

Marek Roman
Halina Kloss-Trębacziewicz

BADANIA NAD EFEKTYWNOŚCIĄ FILTRÓW PIASKOWYCH I ANTRACYTOWO-PIASKOWYCH

Cel i metodyka badań

Celem badań było porównanie efektywności działania filtrów jednowarstwowych piaskowych i filtrów dwuwarstwowych antracytowo-piaskowych, które obejmowały jakość filtratu, przyrost strat ciśnienia i długość cyklu filtracyjnego [1]. Jako materiał filtracyjny dla złoża piaskowego w filtrze jednowarstwowym i dla warstwy piaskowej w filtrze dwuwarstwowym zastosowano piasek kwarcowy z Tomaszowskich Kopalń Surowców Mineralnych w Białej Górze. Warstwa antracytowa w filtrze dwuwarstwowym została wykonana z antracytu AK importowanego z Zagłębia Donieckiego, gdyż polski antracyt z kopalń wałbrzyskich nie spełnia wymaganych warunków pod względem właściwości fizyczno-mechanicznych (tab. 1).

Tabela 1
ZESTAWIENIE WYNIKÓW BADAŃ WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNYCH
I MECHANICZNYCH MATERIAŁÓW FILTRACYJNYCH

Oznaczenie (próba średnia)	Materiał filtracyjny		
	antracyt polski	antracyt AK	piasek
gęstość właściwa [g/cm ³]	1,266*	1,666*	2,6316*
	1,432**	1,682**	—
gęstość nasypowa [g/cm ³]	0,890	1,094	—
porowatość w stanie powietrzno-suchym %	60,0	53,0	40
test na rozkruszanie [%]	0,9	0,24	—
test na ścieranie [%]	0,85	0,13	—

*) metodyka dla materiałów nieporowatych

**) metodyka dla materiałów porowatych

Uziarnienie badanych złóż filtracyjnych dobrze według wytycznych normatywu radzieckiego oraz dotychczasowych polskich doświadczeń [2, 3]. Charakterystykę złóż podano w tab. 2.

Wodę do badań o wysokiej barwie ujmowano z Narwii. Proces filtracji poprzedzała koagulacja prowadzona w modelowym urządzeniu typu pulsator. Do procesu filtracji zastosowano dwie kolumny filtracyjne o średnicy 300 mm, z których jedną wypełniono złożem dwu-

Tabela 2
CHARAKTERYSTYKA ZŁÓŻ FILTRACYJNYCH

Filtr	Materiał filtracyjny	Średnice ziarn [mm]			Wysokość złoża [m]
		d_{10}	d_{80}	d_e^*	
dwuwarstwowy	antracyt	0,89	1,6	1,12	1,8
	piasek	0,66	1,19	0,85	1,8
jednowarstwowy	piasek	0,69	1,31	1,02	1,9

$$* d_e = \frac{d_{i \min} + d_{i \max}}{2 P_i}$$

P_i — udział wagowy frakcji i-tej

warstwowym antracytowo-piaskowym, a drugą złożem jednowarstwowym piaskowym. Prędkość filtracji, stała dla obydwu złóż, wynosiła 9 m/h lub 12 m/h.

Cykl filtracyjny prowadzono do osiągnięcia granicznej straty ciśnienia wynoszącej 2—2,5 m słupa wody lub do przebicia filtru. Ogółem przebadano 27 cykli filtracyjnych.

Wyniki badań

Na podstawie analizy wybranych wskaźników wody (wartości średnie podano w tab. 3) można stwierdzić, że prędkość filtracji w zakresie 9—12 m/h nie wpływała istotnie na jakość wody zarówno po filtrze dwuwarstwowym, jak i jednowarstwowym. Wyniki pomiarów przy-

Tabela 3
WARTOŚCI WYBRANYCH WSKAŹNIKÓW JAKOŚCI PRZEFILTROWANEJ
WODY NA FILTRACH ANTRACYTOWO-PIASKOWYCH I PIASKOWYCH
W ZALEŻNOŚCI OD PRĘDKOŚCI FILTRACJI

Wskaźnik	przed filtrem	Jakość wody po filtrze			
		antracytowo- piaskowym		piaskowym	
		$V_f = 9$ m/h	$V_f = 12$ m/h	$V_f = 9$ m/h	$V_f = 12$ m/h
Mętność [mg/dm ³]	2,7	1,15	1,2	1,0	1,1
Barwa [mg/dm ³ Pt]	13,6	9,43	10,4	9,5	10,5
Glin [mg/dm ³ Al]	0,58	0,029	0,048	0,02	0,05
Utlenialność [mg/dm ³ O ₂]	4,74	4,35	4,82	4,3	4,8

rostów strat ciśnienia w czasie cyklów filtracji wykorzystano do wyznaczenia dwóch wskaźników:

- szybkości względnego przyrostu strat ciśnienia S_w
- stopnia wypełnienia porów złoża ε .

Szybkość względnego przyrostu strat ciśnienia S_w jest wielkością ujmującą łącznie właściwości złoża oraz ilość i własności zatrzymywanych w złożu substancji. Może ona być obliczona za pomocą wzoru [4, 5]:

$$S_w = \frac{\Delta h_t - \Delta h_o}{\Delta h_o \cdot t} \quad (1)$$

w którym:

S_w — średnia szybkość względnego przyrostu strat ciśnienia w danej warstwie złoża, [h^{-1}]

Δh_t — strata ciśnienia w danej warstwie złoża po czasie t , [m słupa wody]

Δh_o — strata ciśnienia w danej warstwie złoża na początku cyklu filtracyjnego, [m słupa wody]

t — czas pracy filtru od początku cyklu, [h].

Stopień wypełnienia porów ε odzwierciedla działanie poszczególnych warstw złoża, a szczególnie ich udział w zatrzymywaniu zanieczyszczeń. Wielkość ta obrazuje również wykorzystanie pojemności złoża. Może ona być zdefiniowana następująco [4, 5]:

$$\varepsilon = \frac{m_o - m_t}{m_o} \quad (2)$$

gdzie:

ε — stopień wypełnienia porów

m_o — porowatość warstwy filtracyjnej

m_t — porowatość warstwy filtracyjnej po czasie filtracji t .

Stopień wypełnienia złoża ε wyznaczono pośrednio z zależności [4, 5]:

$$\varepsilon = 1 - \left(\frac{1}{1 + S_w \cdot t} \right)^{1/3} \quad (3)$$

Wzór (3) ustalono przy założeniu jednorodności uziarnienia i wypełnienia porów w rozpatrywanej warstwie złoża. W przypadku nierównomiernego uziarnienia i nierównomiernego wypełnienia porów na wysokości złoża filtru, wzór ten daje wyniki tym bardziej miarodajne, im rozpatrywane są mniejsze wysokości warstw złoża. Wielkość ε wyznaczona ze wzoru (3) nie może być w pełni miarodajna do ustalenia bilansu masy zanieczyszczeń doprowadzanych do filtru i zatrzymywanych w złożu. Odzwierciedla ona bowiem głównie wpływ zatrzymywanych w złożu zanieczyszczeń na opory hydrauliczne złoża. Może więc być wykorzystywana przede wszystkim do analizy udziału poszczególnych warstw złoża w procesie filtracji, a nie do obliczania masy zatrzymywanych zanieczyszczeń.

Wyznaczone wartości S_w i ε podano w tab. 4. Na podstawie analizy otrzymanych wartości S_w i można podać następujące spostrzeżenia:

Tabela 4
WARTOŚCI SZYBKOSTI WZGLĘDNego PRZYROSTU STRAT CIŚNIE-
NIA S_w I STOPNIA WYPEŁNIENIA PORÓW ε W POSZCZEGÓLNYCH
WARSTWACH ZŁOŻ

Wysokość złoża filtracyjnego cm	S_w h^{-1}			
	$V_f=9$ m/h	$V_f=12$ m/h	$V_f=9$ m/h	$V_f=12$ m/h
filtry dwuwarstwowe				
całe złożo	0,1456	0,1546	0,3652	0,2766
120—123	0,3907	1,1272	0,5754	0,6580
90—120	0,6674	0,6482	0,6554	0,5504
60—90	0,0602	0,1450	0,3021	0,1926
piasek i antracyt				
30—60	0,0757	0,0395	0,3140	0,2661
0—30	0,0191	0,0123	0,1682	0,0590
filtry jednowarstwowe				
całe złożo	0,3029	0,2715	0,3018	0,2917
70—80	1,5547	0,8661	0,6619	0,5419
60—70	0,2353	0,2840	0,4145	0,3629
30—60	0,1039	0,0896	0,2164	0,2398
0—30	0,1051	0,1243	0,2278	0,2365
piasek				

— Złożo filtru dwuwarstwowego antracytowo-piaskowego charakteryzuje się blisko dwukrotnie mniejszą szybkością względnego przyrostu straty ciśnienia S_w niż złożo filtru jednowarstwowego piaskowego. Wynika to z korzystniejszej pod względem hydraulicznym struktury złoża dwuwarstwowego, oddziaływującej z kolei na korzystniejszy rozkład zanieczyszczeń w warstwach złoża.

— W złożu dwuwarstwowym większy stopień wypełnienia porów sięga znacznie głębiej niż w złożu jednowarstwowym. Z hydraulicznego punktu widzenia złożo dwuwarstwowe korzystne jest przy tym również i dlatego, że wysoki stopień wypełnienia porów występuje przede wszystkim w górnej warstwie antracytowej o stosunkowo niskich początkowych oporach hydraulicznych.

— W granicach prędkości filtracji 9—12 m/h nie stwierdzono istotnego wpływu tego parametru na szybkość względnego przyrostu straty ciśnienia zarówno w odniesieniu do filtrów jednowarstwowch jak i dwuwarstwowch. Wyraźnie natomiast przy wzroście prędkości filtracji spada stopień wypełnienia porów obliczony jako średnia ważona ze stopnia wypełnienia porów w poszczególnych warstwach. Świadczy to o wpływie prędkości filtracji na wewnętrzną strukturę osadu gromadzonego w złożu filtracyjnym.

Wartość szybkości względnego przyrostu strat ciśnienia S_w wykorzystano do wyznaczenia długości cyklu filtracyjnego:

$$T_c = \frac{H_{gr} - \Delta h_o}{S_w \cdot \Delta h_o} \quad (4)$$

gdzie:

T_c — graniczny czas trwania cyklu filtracyjnego, h

H_{gr} — dopuszczalna graniczna wysokość straty ciśnienia w złożu filtracyjnym, cm słupa wody

Δh_0 — początkowa strata ciśnienia w złożu filtracyjnym (w złożu czystym), cm słupa wody.

Graniczny czas cyklu filtracji obliczono przy jednakowej dla obydwu złożów granicznej wysokości straty ciśnienia w złożu równej 2 m (tab. 5).

Tabela 5

WYZNACZENIE GRANICZNEGO CZASU TRWANIA CYKLU GRANICZNEGO

Filtr	S_w [h-t]		Δh_0 [cm H_2O]		τ_0 [h]	
	$V_f=9$ [m/h]	$V_f=12$ [m/h]	$V_f=9$ [m/h]	$V_f=12$ [m/h]	$V_f=9$ [m/h]	$V_f=12$ [m/h]
dwuwarstwowy antracytowo- piaskowy	0,1456	0,1546	39,1	46,6	28,3	21,3
jednowarstwowy piaskowy	0,3029	0,2715	33,9	47,4	15,9	11,9

Z obliczeń wynika, że filtr dwuwarstwowy charakteryzuje się znacznie dłuższym cyklem filtracyjnym w porównaniu z filtrem jednowarstwowym. Z tego wynikają oczywiste korzyści eksploatacyjne polegające na obniżeniu zużycia energii. Ma to również korzystny aspekt w odniesieniu do wymiarowania filtrów.

Wnioski

1. Na podstawie badań stwierdzono, że filtracja wody powierzchniowej po kaogulacji przez złoża antracytowo-piaskowe i piaskowe nie wykazuje istotnych różnic w zakresie efektu uzdatniania wody w przedziale stosowanych prędkości filtracji ($V_f=9-12$ m/h).

2. Szybkość względnego przyrostu strat ciśnienia S_w okazała się około dwukrotnie niższa dla

filtru dwuwarstwowego niż dla filtru jednowarstwowego. Nie stwierdzono przy tym istotnego wpływu prędkości filtracji (9—12 m/h) na wartość tego parametru.

3. Wielkość stopnia wypełnienia porów ϵ może być przydatna do analizy udziału poszczególnych warstw złoża w procesie filtracji wody. Analiza tej wielkości pozwala stwierdzić, że złożo filtru dwuwarstwowego jest lepiej wykorzystane na swojej głębokości w procesie filtracji, niż złożo filtru jednowarstwowego. Stwierdzono przy tym, że wielkość stopnia wypełnienia porów wyznaczana pośrednio na podstawie wyników badań hydraulicznych nie może być podstawą do badania bilansu masy zanieczyszczeń dopływających do filtru i zatrzymywanych w złożu.

4. Obliczony, graniczny maksymalny czas trwania cyklu filtracyjnego w badanym zakresie prędkości filtracji dla badanej wody jest blisko dwukrotnie dłuższy w wypadku filtru dwuwarstwowego w porównaniu z filtrem jednowarstwowym.

LITERATURA

1. BPBK „Stolica”: Badania modelowe procesu filtracji na złożu wielowarstwowym”. Maszynopis. Warszawa 1981.
2. Stroitielnye Normy i Prawila II-31-74 Wedosnabżeniye. Narużnyje Sieti i Sooruzheniya. Izd. Stroizdat. Moskwa. 1975.
3. Z. HEIDRICH i inni: Urządzenia do uzdatniania wody. Zasady Projektowania i przykłady obliczeń. Arkady. Warszawa 1980 r.
4. H. KŁOSS-TRĘBACZKIEWICZ: Zastosowanie filtrów kontaktowych do doczyszczania ścieków biologicznie oczyszczonych. Dysertacja. Politechnika Warszawska 1978 r.
5. H. KŁOSS-TRĘBACZKIEWICZ, M. ROMAN: Analiza udziału poszczególnych warstw złoża filtru kontaktowego w procesie doczyszczania ścieków. Materiały na międzynarodową konferencję naukową pt. Wysokoefektywne metody oczyszczania ścieków. Kraków 1978 r.

M. Roman, H. Kłos-Trębacziewicz

Efficiency of sand filters and anthracite-sand filters

The investigations reported here have revealed that no significant difference occurs in the treatment effects between sand filters and anthracite-sand filters when filtration rate ranges from 9 to 12 m/h. However, comparing the increment of pressure loss,

it become obvious that double-media filters display more advantageous operation parameters than do single-medium filters. Double-media filters are also found to dominate over single-medium filters in the degree of utilizing their surface area, which is indicated by the different degree of pore saturation. As far as the maximum length of filter-cycle duration (at the investigated filtration rates) is concerned, the values obtained for the double-media filter are approximately twice as high as those for the single-medium filter.