

Karol Kuś

## WPŁYW SYSTEMÓW ZASILANIA KLAROWNIKÓW NA ICH SPRAWNOŚĆ HYDRAULICZNĄ

**Streszczenie.** O sprawności hydraulicznej klarowników, obok kształtu i rodzaju urządzenia, sposobu doprowadzenia i odprowadzenia wody decyduje system zasilania tych urządzeń w wodę.

Celem przeprowadzonych badań były próby porównania wpływu systemu zasilania klarowników na ich sprawność hydrauliczną w bezpośrednim i pośrednim układzie doprowadzenia wody.

Wyniki uzyskane dla różnych prędkości przepływu wody w klarowniku świadczą o wyższej sprawności pośredniego systemu zasilania klarowników oraz pozwalają określić optymalny zakres prędkości przepływu wody.

Otrzymane zależności wymagają sprawdzenia technologicznego.

Klarowniki jako urządzenia z zawieszonym osadem służą do wstępnego oczyszczania wody metodą koagulacji, najczęściej przed filtracją.

Urządzenia te stosowane są do klarowania, odbierwania, odżelaziania, odmanganiania oraz zmiękczenia wody.

Za budową tych urządzeń przemawia znacznie wyższy efekt oczyszczania wody, niż w przypadku stosowania komór flokulacji i osadników. Klarowniki stosuje się zazwyczaj na stacjach uzdatniania o dużej wydajności, choć nie ma specjalnych ograniczeń co do ich stosowania ze względu na wielkość produkcji stacji. Sroponyjne właściwości złoża zawieszonego osadu stwarzają korzystne warunki szczególnie do oczyszczania wód powierzchniowych, stosunkowo mało obciążonych zawiesinami mechanicznymi.

Analizując systemy zasilania w wodę zarówno pracujących jak i projektowanych klarowników, zauważa się dwa zasadnicze rozwiązania:

1. System zasilania bezpośredni.
2. System zasilania pośredni.

System bezpośredni cechuje się tym, że woda np. z pompowni pierwszego stopnia, dopływa odpowiednim układem rurociągów do klarowników, gdzie zostaje poddana procesom oczyszczania. Charakterystycznym dla tego rozwiązania jest brak kontaktu wody z powietrzem atmosferycznym na całej długości odcinka: pompownia pierwszego stopnia - klarowniki.

W systemie pośrednim natomiast, zasilanie klarowników w wodę odbywa się poprzez zbiornik wyrównawczo-odpowietrzający, lub odpowiednią komorę przelewową.

W obu przypadkach, dopływająca z pompowni pierwszego stopnia woda, zawiera pewną określoną ilość rozpuszczonych gazów, (od 2 - 3% objętości pompowanej wody) [5, 12, 19]. Ilość ta jest zmienna i zależy od warunków pra-

cy pompy, zmian ciśnienia w rurociągu, profilu jego trasy warunków eksploatacji rurociągu, temperatury wody itp. [5, 12, 14, 18, 19]. Woda dopływająca do klarowników powinna być pozbawiona pęcherzyków gazów, których obecność może wpływać ujemnie na ich sprawność. Obecność rozpuszczonych gazów w urządzeniach z zawieszonym osadem może być przyczyną wynoszenia cząstek zawieszin i kłaczków z szybko poruszającymi się pęcherzykami gazu, co pogarsza jakość oczyszczonej wody, a tym samym obniża sprawność całego urządzenia.

Sprawność klarowników jest funkcją nie tylko ilości rozpuszczonych gazów w dopływającej wodzie, ale przede wszystkim samego kształtu i rodzaju urządzenia, konstrukcyjnego rozwiązania sposobu doprowadzenia i odprowadzenia wody oraz zastosowanej technologii oczyszczania wody. Pomiar sprawności klarowników nie jest zadaniem łatwym, ponieważ istnieje zasadnicza trudność w ustaleniu zależności pomiędzy sprawnością hydrauliczną i technologiczną badanego urządzenia. Trudno jest jednoznacznie ustalić takie warunki hydrauliczne, które zapewniałyby optymalny efekt technologiczny uwzględniając zmienną jakość dopływającej wody zarówno pod względem jej składu fizyko-chemicznego jak i temperatury oraz możliwości zmian obciążenia hydraulicznego poszczególnych klarowników w okresie ich eksploatacji.

Sprawność hydrauliczna klarowników osiąga największą wartość wówczas, kiedy panuje w nich hydraulicznie równomierny przepływ eliminujący wszelkiego rodzaju przestrzenie martwe i wiry. W takich warunkach można mówić o wyrównaniu prędkości w przekroju poprzecznym urządzenia, jak również wyeliminowaniu przestrzeni częściowej lub całkowitej stagnacji z przestrzennymi zaburzeniami włącznie. Wyrównane prędkości muszą być jednak optymalne dla zachodzących w danym klarowniku procesów technologicznych. Sprawność hydrauliczna idealnego klarownika jest bliska 100%. W rzeczywistości jednak sprawność ta jest znacznie niższa, ponieważ poszczególne cząstki jednocześnie dopływającej wody osiągają odpływ w różnym czasie.

W porównaniu do obliczeniowego teoretycznego czasu przepływu część wody odpływie z klarownika wcześniej, a część znacznie później.

Teoretyczny czas przepływu wody przez urządzenia do oczyszczania zarówno wody jak i ścieków, przyjęto ogólnie wyznaczać z następującej zależności:

$$T_t = \frac{V}{Q}, \quad (1)$$

gdzie:

$T_t$  - teoretyczny (obliczeniowy) czas przepływu

$V$  - czynna pojemność urządzenia

$Q$  - natężenie przepływu wody

Sprawność hydrauliczną tych urządzeń oblicza się ze wzoru:

$$\eta_h = \frac{T_r}{T_t} 100 [\%], \quad (2)$$

gdzie:

$\eta_h$  - sprawność hydrauliczna

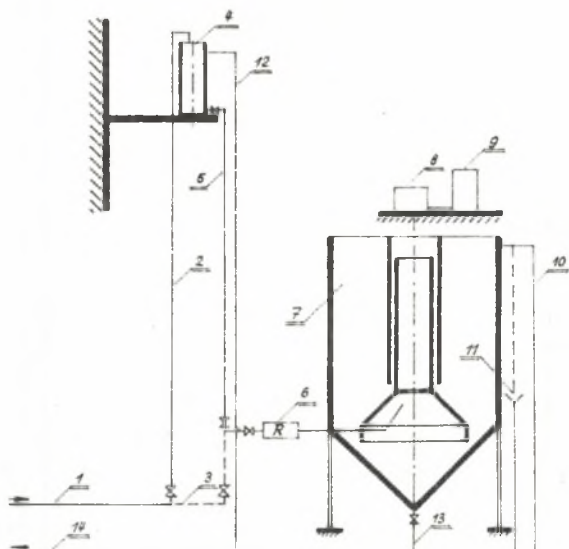
$T_r$  - rzeczywisty średni czas przepływu wody przez dane urządzenie.

Do badań sprawności hydraulicznej wspomnianych wyżej urządzeń, w szczególności do ustalenia rzeczywistego średniego czasu przepływu używa się różnych wskaźników np.: soli nieorganicznych, barwników lub izotopów promieniotwórczych [1, 2, 6, 10, 11, 13, 15, 17]. Dodany na dopływie do badanego urządzenia wskaźnik, nie może zmieniać warunków hydrodynamicznych przepływu, jak również nie może ulegać zanikowi na skutek zachodzących reakcji chemicznych, działania światła, sorpcji, sedymentacji czy utleniania. Stosowany wskaźnik musi być ponadto łatwo rozpuszczalny w wodzie, tani, możliwie prosty do wykrycia przy niedużych stężeniach w odpływie, bezpieczny w użyciu, a przede wszystkim nie może wpływać ujemnie na jakość wody i zdrowie ludzi wykonujących oznaczenia.

W zależności od sposobu dawkowania wskaźnika na dopływie, można użyć elementarną, zmienną lub stałą falę przepływu [1, 2, 6, 10, 11, 15, 17], będącą graficznym obrazem statycznego rozkładu czasów przebywania poszczególnych cząstek wody w urządzeniu. Z danych literaturowych [1, 2, 6, 10, 11, 15, 17] wynika, że do najczęściej stosowanych metod dawkowania wskaźnika w badaniach urządzeń do oczyszczenia wody lub ścieków zalicza się dawkowanie impulsowe, okresowe i ciągłe.

Każda z podanych metod pozwala na uzyskanie odpowiednich krzywych zależności  $S = f(t)$ , gdzie  $S$  - oznacza stężenie wskaźnika w odpływie, zaś  $t$  odpowiadający temu stężeniu czas liczony od chwili wprowadzenia wskaźnika. Na podstawie uzyskanych krzywych można wnioskować o odczekałocię warunków hydraulicznych panujących w badanym urządzeniu. W przypadku stosowania wskaźników barwnych można ponadto śledzić ich przemieszczenie się określające drogi i kierunki poszczególnych strug. W technice stosowania wskaźników do badań hydraulicznych urządzeń przepływowych szczególnie przydatne okazały się wskaźniki fluorescencyjne i sole litu. Izotopy promieniotwórcze z uwagi na wysokie wymagania dotyczące bezpieczeństwa pracy są rzadziej stosowane.

Celem badań hydraulicznych było poznanie wpływu systemu zasilania klarowników na ich sprawność hydrauliczną w układzie bezpośrednim i pośrednim doprowadzenia wody. Zaprojektowano i wykonano instalację pomiarową przedstawioną schematycznie na rys. 1.



Rys. 1. Schemat instalacji pomiarowej klarownika

1 - przewód instalacji wodociągowej hali technologicznej, 2 - podłączenie instalacji doświadczalnej, 3 - przewód zastępczy umożliwiający pracę klarownika w układzie bez 1 ze zbiornikiem wyrównawczo-odpowietrzającym, 4 - zbiornik wyrównawczo-odpowietrzający, 5 - przewód odprowadzający wodę ze zbiornika wyrównawczo-odpowietrzającego 4, 6 - rotametr do pomiaru natężenia przepływu wody, 7 - klarownik, 8 - pompka dozująca wskaźnik, 9 - zbiorniczek roztworu wskaźnika, 10 - odprowadzenie wody z klarownika, 11 - miejsce poboru próbek, 12 - przelew zbiornika wyrównawczo-odpowietrzającego 4, 13 - spust klarownika, 14 - przewód kanalizacyjny hali technologicznej

Do badań sprawności hydraulicznej klarownika w systemie bezpośredniego i pośredniego zasilania, wykorzystano wodę wodociągową, wykonując podłączenie instalacji pomiarowej do istniejącego przewodu wodociągowego 1. Woda pod ciśnieniem instalacji wewnętrznej hali technologicznej dopływa przewodem 2 do zbiornika wyrównawczo-odpowietrzającego 4. Zbiornik ten pracując przy stałym osyнным przelewie 12, umożliwia utrzymanie niezmiennego ciśnienia w układzie zasilającym badany klarownik 7, oraz uwalnia wodę od rozpuszczonych pęcherzyków gazu zawartego w wodzie wodociągowej. Parametry techniczne zbiornika 4 zostały tak dobrane, aby uczynić zadość założeń literatury [8, 9], tzn. zachowano czas zatrzymania wody większy od 45 sekund oraz pionową prędkość przepływu mniejszą od 50 mm/s. Ze zbiornika wyrównawczo-odpowietrzającego 4 przewodem 5 poprzez rotametr 6, woda dopływa do klarownika 7. Przewód zastępczy 3 umożliwia pracę klarownika w układzie bez 1 ze zbiornikiem wyrównawczo-odpowietrzającym.

Model klarownika 7 zaprojektowano według zasad podobieństwa geometrycznego przyjmując skalę modelową zmniejszenia wymiarów liniowych  $\lambda = 2,5$ .

Liczba Froude'a dla modelu klarownika zgodnie z teorią podobieństwa hydrodynamicznego powinna być równa liczbie Froude'a klarownika naturalnego [3, 7, 11, 16], tzn.:

$$Fr_{(n)} = Fr_{(m)} \quad (3)$$

lub

$$\frac{v_{(n)}^2}{g \cdot Rh_{(n)}} = \frac{v_{(m)}^2}{g \cdot Rh_{(m)}} \quad (4)$$

Przy zachowaniu podobieństwa geometrycznego

$$\frac{Rh_{(n)}}{Rh_{(m)}} = \lambda \quad (5)$$

skąd

$$v_{(m)} = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} v_{(n)} = \frac{1}{\sqrt{2,5}} v_{(n)} = 0,633 v_{(n)} \quad (6)$$

gdzie:

- $Fr_{(n)}$ ,  $Fr_{(m)}$  - liczba Froude'a w klarowniku naturalnym i modelowym
- $v_{(n)}$ ,  $v_{(m)}$  - prędkość przepływu w klarowniku naturalnym i modelowym
- $\lambda$  - skala zmniejszenia wymiarów liniowych
- $g$  - przyspieszenie ziemskie.

Z analizy zasad fizykalnego modelowania procesów zachodzących w klarownikach, wynika potrzeba spełnienia prawdopodobieństwa geometrycznego i mechanicznego.

Okazało się, że liczba Reynoldse'a  $Re_{(m)}$  w modelu była wielokrotnie mniejsza od liczby  $Re_{(n)}$  w naturze.

Dla wyeliminowania zależności ruchu od liczby  $Re$ , skorzystano ze zdolności samomodelowania, prowadząc badania w obszarze liczb  $Re > Re_g$  granicznego. Wartość liczby  $Re_g$  wyznaczono doświadczalnie.

Ograniczona ilość wody o wymaganym ciśnieniu dla całej instalacji badawczej w miejscu prowadzenia badań (max 0,5 l/s) zdecydowała o wykonaniu wycinka modelu, odpowiadającego w rzucie poziomym 1/4 powierzchni przekroju klarownika. Symetrycznego podziału dokonano przy pomocy przegród pionowych ze szkła organicznego z zachowaniem skali i warunków hydraulicznych przepływu wody.

Jako wskaźnika użyto rodaminę B o wzorze  $C_{28}H_{31}ClN_2O_3$  - 479,02 - produkowaną przez Polskie Odczynniki Chemiczne w Gliwicach. Stężenie dawko-

wanego roztworu wynosiło 2 g/l. Pobór roztworu rodaminy B z naczynia 9 (rys. 1) odbywał się przy pomocy pompki dozującej 8, skąd elastycznym wężykiem tłocznym roztwór ten był dawkowany do klarownika 7. Pompka dozująca 8, pracowała w sposób ciągły ze stałym natężeniem  $q$ , co pozwoliło uzyskać stałą falę przepływu wskaźnika. Dobre wymieszanie dawkowanego roztworu rodaminy B z całą objętością przepływającej wody gwarantowała zarówno sama konstrukcja klarownika jak i miejsce wprowadzenia końcówki wężyka tłocznoego. Pobór próbek odbywał się na odpływie wody z klarownika w odstępach czasu od 1 - 5 minut (punkt 11, rys. 1). Czas poboru próbki nie przekraczał 2 sekund. Cała objętość przepływającej przez klarownik wody, odprowadzana była przewodem 10 do kanalizacji. Oznaczenia stężeń wskaźnika w wodzie na odpływie z klarownika dla poszczególnych próbek dokonywano przy pomocy fotometru Pulfricha bezpośrednio po każdym pomiarze.

Rzeczywisty średni czas przepływu przez klarownik ( $T_r$ ), określano według metody Muszkalaya [6, 15], zgodnie z którą

$$T_r = \frac{A}{S} \left[ \frac{\text{mg/l} \cdot \text{s}}{\text{mg/l}} \right], \quad (7)$$

gdzie:

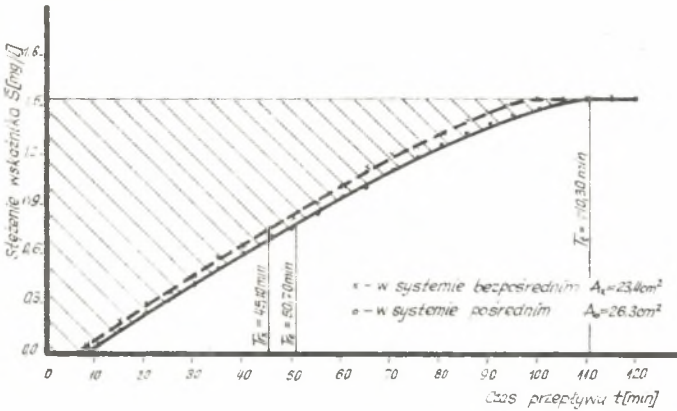
- A - powierzchnia zawarta między krzywą stałej fali przepływu, a osią rzędnymi,
- S - maksymalne stężenie wskaźnika w odpływie.

Otrzymane wyniki badań przedstawiono w postaci tablic (tablice 1 - 8) i wykresów (rys. 2 - 6).

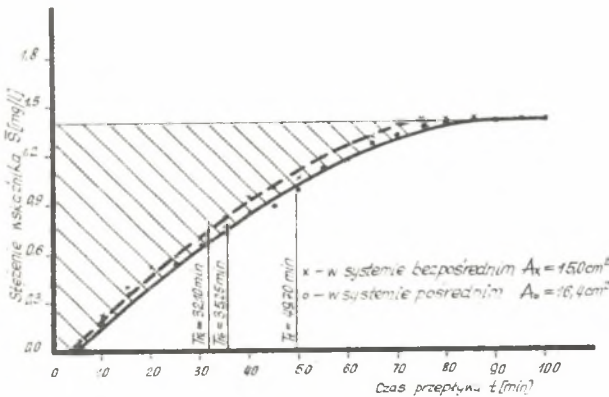
Badania przeprowadzono dla czterech charakterystycznych średnich prędkości przepływu wody w modelu w stałych warunkach. Nieznaczącym zmianom ulegała jedynie temperatura wody, co wynika z załączonych tablic pomiarowych. Założony zakres średnich prędkości przepływu wody w modelu wahał się od 0,29 - 1,16 mm/s, co po uwzględnieniu skali modelu  $\lambda = 2,5$ , odpowiada prędkościom w klarowniku naturalnym w granicach 0,46 - 1,83 mm/s. Prędkości te zostały obliczone na podstawie pomiaru wydatku modelu  $Q$  oraz znanej czynnej powierzchni przekroju klarownika. Dla otrzymania wykresu pojedynczej fali przepływu, każdy pomiar powtarzano trzykrotnie, zachowując identyczne warunki hydrauliczne.

Z otrzymanych stężeń  $S_1, S_2, S_3$  obliczano średnią arytmetyczną  $S$ , która posłużyła do wykreślenia zależności  $S = f(t)$ . Tak przyjęta metodyka obowiązywała zarówno przy systemie bezpośredniego zasilania w wodę modelu klarownika, jak również przy zasilaniu pośrednim.

W przypadku bezpośredniego systemu zasilania w wodę modelu klarownika, można było zaobserwować chmurę bardzo drobnych, rozproszonych pęcherzyków mieszaniny gazów zawartych w wodzie, czego nie stwierdzono w systemie pośrednim. Uchwycione na podstawie pomiarów stężeń wskaźnika w odpływie różnice w systemach zasilania, uwiadozniają załączone wykresy fal przepływu.



Rys. 2. Wykres fali przepływu wskaźnika w modelu  $\bar{S} = f(t)$  dla  $Q=0,100$  l/s  
 $V_{\text{SR}} = 0,290$  mm/s

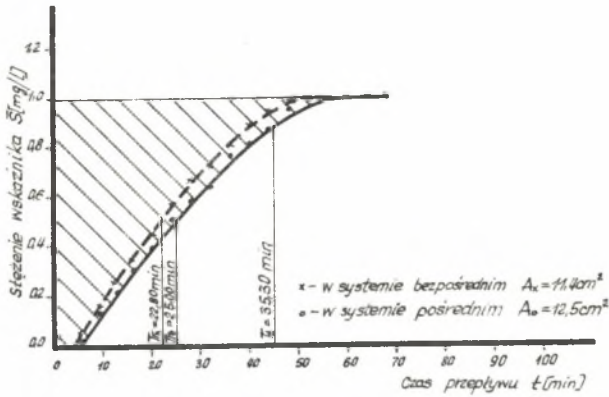


Rys. 3. Wykres fali przepływu wskaźnika w modelu  $\bar{S} = f(t)$  dla  $Q=0,222$  l/s  
 $V_{\text{SR}} = 0,645$  mm/s

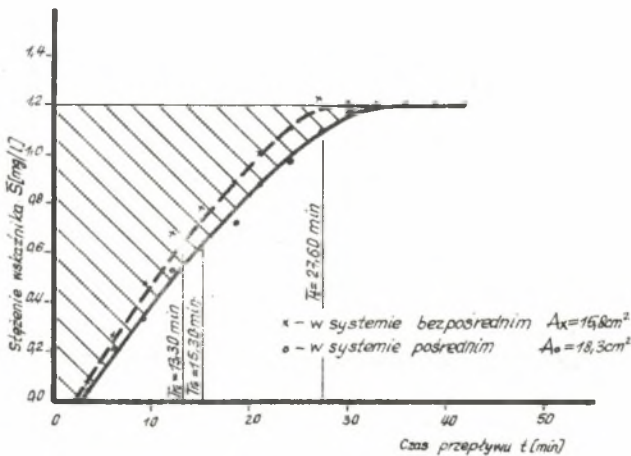
Obniżenie sprawności hydraulicznej klarownika przy zasilaniu bezpośrednim spowodowane jest prawdopodobnie nadmiarem mieszaniny gazów rozpuszczonych w wodzie. Pomiaru ilości gazów rozpuszczonych w wodzie zasilającej model badanego klarownika nie prowadzono. Badania wykazały spadek sprawności hydraulicznej modelu klarownika przy zasilaniu bezpośrednim o ok. 5-7% w stosunku do zasilania pośredniego.

Otrzymane funkcje  $\bar{S} = f(t)$  rys. 2, 3, 4, 5 można zapisać w sposób przybliżony przy pomocy konkretnego wzoru matematycznego. Przybliżenie funkcji polega na tym, że daną funkcję aproksymujemy wielomianem uogólnionym

$$L(t) = a_0 + a_1 t + \dots + a_n t^n \quad (8)$$



Rys. 4. Wykres fali przepływu wskaźnika w modelu  $\bar{S} = f(t)$  dla  $Q=0,312$  l/s  
 $V_{\text{sr}} = 0,904$  mm/s



Rys. 5. Wykres fali przepływu wskaźnika w modelu  $\bar{S} = f(t)$  dla  $Q=0,400$  l/s  
 $V_{\text{sr}} = 1,160$  mm/s

Współczynniki tego wielomianu określamy w ten sposób, aby wartości funkcji  $f(t)$  i  $L(t)$  pokrywały się w danym zbiorze punktów  $t_0, t_1 \dots t_n$ . Tak określony wielomian zwany wielomianem interpolacyjnym Lagrange'a dla funkcji  $f(t)$  można zapisać w postaci [4]:

$$f(t) = \sum_{i=0}^n \frac{(t-t_0) \dots (t-t_{i-1})(t-t_{i+1}) \dots (t-t_n)}{(t_1-t_0) \dots (t_1-t_{i-1})(t_1-t_{i+1}) \dots (t_1-t_n)} \bar{S}_i \quad (9)$$



Wyniki pomiaru sprawności hydraulicznej modelu klarownika zasilanego w wodę w systemie bezpośrednim

Lp.	Wydatek modelu Q l/s	Prędkość śr. przepływu wody w modelu V <sub>śr</sub> mm/s	Pobór prób po czasie T min	Stężenie wskaźnika w odpływie mg/l			Stężenie średnie $\bar{S}$ mg/l	Czas przepływu		Sprawność hydrauliczna $D_h = \frac{T_r}{T_t} 100$	Temperatura wody °C	Uwagi		
				S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>		teoretyczny $T_t = \frac{V}{Q}$ min	rzeczywisty średni $T_r = \frac{A \cdot X}{S}$ min					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
1	0,100	0,290	3	-	-	-								
2			5	-	-	-								
3			8	0,03	0,08	0,07	0,060						Wydajność pompki dozującej wskaźnik q = 0,078 ml/s	
4			11	0,09	0,13	0,13	0,117							
5			15	0,17	0,20	0,21	0,193							
6			20	0,29	0,30	0,31	0,300							
7			25	0,36	0,38	0,39	0,377							
8			30	0,45	0,49	0,49	0,487							
9			35	0,57	0,60	0,62	0,597							
10			40	0,64	0,65	0,66	0,650							
11			45	0,74	0,77	0,77	0,760							
12			50	0,83	0,79	0,85	0,823							
13			55	0,92	0,90	0,96	0,927							
14			60	1,07	1,08	1,10	1,083							
15			65	1,12	1,11	1,14	1,123			110,30	45,10	40,65		9,2
16			70	1,19	1,23	1,22	1,213							
17			75	1,24	1,26	1,30	1,267							
18			80	1,34	1,32	1,37	1,343							
19			85	1,40	1,40	1,43	1,410							
20			90	1,45	1,48	1,48	1,470							
21			95	1,53	1,55	1,55	1,543							
22			100	1,55	1,56	1,56	1,556							
23			105	1,56	1,57	1,56	1,563							
24			110	1,56	1,56	1,56	1,560							
25			115	1,56	1,58	1,56	1,566							

Wpływ systemów zasilania klarowników...

Wyniki pomiaru sprawności hydraulicznej modelu klarownika zasilanego w wodę w systemie bezpośrednim

Lp.	Wydatek modelu Q l/s	Prędkość śr, przepł. wody w modelu V śr mm/s	Pobór prób po czasie T min	Stężenie wskaźnika w odpływie mg/l			Stężenie średnie S̄ mg/l	Czas przepływu		Sprawność hydrauliczna $\eta_h = \frac{T_R}{T_t} \cdot 100$ %	Temperatura wody °C	Uwagi
				S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>		teoretyczny $T_t = \frac{V}{Q}$ min	rzeczywisty średni $T_R = \frac{A}{S}$ min			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1			2	-	-	-	-					
2			3	0,02	0,01	0,01	0,001					
3			5	0,07	0,06	0,08	0,070					
4			10	0,21	0,19	0,23	0,210					
5			15	0,40	0,45	0,42	0,423					
6			20	0,53	0,56	0,52	0,537					
7			25	0,58	0,58	0,59	0,583					
8			30	0,70	0,69	0,71	0,700					
9			35	0,82	0,79	0,81	0,806					
10	0,222	0,645	40	0,92	0,93	0,95	0,933	49,70	32,10	64,70	8,4	Wydajność pompki dozującej wskaźnik
11			45	0,98	1,00	0,99	0,990					q =
12			50	1,11	1,14	1,17	1,140					= 0,156 ml/s
13			55	1,17	1,19	1,19	1,183					
14			60	1,21	1,24	1,20	1,217					
15			65	1,32	1,30	1,28	1,300					
16			70	1,37	1,40	1,40	1,390					
17			75	1,39	1,42	1,43	1,413					
18			80	1,40	1,41	1,41	1,406					
19			85	1,41	1,41	1,41	1,410					
20			90	1,41	1,40	1,40	1,403					

Wyniki pomiaru sprawności hydraulicznej modelu klarownika zasilanego w wodę  
w systemie bezpośrednim

Lp.	Wydatek modelu $Q$ l/s	Prędkość śr. przepł. wody w modelu $v_{\text{śr}}$ mm/s	Pobór prób po czasie $T$ min	Stężenie wskaźnika w odpiwle mg/l			Stężenie średnie $\bar{S}$ mg/l	Czas przepływu		Sprawność hydrauliczna $\eta_h = \frac{T_r}{T_t} \cdot 100$	Temperatura wody $^{\circ}\text{C}$	Uwagi
				$S_1$	$S_2$	$S_3$		teoretyczny $T_t = \frac{Q \cdot V}{\text{min}}$	rzeczywisty średni $T_r = \frac{A}{\bar{S}} \text{ min}$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1			2	-	-	-	-					
2			3	-	-	-	-					
3			5	0,06	0,03	0,05	0,046					
4			9	0,19	0,16	0,18	0,176					
5			13	0,29	0,24	0,27	0,267					
6			16	0,36	0,32	0,33	0,336					
7			20	0,48	0,42	0,45	0,450					
8			24	0,61	0,56	0,58	0,584					
9			28	0,69	0,65	0,66	0,667					
10			32	0,74	0,69	0,74	0,723					
11	0,312	0,904	36	0,82	0,80	0,79	0,803	35,30	22,60	64,60	8,0	Wydażność pompki dozującej wskaźnik $q = 0,156 \text{ ml/s}$
12			40	0,89	0,88	0,89	0,886					
13			44	0,96	0,93	0,95	0,946					
14			48	1,00	0,98	0,99	0,990					
15			52	1,01	1,00	1,01	1,006					
16			56	1,01	1,00	1,00	1,003					
17			60	1,01	1,00	1,00	1,003					
18			64	1,00	1,00	1,00	1,000					
19			68	1,01	1,00	1,00	1,003					
20			72	1,01	1,00	1,00	1,003					

Wpływ systemów zasilania klarowników...

Wyniki pomiaru sprawności hydraulicznej modelu klarownika zasilanego w wodę  
w systemie bezpośrednim

Lp.	Wydatek modelu $Q$ l/s	Prędkość śr. przepł. wody w modelu $v_{\text{śr}}$ mm/s	Pobór prób po czasie $T$ min	Stężenie wskaźnika w odpływie mg/l			Stężenie średnie $\bar{S}$ mg/l	Czas przepływu		Sprawność hydrauliczna $\eta_h = \frac{T_r}{T_t} \cdot 100$ %	Temperatura wody $^{\circ}\text{C}$	Uwagi
				$S_1$	$S_2$	$S_3$		teoretyczny $T_t = \frac{V}{Q}$ min	rzeczywisty średni $T_r = \frac{A}{\bar{S}}$ min			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1			2	-	-	-	-					
2			3	0,09	0,09	0,03	0,070					
3			6	0,29	0,29	0,24	0,273					
4			9	0,50	0,45	0,53	0,494					
5			12	0,66	0,69	0,71	0,690					
6			15	0,77	0,82	0,79	0,793					
7			18	0,87	0,90	0,92	0,896					
8	0,400	1,160	21	0,98	1,03	1,00	1,003	27,60	13,30	48,20	8,0	
9			24	1,11	1,14	1,08	1,110					
10			27	1,24	1,21	1,24	1,230					
11			30	1,22	1,21	1,20	1,210					
12			33	1,20	1,21	1,21	1,206					
13			36	1,21	1,20	1,20	1,203					
14			39	1,20	1,21	1,22	1,210					
15			42	1,20	1,21	1,20	1,203					

Wydajność  
pompki  
dozującej  
wskaźnik  
 $q = 0,240$   
ml/s

Wyniki pomiaru sprawności hydraulicznej modelu klarownika zasilanego w wodę w systemie pośrednim

Ip.	Wydatek modelu Q l/s	Prędkość śr. przepł. wody w modelu V <sub>śr</sub> mm/s	Pobór prób po czasie T min	Stężenie wskaźnika w odpływie mg/l			Stężenie średnie $\bar{S}$ mg/l	Czas przepływu		Sprawność hydrauliczna $Q_n \frac{T_r}{T_t} 100$	Temperatura wody °C	Uwagi
				S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>		teoretyczny $T_t = \frac{V}{Q}$ min	rzeczywisty średni $T_r = \frac{A}{\bar{S}}$ min			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1			3	-	-	-	-					
2			5	-	-	-	-					
3			8	0,01	-	0,03	0,013					
4			11	0,09	0,06	0,06	0,070					
5			15	0,16	0,15	0,16	0,157					
6			20	0,27	0,24	0,27	0,260					
7			25	0,34	0,30	0,32	0,320					
8			30	0,42	0,39	0,40	0,400					
9			35	0,56	0,53	0,53	0,540					
10			40	0,61	0,58	0,61	0,600					
11			45	0,69	0,69	0,71	0,697					
12			50	0,74	0,72	0,77	0,743					
13			55	0,85	0,85	0,87	0,857					
14			60	0,94	0,95	0,95	0,947					
15	0,100	0,290	65	1,00	1,00	1,03	1,010					
16			70	1,11	1,13	1,14	1,126					
17			75	1,19	1,21	1,20	1,200	110,30	50,70	45,80	10,0	
18			80	1,26	1,30	1,30	1,287					
19			85	1,34	1,37	1,37	1,360					
20			90	1,43	1,40	1,43	1,420					
21			95	1,45	1,43	1,45	1,447					
22			100	1,50	1,48	1,50	1,494					
23			105	1,55	1,53	1,58	1,553					
24			110	1,56	1,55	1,57	1,560					
25			115	1,56	1,56	1,57	1,563					
26			120	1,56	1,56	1,57	1,563					

Wydażność  
pompki  
dozującej  
wskaźnik  
q = 0,078  
ml/s

Wyniki pomiaru sprawności hydraulicznej modelu klarownika zasilanego w wodę w systemie pośrednim

Lp.	Wydatek modelu $Q$ l/s	Prędkość śr. przepł. wody w modelu $V_{\text{śr}}$ m/s	Pobór prób po czasie $T$ min	Stężenie wskaźnika w odpływie mg/l			Stężenie średnie $\bar{S}$ mg/l	Czas przepływu		Sprawność hydrauliczna $\eta_h = \frac{T_r}{T_t} \cdot 100$	Temperatura $^{\circ}\text{C}$	Uwagi
				$S_1$	$S_2$	$S_3$		teoretyczny $T_t = \frac{Q}{V}$ min	rzeczywisty średni $T_r = \frac{A}{S}$ min			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1			2	-	-	-	-					
2			3	0,01	0,03		0,001					
3			5	0,06	0,09	0,05	0,066					
4			10	0,20	0,19	0,21	0,200					
5			15	0,37	0,40	0,34	0,370					
6			20	0,48	0,50	0,48	0,487					
7			25	0,58	0,59	0,56	0,577					
8			30	0,66	0,69	0,66	0,670					
9			35	0,79	0,82	0,77	0,784					
10			40	0,85	0,87	0,87	0,863					
11			45	0,95	0,95	0,94	0,947					
12			50	1,09	1,11	1,08	1,093	49,70	35,25	70,70	8,0	
13	0,222	0,645	55	1,14	1,17	1,14	1,150					
14			60	1,19	1,21	1,19	1,197					
15			65	1,26	1,30	1,26	1,274					
16			70	1,32	1,33	1,30	1,316					
17			75	1,38	1,40	1,39	1,390					
18			80	1,40	1,41	1,40	1,403					
19			85	1,41	1,41	1,40	1,406					
20			90	1,40	1,41	1,40	1,403					
21			95	1,40	1,41	1,40	1,403					
22			100	1,40	1,41	1,40	1,403					

Wydajność pompki dozującej wskaźnik  $q = 0,156$  ml/s

Wyniki pomiaru sprawności hydraulicznej modelu klarownika zasilanego w wodę w systemie pośrednim

Lp.	Wydatek modelu $Q$ l/s	Prędkość śr. przepł. wody w modelu $V_{\text{śr}}$ mm/s	Pobór prób po czasie $T$ min	Stężenie wskaźnika w od-pływie mg/l			Stężenie średnie $\bar{S}$ mg/l	Czas przepływu		Sprawność hydrau-liczna $\eta_h = \frac{T}{T_t} \cdot 100$ %	Tempera-tura wody $^{\circ}C$	Uwagi
				$S_1$	$S_2$	$S_3$		teore-tyczny $T_t = \frac{V}{Q}$ min	rzeczy-wisty średni $T_r = \frac{A}{S_0}$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1			2	-	-	-	-					
2			3	-	-	-	-					
3			5	0,01	0,03	0,01	0,016					
4			9	0,10	0,12	0,09	0,133					
5			13	0,21	0,22	0,24	0,223					
6			16	0,29	0,33	0,32	0,313					
7			20	0,40	0,41	0,37	0,393					
8			24	0,50	0,53	0,49	0,506					
9			28	0,58	0,61	0,56	0,583					
10			32	0,63	0,66	0,65	0,646					
11	0,312	0,904	36	0,78	0,78	0,77	0,776	35,30	25,00	70,90	8,5	
12			40	0,82	0,85	0,82	0,830					
13			44	0,87	0,88	0,86	0,870					
14			48	0,95	0,97	0,95	0,956					
15			52	1,02	1,02	1,00	1,013					
16			56	1,03	1,00	1,00	1,010					
17			60	1,00	0,99	1,00	0,996					
18			64	1,00	1,00	1,00	1,000					
19			68	1,00	1,00	1,00	1,000					
20			72	1,01	1,00	1,00	1,003					

Wydajność pompki dozującej wskaźnik  $q = 0,156$  ml/s

Wpływ systemów zasilania klarowników... 27

Wyniki pomiaru sprawności hydraulicznej modelu klarownika zasilanego w wodę w systemie pośrednim

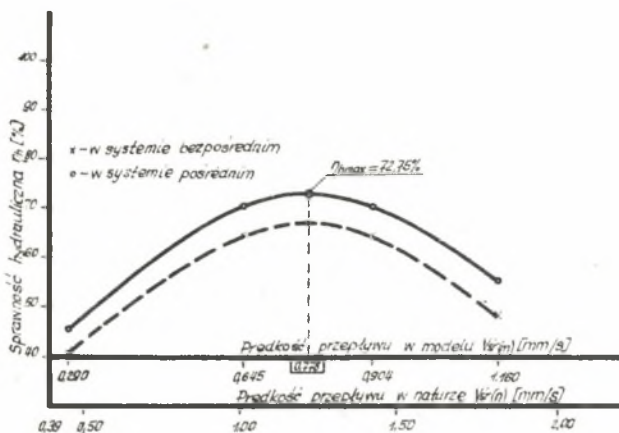
Lp.	Wydatek modelu $Q$ l/s	Prędkość śr. przepł. wody w modelu $v_{\text{śr}}$ mm/s	Pobór prób po czasie $T$ min	Stężenie wskaźnika w odpływie mg/l			Stężenie średnie $S$ mg/l	Czas przepływu		Sprawność hydrauliczna $\eta_h = \frac{T_r}{T_t} \cdot 100$	Temperatura wody $^{\circ}\text{C}$	Uwagi
				$S_1$	$S_2$	$S_3$		teoretyczny $T_t = \frac{Q}{v}$ min	rzeczywisty średni $T_r = \frac{A}{S_{\text{śr}}}$ min			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1			2	-	-	-	-					
2			3	0,03	0,09	-	0,040					
3			6	0,24	0,19	0,21	0,213					
4			9	0,34	0,29	0,32	0,317					
5			12	0,52	0,50	0,56	0,527					
6			15	0,61	0,56	0,66	0,610					
7			18	0,71	0,66	0,77	0,713					
8			21	0,85	0,87	0,92	0,880					
9	0,400	1,160	24	0,95	0,97	0,99	0,970	27,60	15,30	55,70	8,5	
10			27	1,08	1,11	1,08	1,090					
11			30	1,20	1,22	1,18	1,200					
12			33	1,20	1,21	1,20	1,203					
13			36	1,21	1,21	1,19	1,203					
14			39	1,20	1,21	1,20	1,203					
15			42	1,20	1,20	1,21	1,203					

Wydażność  
pompi  
dozużającej  
wskaźnik  
 $q = 0,240$   
ml/s



W powyższej zależności  $\bar{S}_1$  oznacza stężenie wskaźnika uzyskane z pomiarów po upływie czasu  $t_1$ , a  $n$  ilość pobranych próbek.

Nie bez wpływu na sprawność hydrauliczną pozostaje również prędkość przepływającej w klarowniku wody. Stwierdzono, że najbardziej korzystne hydrauliczne warunki przepływu wody (w badanym typie klarownika) istnieją dla prędkości w przedziale 1,00 – 1,42 mm/s. Pozostałe dwa skrajne przedziały (rys. 6), cechuje wyraźne obniżenie sprawności hydraulicznej.



Rys. 6. Wykres zależności sprawności hydraulicznej od średniej prędkości przepływu wody w klarowniku  $\eta_h = f(V_{sr})$

Maksimum funkcji  $\eta_h = f(V_{sr})$  - rys. 6 wyznaczono z równania paraboli

$$\eta_h = a V_{sr}^2 + b V_{sr} + c \quad (10)$$

będącego aproksymacją tej funkcji.

Współczynniki  $a, b, c$  otrzymano rozwiązując następujący układ równań:

$$\begin{aligned} \eta_{h1} &= a V_{sr1}^2 + b V_{sr1} + c \\ \eta_{h2} &= a V_{sr2}^2 + b V_{sr2} + c \\ \eta_{h3} &= a V_{sr3}^2 + b V_{sr3} + c, \end{aligned} \quad (11)$$

gdzie  $\eta_{h1}, \eta_{h2}, \eta_{h3}$  oraz  $V_{sr1}, V_{sr2}, V_{sr3}$  są wartościami znanymi uzyskanymi z pomiarów.

Uwzględniając dane z pomiarów (tablice 5,6, 8), układ równań(11) przyj-  
mie postać:

$$45,80 = 0,290^2 a + 0,290 b + c$$

$$70,90 = 0,904^2 a + 0,904 b + c \quad (12)$$

$$55,70 = 1,16^2 a + 11,6 b + c$$

Obliczone stałe wynoszą:

$$a = -112,33; \quad b = 175,50; \quad c = 4,60$$

stąd

$$V_{sr_{max}} = -\frac{b}{2a} = -\frac{175,50}{2 \cdot (-112,33)} = 0,778 \text{ mm/s}$$

oraz

$$\eta_{h_{max}} = 72,75\%$$

Biorąc pod uwagę skalę modelu  $\lambda = 2,5$ , maksimum sprawności hydraulicznej badanego urządzenia występuje przy prędkości przepływu w naturze  $V_{sr} = 1,23 \text{ mm/s}$ .

### Wnioski

1. Na podstawie przeprowadzonych badań hydraulicznych stwierdzono wyższość systemu pośredniego zasilania w wodę klarowników nad systemem bezpośrednim. Wynika to ze znacznie korzystniejszych warunków przepływu wody w badanym modelu, czego miernikiem jest porównanie sprawności hydraulicznych.

W badanym zakresie prędkości 0,46 - 1,83 mm/s w warunkach naturalnych porównanie to wypada na niekorzyść systemu bezpośredniego.

2. Dla ostatecznego ustalenia ujemnego wpływu systemu bezpośredniego zasilania w wodę na sprawność urządzeń z zawieszonym osadem, celowe jest przeprowadzenie technologicznych badań porównawczych.

Niezależnie od wyników otrzymanych badań, można przypuszczać, że sprawność ogólna będąca funkcją sprawności hydraulicznej i technologicznej obniży się w tym przypadku.

3. Otrzymany na podstawie badań optymalny zakres prędkości przepływu wody w klarowniku 1,00 - 1,42 mm/s, dający najwyższą sprawność hydrauliczną, wymaga sprawdzenia technologicznego.

4. Optymalne hydrauliczne warunki pracy urządzeń z zawieszonym osadem często odbiegają od wymogów chemicznych procesów oczyszczania wody. Niezbędna jest więc wzajemna korelacja hydraulicznych i technologicznych parametrów pracy ww. urządzeń.

## LITERATURA

- [1] Aitken M.E.: Reflections on sedimentation theory and practice. Effluent Water Treatment Journal nr 4,5. 1967.
- [2] Bulkai L.: A vizsítítasban alkalmazott derítők technologiai vizsgálataival nyert tapasztalatok. Vizügyi Közlemények "VITUKI" Budapest 1971.
- [3] Burdych J.: Vyzkum poměru proudění ve vtoku do kruhové usazovací nádrže. Vodní hospodářství nr 1. 1962.
- [4] Demidowicz B.P., Maron I.A., Szuwałowa E.Z.: Metody numeryczne. Przybliżenie funkcji, równania różniczkowe i całkowe. Część II. PWN. Warszawa 1965.
- [5] Dikariewskij W.S.: Wlijanije skoplenij wozducha na rabotu napornych wodoprowodow. WIST nr 4 1962.
- [6] Glinicki Z., Roman M.: O metodzie badań zbiorników przepływowych przy pomocy wskaźników. GWiTS nr 3. 1960.
- [7] Gould B.W.: Podobnost pri modelach pre výskum sedimentácie. Vodohospodarský časopis. t. 16. nr 4. 1968.
- [8] Klaczko W.A., Apelcin J.E.: Oozistka prirodnych wod. Moskwa 1971.
- [9] Koźminow W.F.: Oozistka pitiewej i techniozeskoj wody. Moskwa 1971.
- [10] Kowal A.L.: Ustalenie pojemności czynnej osadnika za pomocą znaczonej fali przepływu. GWiTS nr 10. 1960.
- [11] Kowal A.L.: Badania nad możliwością równomiernego rozdziału wody w poprzecznym przekroju osadnika o przepływie poziomym w celu usprawnienia jego pracy. Archiwum Hydrotechniki VII. 1961.
- [12] Kuś K.: Zagadnienia odpowietrzenia magistralnych przewodów wodociągowych. GWiTS nr 1. 1971.
- [13] Lechert E., Królikowski W.: Zastosowanie znaczników do badań sprawności hydraulicznej urządzeń do oczyszczania ścieków. GW nr 4. 1972.
- [14] Löffler H.: Bemessung und Einsatz von Be- und Entlüftungsventilen in der Wasserwirtschaft. Wasserwirtschaft - Wassertechnik t. 16. nr 12. 1966.
- [15] Muszkalay L., Vagas J.: Modification of the tracer measuring method in settling basins. Sewage and Industry Wastes nr 9. 1958.
- [16] Szyfrin S.M.: Sowremiennyje sposoby mechaniczeskoj oozistki stocznych wod. Państwowe Wydawnictwo Literatury Budowlanej i Architektonicznej. Leningrad, Moskwa 1956.
- [17] Tesarik J.: Geschwindigkeiten in Flockenwirbelschichten und Aufenthaltszeiten in Schlammkontaktanlagen. Wasserwirtschaft-Wassertechnik nr 6. 1963.
- [18] Whitsett A.M., Christiansen L.E.: Air in transmission mains. JAWWA Vol. 61. 11. 1969.

- [19] Wodołazskij W.I.: O rozmieszczeniu przyborow dla wpuska i wypuska wozducha po dlinie napornych magistralnych wodowodow. Wodosnabżenjeje promyszlennych sooruzhenij. Kijew 1967.

#### ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ ПИТАНИЯ ОСВЕТИТЕЛЕЙ НА ИХ ГИДРАВЛИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

##### Резюме

На гидравлический коэффициент полезного действия осветителей, кроме формы и типа устройства, способа подвода и отвода воды, определенное влияние оказывает также система питания этих устройств водой.

Целью проведенных исследований было сравнение влияния системы питания осветителей на их коэффициент полезного действия при непосредственном и посредственном подводах воды.

Результаты полученные для разных скоростей потока воды в осветителе свидетельствуют о высшем коэффициенте полезного действия посредственной системы питания осветителей, а также позволяют определить оптимальный диапазон скоростей потока воды. Вышеупомянутые зависимости требуют технологической проверки.

#### THE INFLUENCE OF CLARIFIER FEEDING SYSTEMS ON HEIV HYDRAULIC EFFICIENCY

##### Summary

Besides the installation shape and type and the means of water feed and discharge, the system of water supply is decisive in the hydraulic efficiency of clarifiers.

The aim of the conducted investigations was an attempt of comparing the influence of the clarifiers supply system on their hydraulic efficiency in the direct and indirect water delivery system.

The results obtained for the various water flow rates in the clarifier show a higher efficiency in case of the indirect system of clarifiers feeding and permit to estimate the optimum range of water flow rates. The obtained relationships need technological verification.