dr inż. Krzysztof Bartoszewski
Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska
Politechniki Wrocławskiej

WPŁYW OSADÓW NA WYDAJNOŚĆ UJĘĆ INFILTRACYJNYCH

Infiltracja stosowana jest między innymi w celu wzbogacania ilości wód podziemnych. Udział objętości wód infiltracyjnych zależy od współczynnika filtracji k, spadku hydraulicznego zwierciadła wody, i powierzchni infiltracji. W czasie infiltracji następuje zmiana składu wody, na skutek procesów biochemicznych i fizyczno-chemicznych, zachodzących w gruncie. Następuje również zmniejszenie ilości wody infiltracyjnej ze względu na odkładanie się osadów na dnie stawów. Stopień zmniejszenia ilości wód infiltracyjnych zależy od grubości warstwy osadu, rodzaju i stopnia dyspersji cząstek i prędkości przepływu wody. Ilość wody filtrującej przez warstwę osadu zależy głównie od oporu właściwego tego osadu.
Określenie wpływu parametrów technologicznych, charakteryzujących osad, na prędkość filtracji wody jest tematem niniejszego referatu.

Wpływ osadów na infiltrację wody

Objętość wody, przepływającej w czasie przez jednostkę powierzchni osadu zależy od oporu właściwego. W pracy założono, że filtracja w stawach infiltracyjnych prowadzona jest pod stałym ciśnieniem tzn., że stała jest strata ciśnienia wody, pomiędzy zwierciadłem wody w stawie a zwierciadłem wody ujmowanej. Przy stałości ciśnienia równanie filtracji cieczy przez ośrodki porowate [1] tj. osad ma postać:

$$\frac{t}{v} = \frac{\mu\, r\, \varrho_1}{2pA^2} V + \frac{\mu\, r_m}{p\, A} \qquad (1)$$

w którym.
- t — ciśnienie filtracji, s^2/g
- V — lepkość filtratu, cP
- μ — objętość filtrującej wody, cm^3
- p — czas filtracji, s
- A — powierzchnia filtracji, cm^2
- ϱ_1 — stężenie ciał stałych osadu na jednostkę objętości filtratu, g/cm^3
- r — opór właściwy osadu, s^2/g
- r_m — opór właściwy przegrody filtracyjnej, s^2/g

W przypadku infiltracji w stawach, przegrodą filtracyjną dla osadu jest warstwa złoża piaskowego, dla którego r_m jest znacznie mniejsze od oporu właściwego osadu r.
Pomijając w równaniu (1), wpływ przegrody filtracyjnej na objętości filtratu, można napisać, że:

$$\frac{t}{v} = \frac{\mu\, r\, \varrho_1}{2pA^2} \cdot V \qquad (1a)$$

Wartość ϱ_1 można wyznaczyć z równania:

$$\varrho_1 = \frac{s\ m}{v} \qquad (2)$$

w którym:
- sm — sucha masa osadu, g
- V — objętość filtratu, cm^3

Sucha masa osadu obliczona może być ze wzoru: $sm = h_{os} \cdot A \cdot \gamma_{os} (1 - \omega_o)$ (3)

w którym:
- h_{os} wysokość (grubość) warstwy osadu, cm
- A — powierzchnia osadu, cm^2
- γ_{os} — gęstość osadu uwodnionego, g/cm^3
- ω_o — uwodnienie osadu, bezwymiarowe

Wstawiając równanie (3) i (2) do równania (1a) otrzymano:

$$V = \frac{2p \cdot A}{h_{os} \cdot \gamma_{os} (1 - \omega_o) \cdot \mu \cdot r} \cdot t \qquad (4)$$

w którym: oznaczenia jak w równaniach (1—3). Równanie (4) określa objętość filtrującej wody, przez osad w czasie t. Z równania tego wynika, że ze wzrostem grubości warstwy osadu (h_{os}), oporu właściwego (r), lub zmniejszeniem uwodnienia (ω_o) maleje objętość cieczy, filtrującej przez osad w danym czasie t.
Równanie (4) można przekształcić do postaci opisującej prędkość filtracji wody przez powierzchnię osadu.

$$v_f = \frac{V}{A \cdot t} = \frac{2p}{h_{os} \cdot \gamma_{os} (1 - \omega_o)\, \mu \cdot r} \qquad (5)$$

w którym:
- v_f — prędkość filtracji, cm^3/cm^2s
- — pozostałe oznaczenia jak w równaniach (1—3)

Opór właściwy osadu, nie jest z reguły wartością stałą i zmienia się wraz ze zmianą ciśnienia filtracji, wg równania empirycznego:

$$r = r_o \left(\frac{P_o}{P}\right)^s \qquad (6)$$

w którym:
- r i r_o — opór właściwy osadu, s^2/g, przy ciśnieniu p i p_o
- s — współczynnik ściśliwości.

Zgodnie z równaniem Darc'y, prędkość filtracji wody w gruncie wynosi:

$$v_f = k \cdot i \qquad (7)$$

gdzie:

k — współczynnik filtracji, cm/s

i — spadek hydrauliczny zwierciadła wody,

Dla filtracji wody przez warstwę osadu można napisać, że:

$$i = \frac{\Delta h}{h_{os}} \qquad (8)$$

w którym:

Δh — strata ciśnienia na warstwie osadu, cm

h_{os} — grubość warstwy osadu, cm

Ponieważ opór właściwy osadu, jak też współczynnik ściśliwości wyznacza się w badaniach standardowych [1], dla uproszczenia przy korzystaniu ze wzoru (5), można wartość r przy ciśnieniu filtracji p, wyrazić w wartości standardowej, przy uwzględnieniu równania (6). Wstawiając równanie (6) i (8) do równania (5) otrzymano.

$$v_f = 0{,}001728 \frac{\Delta h}{h_{os}} \frac{\left(\frac{P}{\Delta h \cdot 100 \cdot \gamma_w}\right)^s \gamma_w}{\gamma_{os}(1-\omega_o)\mu \cdot R} \qquad (5a)$$

w którym:

v_f — prędkość filtracji, m/d

Δh — strata ciśnienia na warstwie osadu, mH_2O

r — opór właściwy przy ciśnieniu standardowym, $P = 680/cm^2$ (66,6 hPa) i $r = R \cdot 10^6$, s^2/g

s — współczynnik ściśliwości,

h_{os} — grubość warstwy osadu, m

u — lepkość filtratu (wody), cP

ω_o — uwodnienie osadu, bezwymiarowe

γ_{os} i γ_w — gęstość osadu uwodnionego i gęstość filtratu, g/cm^3

Porządkując zmienne w równaniu (5a), wzór na prędkość filtracji cieczy, przez warstwę osadu ma postać:

$$V_f = 0{,}001728 \frac{\Delta h}{h_{os}}^{1-s} \frac{\left(\frac{P}{100\gamma_w}\right)^s \cdot \gamma_w}{\gamma_{os}(1-\omega_o)\cdot \mu \cdot R} \qquad (5b)$$

Wzór (5b) określa wpływ wszystkich podstawowych zmiennych niezależnych na prędkość filtracji wody przez warstwę osadu, a tym samym i na wydajność ujęć infiltracyjnych ze zgromadzonym na dnie osadem. Rozważmy, jak wpłynie osad na zmianę wydajności ujęcia infiltracyjnego. Założono, że warstwa piasku gliniastego o grubości 1 m na współczynnik filtracji $k_p = 5$ m/d. Przy założeniu, że strata ciśnienia przy przepływie wody przez złoże bez osadu wynosi 1 m H_2O z 1 m^2 powierzchni wydajność zgodnie z równaniem (7) wyniesie:

$$Q = v_f \cdot A = k \cdot i \cdot A = 5 \cdot \frac{1}{1} \cdot 1 = 5 \ m^3/d$$

Wyznaczmy wydajność ujęcia, jeżeli na złożu będzie 1 cm warstwa osadu o $\omega_o = 90{,}77\%$ i $r = 2 \cdot 10^6$ s^2/g przy $P = 680$ g/cm^2 oraz współczynniku ściśliwości $s = 0{,}721$

Z warunku ciągłości ruchu tj. natężenia przepływu wody przez warstwę osadu i warstwę złoża filtracyjnego są równe, zgodnie z równaniem (7) możemy napisać:

$$k_p \cdot i_p = k_{os} \cdot i_{os} \qquad (9)$$

Całkowita strata ciśnienia równa jest stracie ciśnienia na warstwie osadu i stracie ciśnienia na złożu, zgodnie z równaniem:

$$\Delta h_c = \Delta h_{os} + \Delta h_p \qquad (10)$$

Z równania (9) i (10) obliczono:

$$\Delta h_{os} = \frac{\Delta h_c}{1 + \frac{k_{os} \cdot h_p}{k_p \cdot h_{os}}} \qquad (11)$$

Z równania (5a) wynika, że

$$k_{os} = 0{,}001728 \frac{\left(\frac{P}{\Delta h_{os} \cdot 100 \cdot \gamma_w}\right)^s \cdot \gamma_w}{\gamma_{os}(1-\omega_o)\cdot \mu \cdot R} \qquad (12)$$

Podstawiając równanie (12) do równania (11) otrzymano równanie uwikłane, z którego można wyznaczyć wartości Δh_{os}. Równanie to ma postać:

$$\Delta h^s_{os} \cdot a \cdot c - \Delta h_{os} \cdot b \cdot h_p - \Delta h_{os}^{s+1} \cdot a \cdot k_p \ h_{os} = 0 \qquad (13)$$

w którym:

$$a = \gamma_{os}(1-\omega_o)\cdot \mu \cdot R$$

$$b = 0{,}001728 \left(\frac{P}{100 \cdot \gamma_w}\right)^s \cdot \gamma_w$$

$$c = \Delta h_c \cdot k_p \cdot h_{os}$$

Wstawiając dane i rozwiązując równanie (13), zakładając że z osadem strata ciśnienia jest taka sama, tj. $\Delta h_c = 1$ m, wyznaczono, że $\Delta h_{os} = 0{,}42$ m H_2O i $\Delta h_p = 1 - 0{,}42 = 0{,}58$ m H_2O

Obliczony z równania (5a) współczynnik filtracji dla osadu wynosi:

$$k_{os} = 0{,}001728 \frac{\left(\frac{P}{\Delta h_{os} \cdot 100 \cdot \gamma_w}\right)^s \cdot \gamma_w}{\gamma_{os}(1-\omega_o)\cdot \mu \cdot R}$$

$$k_{os} = 6{,}96 \cdot 10^{-2} \ m/d$$

a wydajność z 1 m^2 powierzchni

$$Q_{os} = k_{os} \ i_{os} A = 6{,}96 \cdot 10^{-2} \ m/d \frac{0{,}42}{00{,}1} \cdot 1 \ m^2 = 2.92$$

Zmniejszenie wydajności wyniesie zatem:

$$\frac{(5-2{,}92)m^3/d}{5 \ m^3/d} \cdot 100\% = 41{,}6\%$$

Wnioski

Wykazano, że osady wpływają na zmniejszenie wydajności ujęć wód infiltracyjnych. Na zmniejszenie wydajności istotny wpływ mają grubość warstwy osadu, opór właściwy osadu oraz uwodnienie i gęstość osadu uwodnionego. Dla każdego ujęcia poprzez standardową analizę technologiczną zgromadzonych osadów (opór właściwy, współczynnik ściśliwości, uwodnienie, grubość warstwy osadu) wyznaczyć można zmniejszenie wydajności. Przy 1 cm warstwie osadu, należy oczekiwać około 40% obniżenia wydajności filtracji.

LITERATURA

1. K. BARTOSZEWSKI, E. KEMPA, R. SZPADT: Systemy oczyszczania ścieków. Pol. Wrocław. 1981.