

Mykola Hirol, Dariusz Kowalski, Andriej Hirol, Bogdan Jakimchuk, Julia Trach

## Badania doświadczalne przebiegu płukania fluidalnego złoża filtru pospiesznego do oczyszczania wody

Filtry z wypełnieniem ziarnistym znalazły szerokie zastosowanie w technologii oczyszczania wody [1–3]. Urządzenia te pracują z powodzeniem zarówno w systemach oczyszczania wody przeznaczonej do spożycia, jak i do celów przemysłowych, a także do oczyszczania ścieków i odnowy wody [4–6]. Przy ocenie pracy filtrów przede wszystkim zwraca się uwagę na skuteczność procesu filtracji, natomiast nie mniej istotna jest ocena ważnego etapu cyklu pracy filtrów, jakim jest płukanie złożów filtracyjnych [7–9], które znacząco wpływa na skuteczność pracy filtrów [7,10]. Niewłaściwie płukanie złożów filtracyjnych może prowadzić do zmniejszenia skuteczności oczyszczania wody, stąd też szerokie zainteresowanie wielu badaczy tym procesem [11–13].

Aby zwiększyć skuteczność płukania złożów filtracyjnych, a zarazem ograniczyć zużycie wody do płukania, złoża piaskowe płucze się zarówno wodą, jak i powietrzem [4,10]. Cechą szczególną takiego sposobu płukania jest jednoczesne lub kolejne podawanie wody i sprężonego powietrza pod złoża filtracyjne (płukanie przeciwpłukowe). W takich warunkach, w stosunku do płukania samą wodą, prędkość przepływu wody płuczacej może być znacznie mniejsza od krytycznej, przy której następuje spulchnienie materiału złoża filtracyjnego. Przy zastosowaniu powietrza w tym procesie przepływająca woda łatwiej wymywa zanieczyszczenia zgromadzone w porach złoża filtracyjnego.

W ostatnich latach coraz większe uznanie w procesie oczyszczania wody zyskują filtry fluidalne, zwane też filtrami z pływającym wypełnieniem [1,14,15]. Gęstość materiału filtracyjnego stosowanego w tych filtrach jest mniejsza od gęstości wody [15]. W czasie płukania złoża prędkość przepływu wody jest większa od krytycznej ( $v_{kr}$ ), wywołującej ekspansję złoża filtracyjnego ( $E$ ), która sięga 15÷50% [16]. Zarówno ekspansja, jak intensywność płukania wodą ( $q_w$ ) zależą od średnicy ziaren i gęstości materiału filtracyjnego [17]. W przypadku złoża filtracyjnego o parametrach ziaren wykorzystywanych w procesie oczyszczania wody ( $d=0,8\div4,0$  mm,  $\rho=20\div500$  kg/m<sup>3</sup>), prędkość przepływu wody płuczacej zawiera się w przedziale 1÷6 mm/s (intensywność płukania  $q_w=10\div60$  dm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>s). Aby zapewnić prawidłowy przebieg płukania złoża filtracyjnego samą wodą konieczne jest przygotowanie stosownego osprzętu i przewodów o znacznych rozmiarach. Skłoniło to autorów do

poszukiwania innych metod rozwiązania płukania złożów filtrów fluidalnych, ograniczających wielkość wymaganych urządzeń [18].

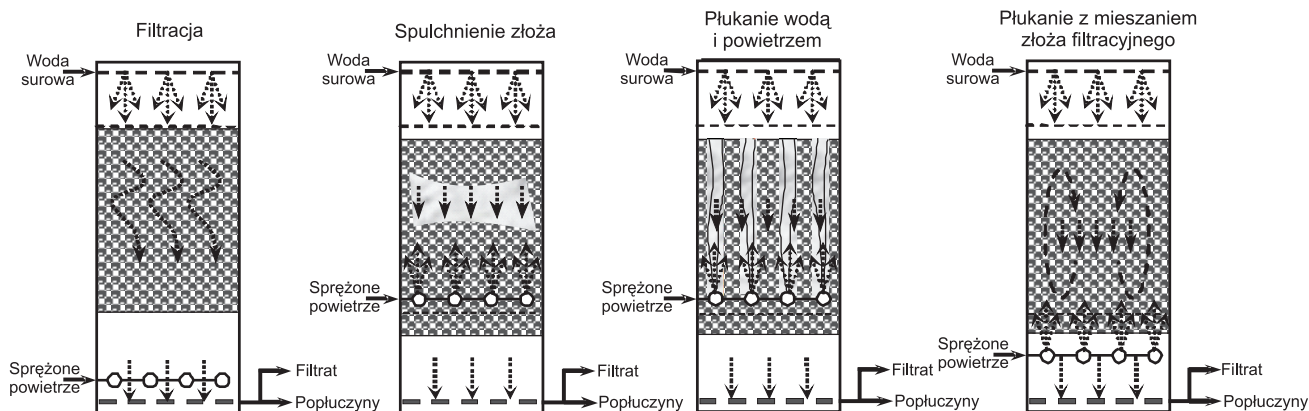
### Metodyka i przebieg badań

U podstaw metodyki badań założono hipotezę o możliwości zastosowania do płukania złoża fluidalnego zarówno wody, jak i powietrza. Technologia tego procesu polega na podawaniu sprężonego powietrza do dolnej części złoża, przy jednoczesnym intensywnym zraszaniu wodą jego powierzchni [19]. Testowanie tej hipotezy oparto na badaniach doświadczalnych oraz znanym matematycznym opisie ekspansji złoża wywołanej przepływem powietrza [20–22]. Badania przeprowadzono wykorzystując specjalnie skonstruowany do tego celu pilotażowy filtr ze złożem fluidalnym, który zbudowano w zakładzie przemysłu chemicznego w mieście Rivne (Ukraina). Wysokość filtru wynosiła 4 m, a jego powierzchnia 1 m<sup>2</sup>. Zawartość zawieszin w doprowadzanej wodzie surowej nie przekraczała 12 g/m<sup>3</sup>, natomiast w filtracie – 2 g/m<sup>3</sup>. W trakcie prac badawczych wykorzystano standardową metodykę pomiarową [14,23]. Pełniejszy opis metodyki podano w pracy [1]. Podstawowym celem badań było poznanie wpływu natężenia wody płuczacej i sprężonego powietrza oraz czasu trwania procesu na skuteczność płukania złoża filtru fluidalnego.

W ramach doświadczeń przeprowadzono serię badań, których celem było określenie zależności ekspansji złoża ( $E$ ) od intensywności przepływu powietrza ( $q_p$ ). W badaniach zastosowano wypełnienie filtru w postaci granulatu spienionego polistyrenu o średnicach miarodajnych  $d_1=1,76$  mm,  $d_2=2,18$  mm i  $d_3=2,63$  mm. Ekspansję określono jako stosunek przyrostu wysokości złoża filtracyjnego podczas płukania do jego początkowej wysokości ( $E=\Delta h/h_0$ ). Badania przeprowadzono w warunkach złoża suchego oraz zalanego wodą.

Skuteczność procesu płukania badano poprzez określenie rozkładu masy zanieczyszczeń pozostałych po płukaniu. Wykorzystując króćce pomiarowe zainstalowane w obudowie filtru pobrano na różnej wysokości kolumny filtracyjnej próbki wypełnienia złoża o objętości ok. 20 cm<sup>3</sup>. Pobrane próbki przepłukano wodą destylowaną, po czym określono masę wymytych zanieczyszczeń. Stosunek tej masy do objętości pobranej próbki przyjęto jako jednostkową ilość zanieczyszczeń pozostałych w złożu po płukaniu. Jako wskaźnik skuteczności płukania złoża filtracyjnego ( $e=c_p/c_z$ ) przyjęto stosunek zawartości unoszonych wraz z wodą zanieczyszczeń, uzyskanej na podstawie analizy próbek pobranych w czasie płukania złoża ( $c_p$ , kg/m<sup>3</sup>), do

Prof. dr hab. inż. M. Hirol, dr inż. A. Hirol, dr inż. B. Jakimchuk, inż. J. Trach: Państwowy Uniwersytet Gospodarki Wodnej i Zasobów Przyrody, ul. Soborna 11, 33000 Rivne, Ukraina, *m.m.girol@meta.ua*  
Prof. dr hab. inż. M. Hirol, dr inż. D. Kowalski: Politechnika Lubelska, Wydział Inżynierii Środowiska, Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska, ul. Nadbystrzycka 40B, 20–811 Lublin, *d.kowalski@pollub.pl*



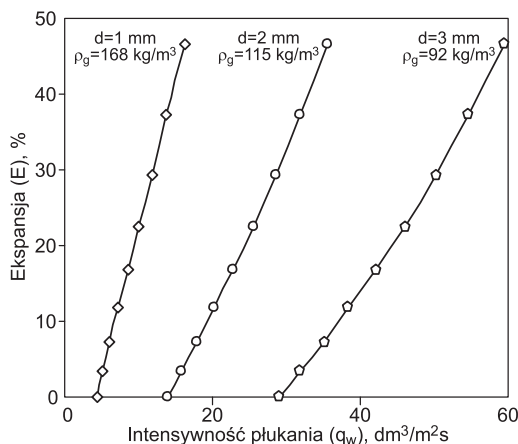
Rys. 1. Cykl pracy filtra ze złożem fluidalnym  
Fig. 1. Cycle of the investigated flowing bed filter

zawartości zanieczyszczeń pozostałych w złożu filtracyjnym po zakończeniu płukania ( $c_z$ ,  $\text{kg/m}^3$ ).

W dalszej części badań podjęto próbę odpowiedzi na pytanie o wpływ jakości płukania na skuteczność filtracji. Doświadczenia przeprowadzono przy prędkości filtracji  $6\text{ m/h}$  i długości cyklu filtracyjnego  $24\text{ h}$ . W kolejnych seriach badawczych zmieniono parametry procesu płukania i kontrolowano zmianę jego skuteczności. Kolejne cykle filtracji rozpoczęto przy różnych warunkach początkowych ilości zanieczyszczeń pozostających w złożu po procesie płukania. Ilość tę określono jak poprzednio, pobierając próbki złoża z różnej wysokości. Objętość próbek zwiększono do  $50\text{ cm}^3$ . Próbki pobrano w trzech punktach – na głębokości  $10\text{ cm}$  poniżej górnego systemu rozprowadzania wody oraz na głębokościach  $60\text{ cm}$  i  $120\text{ cm}$ . Pobrane próbki wielokrotnie przemyto wodą destylowaną, a następnie określono zawartość i masę wypłukanych zanieczyszczeń. Na tej podstawie, podobnie jak poprzednio, określono jednostkowy wskaźnik zanieczyszczeń pozostających w złożu po płukaniu. Skuteczność procesu filtracji badano poprzez porównanie zawartości zawiesin w wodzie surowej i prze-filtrowanej, w czasie całego procesu filtracji, początkowo w odstępach  $5\text{-minutowych}$ , a następnie co godzinę.

## Wyniki badań

Intensywność płukania złoża filtrów fluidalnych wodą ( $q_w$ ) zależy od parametrów uziarnienia złoża (średnicy ( $d$ ) i gęstości ( $\rho_g$ )). Związana jest jednocześnie z ekspansją złoża ( $E$ ) i może zmieniać się w szerokim zakresie (rys. 2).



Rys. 2. Zależność ekspansji złoża fluidalnego od intensywności płukania wodą oraz średnicy i gęstości granulatu  
Fig. 2. Expansion of the flowing bed related to the rate of water flow during flushing, to grain diameter, and grain density

W trakcie doświadczeń wykazano, że przy doprowadzaniu powietrza do złoża filtracyjnego, przy prędkości ok.  $1,2v_{kr}$  (prędkości krytycznej, przy której rozpoczyna się proces ekspansji złoża) formowały się w nim poduszki i kanały powietrzne. Świadczyło to o niestabilnej ekspansji złoża. Powietrze przepływające przez kanały powietrzne praktycznie na nią nie wpływało (rys. 1).

W tych warunkach, nawet przy dużej intensywności przepływu powietrza, wymieszanie materiału złoża uznano za zbyt małe, co nie sprzyjało wypłukiwaniu zanieczyszczeń. Sytuację tę można poprawić odpowiednio dobierając intensywność zraszania powierzchni złoża wodą płuczącą. Nawet intensywne doprowadzenie samego sprężonego powietrza do dolnej części złoża umożliwiło mieszanie z wodą tylko tej jego części. Przy braku ciągłego przepływu wody nie zachodziło wynoszenie wypłukanych zanieczyszczeń. Jedynie stosunkowo duże cząstki osiadały na dnie filtru, prowadząc do jego zamulenia. W wierzchniej części złoża, położonej nad poziomem wody, strumienie powietrza formowały kanały powietrzne, przez które przedostawało się ono swobodnie do przestrzeni nadfiltrowej. Zanieczyszczenia zgromadzone w tej części złoża nie były wypłukiwane.

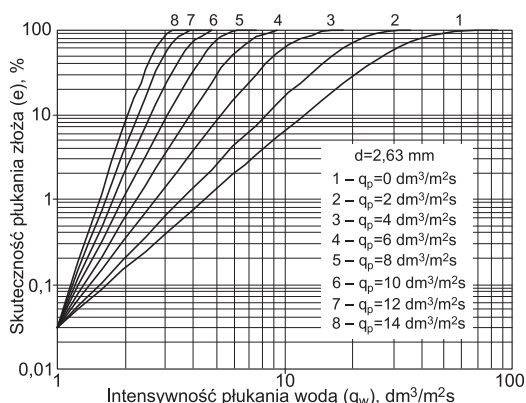
Przy małej intensywności jednoczesnego płukania wodą i powietrzem zachodziło nieznaczne mieszanie złoża filtracyjnego. Proces płukania granulatu złoża zachodził w stopniu, który można określić jako umiarkowany. Podobnie rzecz miała się z wynoszeniem wymytych zanieczyszczeń. Przy przepływie samej wody dostateczną skuteczność płukania złoża filtracyjnego ( $d=2,63\text{ mm}$ ) uzyskano przy intensywności  $q_w=50\text{ dm}^3/\text{m}^2\text{s}$  i ekspansji złoża  $E=35\%$  (rys. 3). Dostarczenie powietrza nawet z intensywnością  $q_p=4\text{ dm}^3/\text{m}^2\text{s}$  pozwoliło zmniejszyć intensywność płukania wodą niemal do połowy. Wraz ze wzrostem intensywności płukania powietrzem do  $q_p=12\text{ dm}^3/\text{m}^2\text{s}$  intensywność płukania wodą można było ograniczyć do  $q_w=3\div5\text{ dm}^3/\text{m}^2\text{s}$ .

Należy zwrócić uwagę na fakt, że wraz ze zmniejszeniem intensywności płukania wodą wzrastał czas płukania złoża. Przykładowo, przy intensywności płukania wodą  $q_w=50\text{ dm}^3/\text{m}^2\text{s}$  osiągał on około  $200\text{ s}$ , a objętość zużytej wody płuczącej wyniosła ok.  $10\text{ m}^3$ . W warunkach płukania powietrzem ( $q_p=5\text{ dm}^3/\text{m}^2\text{s}$ ) i wodą ( $q_w=12\text{ dm}^3/\text{m}^2\text{s}$ ) czas płukania sięgał  $700\div800\text{ s}$ , jednak objętość wody płuczącej zmniejszyła się do  $3\div4\text{ m}^3$ . W rezultacie analizy danych doświadczalnych przedstawionych na rysunku 3 opracowano równanie (1), które opisuje zależność pomiędzy skutecznością płukania oraz intensywnością płukania złoża wodą i powietrzem. Badania statystyczne [24] potwierdziły istotność wyników uzyskanych za pomocą wzoru:

Tabela 1. Ilość zanieczyszczeń pozostałych w złożu filtracyjnym po płukaniu (przykład)  
Table 1. Pollutants persisting in the flowing bed filter after flushing (example)

Seria pomiarowa	e, %	C <sub>f</sub> kg/m <sup>3</sup>	c <sub>i</sub> na różnej głębokości złoża, kg/m <sup>3</sup>			C <sub>pśr</sub> kg/m <sup>3</sup>
			0,1 m	0,6 m	1,2 m	
1a	15	0,90	1,160	0,817	0,526	0,83
6a	96	0,70	0,050	0,027	0,012	0,03
7a	46	0,60	0,500	0,283	0,149	0,31
9a	10	0,54	0,625	0,476	0,334	0,48
10a	98	0,57	0,020	0,010	0,004	0,01

e – wskaźnik skuteczności płukania złoża, c<sub>f</sub> – jednostkowa ilość zanieczyszczeń zawartych w złożu po filtracji, c<sub>i</sub> – jednostkowa ilość zanieczyszczeń pozostałych w złożu po płukaniu, c<sub>pśr</sub> – średnia jednostkowa ilość zanieczyszczeń pozostałych w całym złożu po płukaniu



Rys. 3. Skuteczność płukania złoża fluidalnego w zależności od intensywności płukania wodą i powietrzem  
Fig. 3. Efficiency of flowing bed flushing related to the flow rates of water and air

$$e = 1 - \exp\left(-0,0003q_w^{2,2+0,25q_p^{1,2}}\right) \quad (1)$$

w którym:

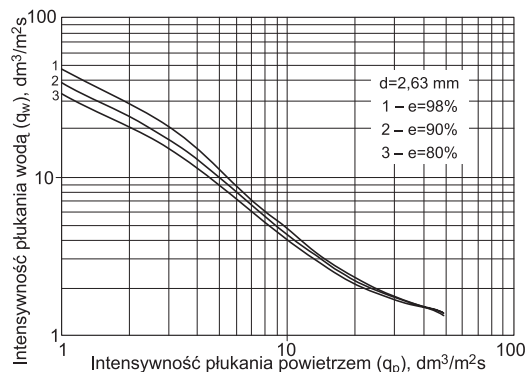
q<sub>p</sub> – intensywność płukania powietrzem, dm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>s

q<sub>w</sub> – intensywność płukania wodą, dm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>s

Przekształcając wzór (1) można uzyskać wyrażenie pozwalające określić wymaganą intensywność płukania wodą w zależności od wymaganej skuteczności płukania złoża filtracyjnego (e) oraz intensywności płukania powietrzem (q<sub>p</sub>):

$$q_w = \exp\left[\frac{\ln[-\ln(1-e)+8,1]}{2,2+0,25q_p^{1,2}}\right] \quad (2)$$

Zdaniem autorów, sugerowana wartość wskaźnika skuteczności płukania złoża filtracyjnego (e<sub>z</sub>) powinna wahać się w granicach 80÷98%. Na podstawie obliczeń przeprowadzonych za pomocą wzoru (2) opracowano nomogram (rys. 4).



Rys. 4. Intensywność płukania wodą i powietrzem wymagana do osiągnięcia założonej skuteczności płukania złoża fluidalnego  
Fig. 4. Water flow rate and air flow rate required for achieving the assumed efficiency of flowing bed flushing

Przykładowe wartości liczbowe zawartości zanieczyszczeń zgromadzonych w złożu filtracyjnym po procesie filtracji i płukaniu przedstawiono w tabeli 1.

Wyniki badań wartości wskaźnika skuteczności filtracji (e) w zależności od średniej jednostkowej masy zanieczyszczeń pozostałych w złożu po płukaniu (c<sub>pśr</sub>) przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Skuteczność filtracji wody w zależności od średniej jednostkowej ilości zanieczyszczeń pozostałych w złożu po płukaniu  
Table 2. Efficiency of water filtration related to the mean elementary mass of pollutants persisting in the flowing bed after flushing

c <sub>pśr</sub> , kg/m <sup>3</sup>	0,83	0,71	0,48	0,14	0,03	0,01
e, %	4	6	17	57	74	81

Analizując wyniki przeprowadzonych doświadczeń można wnioskować, że istnieje graniczna wartość średniej jednostkowej masy zanieczyszczeń pozostałych w złożu po procesie płukania, poniżej której pozostające w złożu zanieczyszczenia nie wpływają znacząco na jakość przefiltrowanej wody w kolejnym cyklu po płukaniu. Jej przekroczenie nie tylko zmniejsza skuteczność pracy filtru, ale może również wpływać na skrócenie cyklu jego pracy. Wyniki badań pilotażowych wykorzystano podczas modernizacji filtrów przemysłowych o wydajności 12 tys. m<sup>3</sup>/d. Filtry ze złożem piaszkowym zastąpiono filtrami fluidalnymi z wypełnieniem ze spienionego polistyrenu, płukanym wodą i powietrzem. Trzyletnie badania eksploatacyjne zmodernizowanego układu wykazały znaczne oszczędności w zużyciu wody do płukania i jednocześnie dużą skuteczność oczyszczania wody. Pełniejszy opis doświadczeń eksploatacyjnych zawarto w pracy [1].

## Wnioski

♦ Jednostkowa ilość wody potrzebnej do płukania złoża filtrów wyposażonych w system płukania wodno-powietrznego wynosiła około 50% ilości niezbędnej w przypadku płukania tylko wodą.

♦ Wymaganą skuteczność płukania złoża filtracyjnego (d=2,63 mm) osiągnięto przy intensywności płukania wodą q<sub>w</sub>=2÷5 dm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>s i powietrzem q<sub>p</sub>=10÷12 dm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>s. Czas płukania w takich warunkach wynosił 800÷1200 s, zaś ilość zużytej wody płuczającej 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.

♦ Wyniki badań pilotażowych wdrożono do układu oczyszczania wody do celów przemysłowych o wydajności 12 tys. m<sup>3</sup>/d. Badania eksploatacyjne tak zmodernizowanego systemu potwierdziły wyniki wcześniejszych badań doświadczalnych.

## LITERATURA

1. M. HIROL, D. KOWALSKI, A. HIROL, B. YAKIMCHUK: Przykład zastosowania filtrów ze złożem pływającym w układzie technologicznym dekarbonizacji wody rzecznej. Mat. konf. „Nowe technologie w sieciach i instalacjach wodociągowych 07”, Politechnika Śląska, Inst. Inż. Wody i Ścieków, Szczyrk 2008, ss. 343–354.
2. D.G. STEVENSON, I.A. CROSSLEY: Granular bed filter. Great Britain Patent No. GB2280124, 1995.
3. S.D. BOICHUK, W.A. MIAKISHEV, E.E. KOTOVSKAIA: Ulutchenie proizvodnosti bariernoj funkcji skorych filtrov dla ochistki povierchnostnykh vod. Mat. konf. „ETEBK”, Jalta 2005, ss. 233–237.
4. S. KAWAMURA: Design and operation of filters with granular media. Proc. "International Conference on Advances in Rapid Granular Filtration in Water Treatment", Chartered Institute of Water and Environmental Management, London 2001, pp. 149–160.
5. T. PUMPEL, E. LYNNE, J. MACASKIE, A. FINLAY, L. DIELS, M. TSEZOS: Nickel removal from nickel plating waste water using a biologically active moving-bed sand filter. *BioMetals* 2003, Vol. 16, pp. 567–581.
6. P.A. GRABOVSKIY, A.I. GOROBCHENKO: Postanovka zadachi optimalnogo upravleniya raboty skorykh vodoochistnykh filtrov. Mat. konf. „5 Mezhdunarodny Kongress Voda, Ekologiya i Tekhnologiya”, EKVA-TEK, Moskva 2002, s. 344.
7. J.E. AMBURGEY, J.E.A. AMIRTHARAJAH, B.M. BROUCKAERT, N.C. SPIVEY: An enhanced backwashing technique for improved filter ripening. *Journal AWWA* 2003, Vol. 95, No. 12, pp. 81–94.
8. B.M. BROUCKAERT, R. RAJAGOPAL, M.J. PRYOR: Optimization of an autonomous valveless gravity filter for the cost effective production of potable water for rural areas. Water Research Commission, Pretoria 2003.
9. D. HALL, C.S.B. FITZPATRICK: Suspension concentration profiles during rapid filter backwashing. *Chemical Engineering Journal* 2000, Vol. 80, pp. 197–201.
10. T. MAHMOOD: The mechanics of asymmetric particle release during filter backwashing and migration of colloids. Georgia Institute of Technology, Atlanta 1996.
11. T.M. GETTING, J. GEIBEL, A. EADES: An American approach to designing and rehabilitating gravity filter systems. Proc. "International Conference on Advances in Rapid Granular Filtration in Water Treatment", Chartered Institute of Water and Environmental Management, London 2001, pp. 241–250.
12. D. HALL, C.S.B. FITZPATRICK: A mathematical filter backwash model. *Wat. Sci. Tech.* 1998, Vol. 37, No. 12, pp. 371–188.
13. G.S. LOGSDON, A.F. HESS, M.J. CHIPPS, A.J. RACHWAL: Filter Maintenance and Operations Guidance Manual. AWWA Research Foundation and American Water Works Association, Denver 2002.
14. M.G. ZHURBA: Penopolistirolnyye filtry. Stroyizdat, Moskva 1992.
15. N.N. HIROL, M.G. ZHURBA, G.M. SEMCHUK, B.N. YAKIMCHUK: Doochistka stochnykh vod na zernistyykh filtrach. Tipografiya Levoberezhnaya, Kiev 1998.
16. Posobiye po proektirovaniyu sooruzheniy dla ochistki ipodgotovkivody. Komentarz donormy SNiP 2.04.02-84 „Vodosnabzheniye. Naruzhnyye seti i sooruzheniya”, NII KBOB AKH im. K.D. Pamfilova, CITP Gosstroya SSSR, Moskva 1989.
17. P.G. ROMANKOV, M.I. KUROCHKINA: Hidromechanicheskiye processy chimicheskoy tekhnologii. Himiya, Leningrad 1982.
18. SNiP 2.04.02-84. „Vodosnabzheniye. Naruzhnyye seti i sooruzheniya”. Gosstroy SSSR. Stroyizdat, Moskva 1985.
19. M.M. HIROL, A.M. HIROL, B.N. YAKIMCHUK: Sposib promyvky filtra. Patent Ukrainski, 2002, No 51169A, Vol. 11.
20. R. DIFELICE: Hydrodynamics of liquid fluidisation. *Chemical Engineering Science* 1995, Vol. 50, No. 8, pp. 1213–1245.
21. I.F. DEVIDSON, D. CHARRISON: Psevdoozhyzheniye tverdyykh chastic. Himiya, Moskva 1965.
22. O.M. TODES, O.B. CYTOVICH: Apparaty s kipiashim zernistym sloem (hidravlicheskiye i teplovyye osnovy raboty). Himiya, Leningrad 1981.
23. L.S. CLERSERL, A.E. GREENBERG, A.D. EATON: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition, American Public Health Association, 1999.
24. S.V. BRANOVICKAYA, R.B. MEDVEDEV, Y.A. FIALKOV: Vychislitel'naya matematika v himii i himicheskoy tekhnologii. Vyzhsha shkola, Kiev 1986.

**Hirol, M., Kowalski, D., Hirol, A., Jakimchuk, B., Trach, J. An Experimental Study into Flushing of the Flowing Bed Rapid Filter Used in Water Treatment. *Ochrona Srodowiska* 2009, Vol. 31, No. 4, pp. 35–38.**

**Abstract:** In recent times the use of rapid filters with flowing beds (of a density noticeably lower than that of the water) has become increasingly frequent in water treatment processes. Flushing is an important part of a filtration cycle which involves a flowing bed. Flushing with water alone should be performed at a flow rate of 60–80 dm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>s. Delivering such a large water volume requires large-diameter pipes and high-capacity pumps, which severely limits the practical use of flowing bed filters. In this paper a solution to the problem in question has been proposed, which consists in flushing the flowing bed with a stream of water

and air. Investigations performed both under laboratory and industrial conditions have shown that flushing can be conducted efficiently at a water flow rate of 2–5 dm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>s, an air flow rate of 10–12 dm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>s, and a flushing time of 800 to 1200 s. In the paper an example has been adduced of filters with flowing beds of a capacity amounting to 12,000 m<sup>3</sup>/d. The filters are used in the treatment of water for industrial purposes and have replaced conventional sand filters. Several years' observations have revealed that the investigated flowing bed filters meet the requirements of an efficient water treatment, and that their implementation resulted in essential savings of water and energy.

**Keywords:** Water treatment, rapid filtration, flowing bed, backwashing, flushing.