysokiego stopnia uogólnienia otrzymanych wyników do opracowania wyników doświadczeń użyto parametrów bezwymiarowych. Spośród wielu wyznaczonych w tej pracy efektywnych parametrów płukania chcę zwrócić uwagę na część badań poświęconych pomiarowi intensywności zderzeń ziaren złoża N i moc strumienia płuczącego P .

Wartości N i P obliczono ze wzoru S. Kawamura [wg 12]:

$$P = V_p \cdot g (\delta_z - \delta) \cdot (1 - m)$$

$$\text{oraz } N = K(1 - m)^{5/2} \cdot V_p^{1/2}$$

gdzie:

V_p — prędkość płukania (intensywność płukania), $\left[\frac{\text{dm}^3}{\text{s} \cdot \text{m}^2} \right]$

g — przyspieszenie ziemskie, $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$

δ_z — gęstość materiału filtracyjnego $\left[\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right]$

δ — gęstość wody, $\left[\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right]$

m — porowatość złoża fluidalnego

Stała K charakteryzująca dany układ jest określana zależnością:

$$K = \frac{12}{\alpha^2 \pi^2 d^3} \cdot \sqrt{\frac{(\rho_z - \rho)g}{\eta}}$$

gdzie:

δ — dynamiczny współczynnik lepkości $\left[\frac{\text{g}}{\text{cm} \cdot \text{as}} \right]$

α — współczynnik kształtu ziaren

d — wielkość ziaren złoża filtracyjnego, [cm]

Zmiany porowatości złoża w czasie płukania przyjęto zgodnie ze wzorem G. M. Faira:

$$m = \left(\frac{V_p}{V_s} \right)^{0,22}$$

który nie jest słuszny w całym zakresie liczby Reynoldsa i dla wszystkich materiałów filtracyjnych.

Analiza zmian wprowadzonych bezwymiarowych zależności

$$\frac{N}{N_{\max}} + \frac{P}{P_{\max}} = f\left(\frac{V_p}{V_s}\right) \text{ oraz } \frac{N}{N_{\max}} \cdot \frac{P}{P_{\max}} = f\left(\frac{V_p}{V_s}\right)$$

gdzie N_{\max} i P_{\max} są odpowiednio maksymalnymi wartościami intensywności zderzeń i mocy strumienia pozwoliła określić optymalną prędkość płukania. Proponuje się przyjmować do projektowania procesu płukania filtrów pośpiesznych następujące wartości parametrów,

$$\frac{V_p}{V_s} = 0,17 \text{ dla złóż piaskowych}$$

$$\frac{V_p}{V_s} = 0,13 \text{ dla złóż antracytowych}$$

Interesującym może się okazać uzależnienie podanych parametrów od cech charakterystycznych wypłukiwanych osadów. Ciekawą sprawą jest powrót do czyszczenia złóż filtrów pośpiesznych przy użyciu sprężonego powietrza i małej ilości wody. Okazuje się bowiem, że płukanie samą wodą nie zawsze jest w stanie utrzymać czystość złoża. Podawana w polskiej literaturze [10] skuteczna intensywność płukania powietrzem — (1,0 ÷ 1,5 m³/m² · min.), może być zbyt duża i powodować destabilizację złoża oraz zużycie dodatkowej ilości wody na właściwe ułożenie warstw w złożu. Przyjmując natomiast mniejsze intensywności przepływu powietrza rzędu (5,5 ÷ 8,5 dm³) (s · m²) można, jak wykazały badania [17] uzyskać dobry efekt płukania tylko górnej warstwy złoża. Toteż niektórzy eksploataccy widzieli większe korzyści w dodatkowym płukaniu powierzchniowym i prognozują jego ponowne wprowadzenie w nowych rozwiązaniach.

Płukanie przy pomocy powietrza może odbywać się wg kilku technik. W USA najbardziej rozpowszechniła się metoda polegająca na wstępnym płukaniu samym powietrzem (wzruszenie złoża) i dalszym płukaniu samą wodą z różnymi ekspansjami. Dobre efekty uzyskano stosując właśnie tę metodę do płukania złóż wielowarstwowych [5] oraz trudnych do usunięcia osadów powstałych przy oczyszczaniu wód przemysłowych [wg 12]. Powietrze może być również podawane łącznie z wodą. Zastosowanie odpowiedniej metody zależy od wielu czynników m. in. od rodzaju wypłukiwanych osadów oraz rodzaju złoża filtracyjnego. W świetle badań J. L. Cleasby i J. C. Lorenc'a [4], w których płukano piasko-

we złożu gruboziarniste o wymiarze czynnym $d_{10} = (2,0 \div 2,5) \cdot 10^{-3} \text{m}$ oraz złożu wielowarstwowe złożone z węgla, piasku i granatu, do oczyszczania ścieków, należy stwierdzić, że najbardziej efektywną metodą płukania grubych piasków filtracyjnych jest płukanie wodą bez fluidyzacji, ale ze wstępnie doprowadzonym powietrzem. Do oczyszczania złożów wielowarstwowych dobrą okazała się metoda polegająca na wstępnym doprowadzeniu powietrza, po którym płukano złożę wodą z fluidyzacją oraz płukanie powierzchniowe przed lub w czasie płukania wodą z fluidyzacją. Największe wymieszanie warstw złoża występowało przy jednoczesnym płukaniu wodą i powietrzem.

Porównanie dwóch sposobów płukania, tylko wodą i przy użyciu mieszaniny wodno-powietrznej uzyskanej w strumienicy wg patentu E. Młotkowskiego [15] przeprowadzili S. T. Kołaczkowski i H. Labijak [8]. Przeprowadzono analizę porównującą technologiczne i ekonomiczne aspekty płukań tymi sposobami. Do oceny efektów płukania zastosowano niezbyt trafnie kryterium całkowitych strat ciśnienia w złożu na początku cyklu filtracyjnego. Wielkość tych strat zależy bowiem nie tylko od stopnia wypłukania złoża, ale również, jak wykazały badania, były wynikiem zmian geometrycznej struktury złoża. Wartość otrzymanych wyników umniejsza fakt, że proces kolmatacji złożów nie był prowadzony w sposób ciągły. Nie przeszkodziło to jednak w sformułowaniu ciekawych wniosków. Stwierdzono intensywne czyszczenie ziaren złoża podczas płukania mieszaniną wodno-powietrzną. Nie zawsze jest to wskazane ze względów technologicznych z uwagi na ewentualne niszczenie wszystkich aktywnych chemicznie związków żelaza i manganianu. Płukanie mieszaniną wodno-powietrzną może być stosowane dla wysokich jednorodnych złożów filtracyjnych i dla większych wymiarów „ziaren” osadów zatrzymanych w złożu.

W celu kompleksowego rozwiązania zagadnienia płukanie filtrów należałoby przeprowadzić oddzielne badania w zakresie stosowanych rozwiązań układów rozdzielających i zbierających wodę popłuczną. Drenaż filtrów pośpiesznych powinien zapewnić 95% równomierności rozdziału wody. W praktyce często nie zachowuje się tego warunku co w konsekwencji doprowadza do niewymywania fragmentów złoża filtracyjnego. Zaleganie przez dłuższy czas osadów powstałych przy filtrowaniu wód powierzchniowych może powodować ich zagniwanie. Nowością w systemie odprowadzającym wody popłuczne jest polski patent [16], w którym zaproponowano odbieranie wiszących i nierozbitych w czasie płukania kłaczkowatych osadów za pomocą ruchomych urządzeń.

Przytoczone próby rozwiązania kompleksu zagadnień związanych z regeneracją złożów filtracyjnych świadczą o dużej złożoności poruszonego problemu. W celu dokładniejszego rozwiązania tego zagadnienia, koniecz-

na jest intensyfikacja prac badawczych w tym kierunku oraz szersze ich propagowanie.

Powyższe rozważania nie wyczerpują tematu a rozwiązania poruszanych problemów mogą i mają dać doświadczenia.

LITERATURA

- [1] Amirtharajach A. — *Optimum Backwashing of Sand Filters*. Proceeding of the ASCE, Journal of the Environmental Engineering Division, EE5, Oct. 1978, s. 917—932.
- [2] Balachowska J., Lewandowska M. — *Badania zanieczyszczenia złóż filtracyjnych*. Materiały konferencyjne na VIII Krajową Konferencję Nauk.-Techn. nt. *Zagadnienia zaopatrzenia w wodę miast i wsi*, Poznań, 1982.
- [3] Baylis I. R. — *Nature and Effects of Filter Backwashing* I.A.W.W.A., Jan. 1959, s. 126—156.
- [4] Cleasby J. L.; Lorence I. C. — *Effectiveness of Backwashing for Wastewater Filters*. Proc. ASCE, Journal of the Environmental Engineering Division, EE4, Aug. 1978, s. 749—765.
- [5] Cleasby I. L., Woods C. F. — *Intermixing of Dual Media and Multi-Media Granular Filters*. I.A.W.W.A., Apr. 1975, s. 197—203.
- [6] Johnson R. L., Cleasby I. L. — *Effect of Backwash on Filter Effluent Quality*. Proc. ASCE. Journal of the Sanit. Eng. Div., SA1, Feb. 1966, s. 215—228.
- [7] Kołaczkowski S. T., Labijak H. — *Intensywność płukania filtrów*. GWTS, N°3, 1979, s. 70—73.
- [8] Kołaczkowski S. T., Labijak H. — *Porównanie dwóch sposobów płukania filtrów wodociągowych*. Zeszyty Naukowe nr 51, WSI w Zielonej Górze, 1978.
- [9] Kołaczkowski S. T., Tetzlaw H. — *Parametry płukania*. Materiały z Konferencji Naukowo-Technicznej pt. *Zagadnienia zaopatrzenia w wodę miast i wsi*, NOT-PZITS, Poznań, 1971.
- [10] Kowal A. L. — *Technologia wody*. Arkady, Warszawa, 1977.
- [11] Kowal A. L., Sozański M. — *Podstawy doświadczalne systemów oczyszczania wód*. Politechnika Wrocławska, Wrocław, 1977.
- [12] Labijak H. — *Ocena efektywności płukania złóż filtracyjnych*. Rozprawa doktorska. Poznań, 1982.
- [13] Labijak H. — *Analiza procesu płukania filtrów pośpiesznych*. GWTS, N°9, 1976, s. 264—268.
- [14] Minc D. M., Subert S. A. — *Gidravlika zernistych materialov*. Izd. Min. Kom. Choz. R.S.F.S.R., Moskva, 1955.
- [15] Młotkowski E. — *Nowy sposób płukania filtrów*. Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Sanitarnej i Wodnej Politechniki Wrocławskiej, Nr 13, Seria: Monografie Nr 2, Wrocław, 1971.
- [16] Patent nr 90815, z 26.III.1974 na wynalazek: *Urządzenie do doprowadzania wody popłucznej z filtru*. Właściciel: Politechnika Poznańska. Autor: prof. dr St. T. Kołaczkowski.
- [17] Short C. S. — *Backwashing Rapid Gravity Filters*. British Water Supply, N°1, 1974, s. 24—27.
- [18] *Wodociągi i Kanalizacja*. Poradnik. Arkady. Warszawa, 1971.