

Rudolf Milerski

OCZYSZCZANIE WODY NA FILTRACH ZE ZŁOŻEM PŁYWAJĄCYM

Proces filtracji w złożu pływającym, tj. wykonanym z materiału o gęstości mniejszej od wody, doczekał się w ostatnich latach kilku opracowań. Zaproponowano nawet kilka układów technologicznych z zastosowaniem filtrów ze złożem pływającym, pełniących rolę podstawowych urządzeń w procesie oczyszczania wody.

Do podstawowych cech odróżniających filtrację w złożu pływającym od tzw. filtracji klasycznej, zaliczyć można:

- gęstość materiału filtracyjnego mniejszą od $1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- kierunek filtracji wody od dołu ku górze
- płukanie złoża w kierunku z góry ku dołowi.

Klasycznym materiałem filtracyjnym stosowanym w omawianym procesie jest spieniony polistyren, o gęstości w granicach $20\text{--}60 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Materiał ten jest produkowany w CSRS, lecz nie jest przeznaczony do oczyszczania wody. Częstki produkowanego polistyrenu mają kształt kulisty, o bardzo zróżnicowanej średnicy. Stąd też przed zastosowaniem do procesu filtracji, musi być on rozfrakcjonowany, w celu uzyskania pożądanych średnic. Rozfrakcjonowanie materiału może być wykonane za pomocą wody lub powietrza. Z punktu widzenia wytrzymałości mechanicznej i chemicznej oraz przepisów sanitarnych, spieniony polistyren ma wszystkie cechy dobrego materiału filtracyjnego.

Filtracja wody w kierunku z dołu ku górze, ma z punktu widzenia konstrukcji urządzeń do oczyszczania wody wiele zalet. Najistotniejszą z nich jest możliwość łączenia kilku stopni separacji zawieszin jeden nad drugim, np. umieszczenie filtrów bezpośrednio nad osadnikami lub klarownikami. Dodatkową zaletą tej metody filtracji jest mniejsze obciążenie pierwszej warstwy filtracyjnej zawiesinami, gdyż duże i ciężkie cząstki sedimentują już pod filtrem i nie docierają do złoża filtracyjnego. Wadą tego sposobu jest natomiast nieco mniejsza pojemność złoża filtracyjnego na zanieczyszczenia.

Płukanie złoża filtracyjnego wodą w kierunku z góry ku dołowi umożliwia bardzo efektywne usuwanie zatrzymanych w nim zawieszin, gdyż zawiesziny te przemieszczają się podczas płukania w kierunku przepływu wody zgodnym z kierunkiem działania siły grawitacji. W celu

wyznaczenia wartości ciśnienia potrzebnego do osiągnięcia wymaganej ekspansji złoża podczas płukania, można wykorzystać następującą zależność:

$$\Delta h = \frac{\rho_z - \rho}{\rho} \cdot l (1 - m) \quad (1)$$

w której:

- Δh — strata ciśnienia (m)
- l — wysokość warstwy złoża w ekspansji (m)
- ρ — gęstość wody ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
- ρ_z — gęstość materiału złoża ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
- m — porowatość złoża w ekspansji (—).

Parametry krzywej ekspansji można obliczyć ze wzoru:

$$V_p = V_o \cdot m^z \quad (2)$$

w którym:

- V_p — prędkość przepływu wody przez złożo podczas płukania ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$),
- V_o — prędkość unoszenia cząstek złoża w wodzie ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$),
- z — stała, której wartość mieści się w granicach $2,39\text{--}4,65$ (niższa wartość odpowiada przepływowi turbulentnemu).

Hydraulika procesu filtracji w złożu pływającym

Przepływ wody przez warstwę złoża pływającego może być scharakteryzowany analogicznie jak w przypadku klasycznego złoża piaskowego, tzn. poprzez współczynnik oporu:

$$\varphi = \frac{g \cdot \Delta h \cdot m^3}{a \cdot H \cdot V^2} \quad (3)$$

a także przez liczbę Reynoldsa:

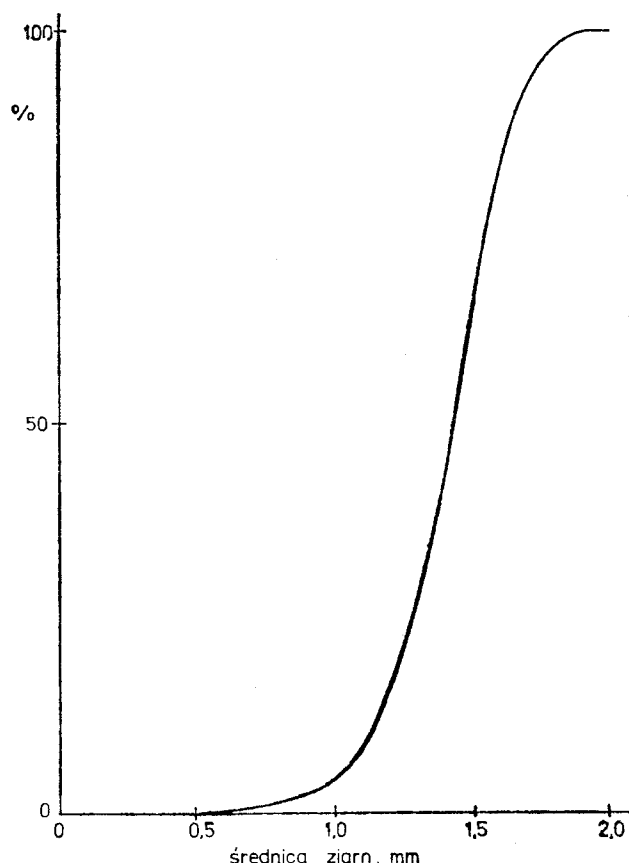
$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot V}{\mu \cdot a} \quad (4)$$

gdzie:

- H — wysokość złoża filtracyjnego (m),
- g — przyspieszenie ziemskie ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$),
- V — prędkość filtracji ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$),
- μ — współczynnik lepkości dynamicznej wody ($\text{Pa} \cdot \text{s}$),
- a — powierzchnia ziarn materiału filtracyjnego w jednostce objętości (m^{-1}); dla cząstek kulistych $a = 6(1 - m)/d$,
- d — średnica cząstki materiału filtracyjnego (m).

Ponieważ w przypadku złoża polistyrenowego znaczna większość cząstek ma kształt kulisty,

32



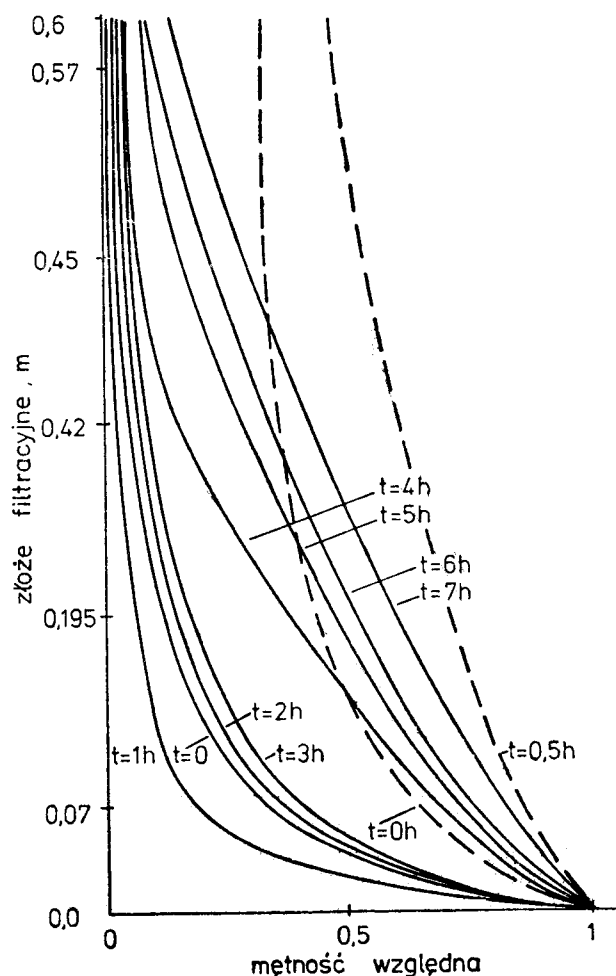
Rys. 2 Krzywa przesiewu granulek polistyrenu

rowatość złoża polistyrenowego wynosiła $m = 0,41$. Podczas pomiarów dokonywanych na pierwszym układzie badawczym stwierdzono, że znaczna część osadu sedymentowała w przestrzeni pod warstwą złoża, na skutek tworzenia się dużych cząstek osadu pokoagulacyjnego. Ta część osadu była odprowadzana z filtru razem z popłuczynami.

Badania przeprowadzone na obu układach wykazały, że filtr ze złożem pływającym może pracować efektywnie i zadowalająco długo wyłącznie przy prędkościach filtracji poniżej $11 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$. Przy prędkości $11 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$ i wyższych zaobserwowano szybką penetrację cząstek osadu przez całą warstwę złoża bez wykorzystania jego pojemności masowej. Zależności te obrazują odpowiednie krzywe na rysunkach 3 i 4.

Badania procesu płukania złoża filtracyjnego przeprowadzono przy różnych prędkościach przepływu wody płuczającej dla złoża, przez które filtrowano wcześniej wodę z różną prędkością. Do płukania stosowano wodę znajdującą się w przestrzeni nad złożem filtracyjnym. Ta ograniczona objętość wody płuczającej powinna zapewnić całkowite wypłukanie złoża filtracyjnego.

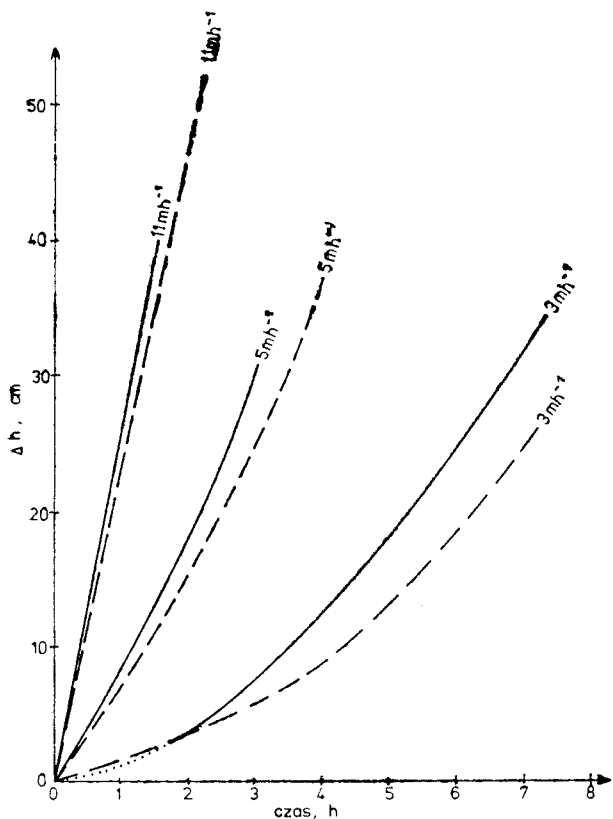
Z danych literaturowych dotyczących problematyki płukania złoża filtracyjnych wynika, że strata ciśnienia hydraulicznego wynikająca z 30% ekspansji złoża wynosi około 0,3 m. Wartość ta była osiągana w filtrze modelowym przy przepływie wody płuczającej z prędkością $30 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. Przy ekspansji złoża odpowiadającej tej prędkości, uzyskano całkowite wypłuka-



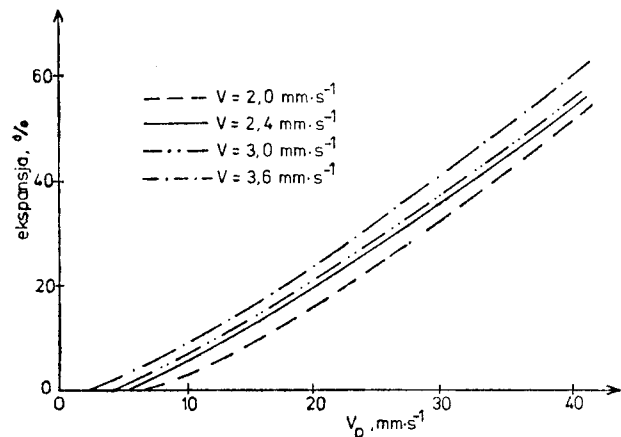
Rys. 3 Usuwanie mętności na poszczególnych głębokościach złoża filtracyjnego (linie ciągłe — prędkość filtracji $3 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$, dawka siarczanu glinowego $50 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$; linie przerywane — $13 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$, $100 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$)

nie osadu zatrzymanego w filtrze. Dla mniejszych wartości ekspansji dyspozycyjna objętość wody nad złożem nie wystarczała do właściwego wypłukania zawiesin ze złoża filtracyjnego. Ponadto wykazano, że dla tej samej prędkości płukania (tj. szybkości przepływu wody płuczającej przez złożo) uzyskuje się różne wartości ekspansji złoża, w zależności od prędkości filtracji wody podczas pracy filtru. Zależności te obrazują krzywe na rysunku 5. Wynika stąd, że wyższe prędkości filtracji powodują większy stopień upakowania złoża zawiesinami co sprawia, że na początku płukania złoża nie jest spełniona zależność opisana równaniem (2). Podczas płukania złoża silnie upakowanego i zbitego (tj. przez które wcześniej filtrowano wodę z większą prędkością) jego ekspansja nie rośnie w sposób ciągły, lecz złożo rozwarstwia się na duże bryły, które następnie ulegają dalszemu rozdrobnieniu. Uzyskana w ten sposób ekspansja złoża jest większa niż dla złoża mniej upakowanego i zbitego, tj. dla złoża przez które wcześniej filtrowano wodę z mniejszą prędkością.

Uzyskane zależności są wynikiem ciągłego obniżania się zwierciadła wody płuczającej w trakcie procesu płukania i związaną z tym wartościami



Rys. 4 Wpływ czasu i prędkości filtracji na przyrost strat ciśnienia filtracyjnego (linie ciągłe — dawka siarczanu glinowego $100 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$, linie przerywane — $50 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$)



Rys. 5 Ekspansja złoża filtracyjnego w funkcji prędkości przepływu wody płuczącej dla różnych prędkości filtracji

ciąg strat hydraulicznych. Rozpad złoża upakowanego i zbitego jest więc podczas płukania szybszy, niż ciągły przyrost ekspansji w przypadku złoża mniej zbitego. W tym drugim przypadku zwierciadło wody płuczącej opada znacznie niżej niż w pierwszym, co oznacza, że rośnie objętość wody potrzebnej do wypłuka-

nia zawieszin ze złoża. W krańcowym przypadku może się okazać, że dyspozycyjna objętość wody nad złożem nie wystarczy do wypłukania filtru.

Wnioski

Porównując rezultaty uzyskane w badaniach modelowych z danymi literaturowymi, można dokonać następujących uogólnień:

1. Filtry ze złożem o gęstości mniejszej od wody (tzw. złoża pływające) mogą znaleźć szersze zastosowanie w procesach oczyszczania wody, lecz dopracowania wymaga jeszcze sam materiał złoża. Polistyren stosowany w badaniach nie jest idealnym materiałem filtracyjnym, głównie z uwagi na zbyt małą gęstość, która powoduje konieczność stosowania dużych prędkości wody podczas płukania w celu uzyskania właściwej ekspansji złoża. Badane złożo było efektywne w usuwaniu zawieszin tylko przy prędkościach poniżej $7 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$, a optymalna prędkość filtracji wynosiła od $3,5$ do $5,0 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$.
2. Wydaje się, że idealny byłby materiał filtracyjny o gęstości około $750 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Taka wartość gęstości materiału filtracyjnego zapewniłaby bardzo dobre warunki płukania, poprzez obniżenie prędkości przepływu wody płuczącej przez warstwę złoża. Ponadto obciążenie sita utrzymującego złożo filtracyjne pod wodą uległoby znacznemu zmniejszeniu, co jest bardzo istotne ze względów konstrukcyjnych. Wzrost gęstości materiału filtracyjnego z wartości $20\text{--}60 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ do około $750 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ umożliwiłby zwiększenie optymalnej prędkości filtracji z $3,5\text{--}5,0 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$ do $10\text{--}15 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$.

3. Dopracowania wymagają jeszcze pewne rozwiązania konstrukcyjne filtrów ze złożem pływającym. Na podstawie obserwacji dokonanych podczas badań wydaje się celowe umieszczenie odbioru wody popłucznej w odległości $100\text{--}200 \text{ mm}$ pod strefą maksymalnej ekspansji złoża podczas płukania, lub też pod dopływem wody surowej, co zapewni usunięcie osadu sedymentującego w przestrzeni pod złożem filtracyjnym. Ten drugi układ uniemożliwia jednak blokowanie filtrów z klarownikami w systemie pionowym (filtr umieszczony bezpośrednio nad klarownikiem lub osadnikiem). Ponadto istnieje potrzeba podziału filtru na segmenty o powierzchni nie większej niż 1 m^2 . Jest to spowodowane koniecznością zapewnienia równomiernego rozdziału wody płuczącej, której objętość jest ściśle ograniczona.

4. Włączenie filtrów ze złożem pływającym do praktyki wodociągowej wymaga jeszcze wielu badań optymalizacyjnych.

parameters and rising parameters for buoyant beds are determined. The experiments have shown that polystyrene displays very low density, so it cannot be regarded as a good filter medium in engineering practice. The problem of buoyant beds calls for further study which should include densities of about 750 kg/m^3 .

R. Milerski

Water treatment on filter beds of a density lower than that of water (buoyant beds)

The treatment process involved filters with polystyrene beds (buoyant beds). The hydraulics, operation