

Karol KUŚ

BADANIA MODELOWE NAD OKREŚLENIEM SPRAWNOŚCI
HYDRAULICZNEJ KLAROWNIKÓW

Streszczenie. W artykule omówiono metodykę prowadzenia hydraulicznych badań modelowych klarowników. Podano przykład tego rodzaju badań z uwzględnieniem zasad fizykalnego modelowania, wyboru wskaźnika i metody jego dawkowania w pomiarach sprawności hydraulicznej.

Nowoczesna technologia chemicznego oczyszczania wód powierzchniowych opiera się w większości na wykorzystaniu sorpcyjnych właściwości złoża zawieszzonego osadu. Przebieg procesu oczyszczania następuje w szeregu konstrukcjach urządzeń zwanych ogólnie klarownikami. Ogromna mnogość rozwiązań konstrukcyjnych tych urządzeń uniemożliwia ich stosowanie tylko na podstawie danych z piśmiennictwa bez przeprowadzenia doświadczalnych badań modelowych zarówno hydraulicznych jak i technologicznych. Ponadto rozwiązania zagraniczne często trudno dostosować do krajowych warunków oczyszczania wody. Stąd konieczne są zarówno poprzedzające, jak i eksploatacyjne badania modelowe.

Utrzymanie wysokiej sprawności hydraulicznej i technologicznej klarowników rzutuje na jakość oczyszczanej wody i ilość zużytych reagentów.

Aktualne kierunki intensyfikacji pracy urządzeń z zawieszonym osadem opierają się na nowych rozwiązaniach konstrukcyjnych, usprawnieniach konstrukcji istniejących i umiejętnym stosowaniu chemicznych środków wspomagających. Z szeregu czynników decydujących o jakości oczyszczanej wody w klarownikach, podstawowe znaczenie ma optymalny kształt konstrukcji urządzenia oraz umiejętny dobór technologii jej oczyszczania. Kształt i warunki hydrodynamiczne przepływu wody w klarowniku determinują przebieg realizowanego w nim procesu. W badaniach kształtu urządzenia i warunków hydrodynamicznych przepływu wody potrzebny jest model, zbudowany według zasad fizykalnego modelowania. Modelowanie fizykalne zastępuje z powodzeniem kosztowne i czasochłonne badania ruchowe, dostarczając często informacji trudnych do uzyskania drogą badań na istniejących obiektach.

Podjęwszy hydrauliczne badania modelowe klarownika należy ściśle określić warunki konieczne i wyetarczające dla modelowania fizykalnego. Należy zatem zapewnić warunki jednoznaczności dla modelu i jego naturalnego wzorca, na które składają się:

- podobieństwo geometryczne modelu i obiektu, w którym przebiega proces,
- równość liczbowa określających kryteriów podobieństwa, przy czym należy uzyskać równość liczb kryterialnych w dowolnej parze odpowiadających sobie przekrojom modelu i obiektu naturalnego,
- podobieństwo fizycznych parametrów ciał w odpowiadających sobie punktach modelu i wzorca,
- podobieństwo granicznych i czasowych warunków (w przypadku badań hydraulicznych prowadzonych na czystej wodzie wodociągowej, np. podobieństwo ruchu cieczy na dopływie i odpływie, podobieństwo pól prędkości i temperatury).

W zagadnieniach tych można wyróżnić trzy podstawowe wielkości fizyczne, a mianowicie: długość, masę i czas. Na tej podstawie można określić trzy skale modelowania, przyporządkowując każdemu równaniu fizykalnemu równanie wymiarowe [12, 14]. Postać takiego równania zależy od obranego układu wielkości podstawowych.

Na podstawie analizy zasad fizykalnego modelowania procesów zachodzących w klarownikach, metodą iloczynów bezwymiarowych [12] ustalono potrzebę spełnienia podobieństwa geometrycznego i mechanicznego. Okazało się, że liczbami kryterialnymi, które należy brać pod uwagę w omawianym przypadku, są [2, 5, 9, 10, 12, 14, 16]:

liczba Reynolda

$$Re = \frac{W \cdot l}{\nu} = \text{idem} \quad (1)$$

liczba Froude'a

$$Fr = \frac{g \cdot l}{W^2} = \text{idem} \quad (2)$$

liczba Eulera

$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho \cdot W^2} = \text{idem} \quad (4)$$

gdzie:

W, ρ, ν - prędkość, gęstość, kinematyczny współczynnik lepkości wody,

Δp - różnica ciśnień w dwóch charakterystycznych punktach,

l - charakterystyczny wymiar liniowy,

g - przyspieszenie siły ciężkości.

Fizykalne znaczenie wymienionych kryteriów, jak wiadomo ogólnie, jest następujące:

- kryterium Re - określa stosunek sił bezwładności do sił lepkości, tzn. charakter ruchu wody (laminarny, burzliwy), a także rozkład prędkości w strumieniu wody,
- kryterium Fr - określa stosunek siły ciężkości do sił bezwładności, np.: gdy występuje wpływ siły ciężkości jako skutek niejednorodności lub różnych gęstości ciał,
- kryterium Eu - określa stosunek różnicy ciśnień w dwóch charakterystycznych punktach strumienia do jego energii kinetycznej i charakteryzuje rozkład ciśnień w strumieniu.

Z uwagi na to, że w wodzie znajdującej się np. w recyrkulacji w obiekcie naturalnym zawarte są cząstki zawieszin i kłaczków, należałoby ustalić również kryteria podobieństwa dla rozproszony fazy stałej. Jest to trudne ze względu na niestały przebieg procesu koagulacji. Faza stała występuje tutaj w postaci bardzo drobnych kłaczków i praktycznie nie zmienia struktury ruchu, stąd wpływ udziału tej fazy pominięto, a badania prowadzono przy użyciu czystej wody [6, 7, 16]. W przypadku modelowania zasiesiny należałoby dodatkowo uwzględnić różnicę gęstości kłaczków i wody, a tym samym kryterium określające Archimedes:

$$Ar = \frac{\rho \cdot d^3}{w} \cdot \frac{\Delta \rho}{\rho} = \text{idem}, \quad (4)$$

gdzie:

d - średnica cząstek zawieszin.

Równoczesne spełnienie podanych wyżej kryteriów nie jest możliwe w badaniach modelowych. Zapewnienie pełnego podobieństwa i osiągnięcie równości wymienionych kryteriów w modelu i naturze byłoby możliwe w przypadku modelowania przy użyciu specjalnego medium, zwykle fizycznie nierealnego. Natomiast w przypadku modelowania za pomocą czystej wody wodociągowej nie udało się utrzymać równości wymienionych kryteriów. Wynika stąd konieczność stosowania modelowania przybliżonego, nie naruszającego zasad modelowania, dzięki burzliwości ruchu wody w modelu i związanej z tym zdolności samomodelowania. Jednocześnie nie trudno się przekonać, że liczba Re' w modelu jest w tym przypadku wielokrotnie mniejsza od liczby Re' w naturze. Zdolność samomodelowania [14, 16], wiąże się z zanikiem zależności przebiegu zjawiska od kryterium określającego proces wody, gdy kryterium to przekracza określoną wartość. Zatem w modelu wystarczy utrzymać ruch cieczy w granicach intensywnej i ustabilizowanej burzliwości, zachowując podobieństwo granicznych warunków na wejściu i wyjściu, a badania prowadzić w obszarze liczb $Re > Re_{kr}$.

Potrzebne skale wielkości fizycznych dla modelowania przybliżonego podano w tabeli 1.

Tabela 1

Lp.	Wielkość modelowana	Ozna- cze- nie	Jed- noet- ki	Skale modelowania przy zachowaniu podobieństwa	
				pełnego	przybli- żonego
1	2	3	4	5	6
1	Długość	L	m	S_1	S_1
2	Wysokość i głębokość	H	m	S_1	S_1
3	Powierzchnia	A	m^2	S_1^2	S_1^2
4	Objętość	V	m^3	S_1^3	S_1^3
5	Współczynnik lepkości dynamicznej	μ	$\frac{kg}{m \cdot s}$	$S_1^{1,5}$	1
6	Współczynnik lepkości kinematycznej	ν	m^2/s	$S_1^{1,5}$	1
7	Gęstość	ρ	kg/m^3	1	1
8	Prędkość	W	m/s	$S_1^{0,5}$	$S_1^{0,5}$
9	Objętościowe natężenie przepływu	Q	m^3/s	$S_1^{2,5}$	$S_1^{2,5}$
10	Czas	T	s	$S_1^{0,5}$	$S_1^{0,5}$
11	Wysokość ciśnienia	h_p	N/m^2	S_1	S_1
12	Współczynnik oporu	R	N/m	1	1
13	Chropowatość bezwzględna ścian	k	m	S_1	S_1

Granicę samomodelowania, powyżej której zależność $Eu = f(Re^*)$ przyjmuje wartość stałą, wyznaczono doświadczalnie.

Podstawowe hydrauliczne badania modelowe przeprowadzono na czystej wodzie wodociągowej stosując skalę zmniejszenia wymiarów liniowych $S_1 = 0,4$. Dla potwierdzenia prawidłowości przyjętych zasad fizykalnego modelowania, dokonano pomiarów porównawczych przy skali liniowej urządzenia $S_1 = 0,2$.

Wielkością określającą całość warunków hydraulicznych danego urządzenia jest jego sprawność hydrauliczna zapisana wzorem:

$$\eta_h = \frac{T_r}{T_t} \cdot 100\% \quad (5)$$

gdzie:

η_h - sprawność hydrauliczna,

T_r - rzeczywisty średni czas przepływu wody przez urządzenie,

T_t - teoretyczny (obliczeniowy) czas przepływu.

Modelowany proces przebiega szybciej aniżeli w naturze ($S_T = S_1^{0,5}$), jednak wyznaczona wzorem (5) sprawność hydrauliczna przyjmuje wartości identyczne, gdyż jednakowo skracają się czasy rzeczywiste T_r i teoretyczne T_t .

Z kolei czas teoretyczny oblicza się z zależności:

$$T_t = \frac{V}{Q}, \quad (6)$$

gdzie:

V - czynna objętość urządzenia,

Q - objętościowe natężenie przepływu wody.

W badaniach sprawności hydraulicznej urządzeń do oczyszczania wody lub ścieków, w szczególności dla ustalenia rzeczywistego średniego czasu przepływu wody przez dane urządzenie, używa się tzw. wskaźników w postaci barwników, soli nieorganicznych i izotopów promieniotwórczych. Dodany na dopływ do badanego urządzenia wskaźnik nie może zmienić warunków hydrodynamicznego przepływu, jak również nie może ulegać stopniowemu zanikowi na skutek zachodzących reakcji chemicznych, działania światła, sorpcji, sedimentacji 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. Mimo szeregu publikacji [1, 4, 6, 7, 8, 11, 18] dotyczących stosowania wskaźników w badaniach urządzeń do oczyszczania wody lub ścieków, brak jednolitej metodyki badań skłania do analizy tego zagadnienia. Dużą dokładność oznaczeń zapewnia metoda polegająca na zastosowaniu izotopów promieniotwórczych. Sposób ten jednak, aczkolwiek bardzo interesujący, wymaga dysponowania odpowiednią aparaturą pomiarową i przeszkolonym w tym kierunku personelem. Przed podjęciem decyzji dotyczącej wyboru wskaźnika, rozpatrywano możliwość zastosowania izotopów promieniotwórczych. Z uwagi na niedysponowanie odpowiednim wyposażeniem aparaturowym i pomieszczeniem odpowiadającym wymaganiom bezpieczeństwa pracy w tym kierunku, sposobu tego zaniechano.

Oprócz izotopów promieniotwórczych w badaniach hydraulicznych urządzeń do oczyszczania wody szeroko stosowany jest jako wskaźnik jon litu [1, 4]. Zastosowanie jonu litu ma tę zaletę, że wody naturalne nie zawierają jego związków, stąd mała ilość wprowadzonego odczynnika może być szybko i łatwo oznaczona metodą fotometrii płomieniowej. Jon litu nie wykazuje właściwości sorpcyjnych, nie powoduje zasadniczych zmian ciężaru właściwego, jak również nie jest szkodliwy dla zdrowia. Zalety te świadczą o jego du-

zej przydatności w badaniach hydraulicznych pracujących urządzeń do oczyszczania wody.

W technice stosowania wskaźników przy badaniach hydraulicznych urządzeń do oczyszczania wody lub ścieków szczególnie przydatne okazały się, oprócz izotopów promieniotwórczych i soli litu, wskaźniki fluorescencyjne [3, 6, 7, 8]. Wskaźniki te cechuje dobra rozpuszczalność, niski koszt, ogólna dostępność, wystarczająca stabilność, znikoma dyfuzja, intensywne barwa oraz łatwość oznaczania.

Zastosowanie wskaźników barwnych umożliwia obserwację poszczególnych strug wody z określeniem ich drogi i kierunku. Zaleta ta ma dodatkowe istotne znaczenie w przypadku prowadzenia badań modelowych z koniecznością wizualnej analizy zachodzących zjawisk.

W przeprowadzonych badaniach jako wskaźnika użyto rodaminę B o wzorze $C_{28}H_{31}ClN_2O_3$ - 479,02, produkowaną przez Polskie Odczynniki Chemiczne w Gliwicach.

Z danych literaturowych [1, 4, 6, 7, 13, 17] wynika, że do najczęściej stosowanych metod dawkowania wskaźnika w badaniach urządzeń do oczyszczania wody lub ścieków zalicza się metody:

- dawkowania impulsowego (pozwalającego otrzymać elementarną falę przepływu), kiedy T_d jest nieskończenie małe, równe dT_d ,
- dawkowania okresowego (pozwalającego otrzymać zmienną falę przepływu), kiedy $T_d < T_n - T_o$,
- dawkowania ciągłego (pozwalającego otrzymać stałą falę przepływu), kiedy $T_d \geq T_n - T_o$.

gdzie:

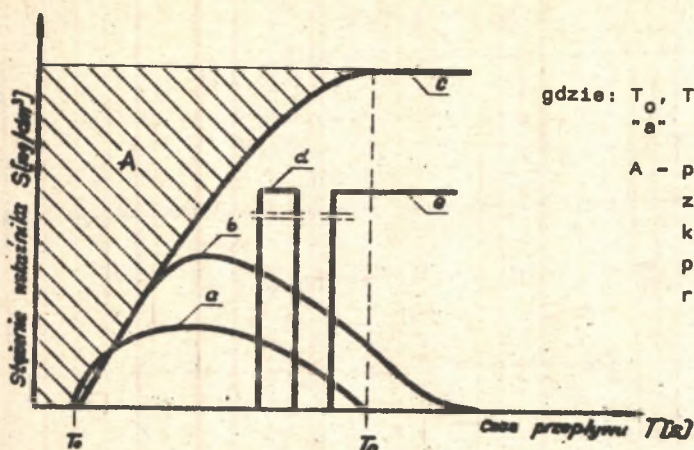
T_d - czas dawkowania,

T_o - czas przepływu najszybciej płynącej cząstki wody przez badane urządzenie,

T_n - czas przepływu najwolniej płynącej cząstki wody przez badane urządzenie.

Przykładowo literaturowe wykresy fal przepływu zostały przedstawione na rys. 1. Z wykresów tych wynika, że w zależności od sposobu dawkowania wskaźnika na dopływie, można uzyskać elementarną zmienną lub stałą falę przepływu, będącą graficznym obrazem statycznego rozkładu czasów przebywania poszczególnych cząstek wody w urządzeniu.

Z przedstawionych na rys. 1 wykresów fal przepływu, zarówno falę elementarną, jak również falę zmienną cechuje pewna niedoskonałość, wynikająca z faktu otrzymywania zmiennych kształtów krzywych zależnie od stężenia i czasu dawkowania wskaźnika. Stąd też, wymienione wyżej dwie pierwsze metody są stosowane w praktyce pod warunkiem zachowania jednakowych parametrów dawkowania wskaźnika (stężenia i czasu), dla umożliwienia porówny-



gdzie: T_0 , T_n dotyczą fali
"a" oraz "c"

A - powierzchnia
zawarta między
krzywą stałej fali
przepływu a osią
rzędnych

Rys. 1. Wykres fal przepływu

a - fala elementarna, b - fala zmienna, c - fala stała, d - fala zmienna urządzenia idealnego, e - fala stała urządzenia idealnego

walności otrzymanych wyników. W przeciwnym razie zarówno kształt krzywej przepływu jak i średni czas przepływu będzie każdorazowo inny.

W badaniach przyjęto metodę dawkowania ciągłego (pozwalającą otrzymać stałą falę przepływu), dawkując wskaźnik ze stałą intensywnością do chwili uzyskania stałego stężenia w odpływie. Jest to najdokładniejsza z dotychczas znanych metod badania urządzeń przepływowych, której podstawy teoretyczne opracował Muszkalay i Vages [13]. Zgodnie z tą metodą, rzeczywisty średni czas przepływu określany jest z następującej zależności [4, 13]:

$$T_r = \frac{A}{S} \left[\frac{\frac{mg}{dm^3} \cdot s}{\frac{mg}{dm^3}} \right] \quad (7)$$

gdzie:

T_r - rzeczywisty średni czas przepływu,

A - powierzchnia zawarta między krzywą stałej fali przepływu, a osią rzędnych (rys. 1),

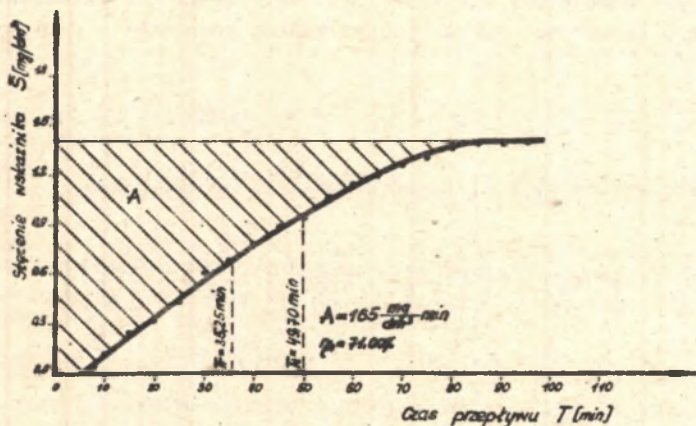
S - maksymalne stężenie wskaźnika w odpływie.

Na podstawie otrzymanych krzywych można wnioskować o całokształcie warunków hydraulicznych panujących w badanym urządzeniu, jak również określać jego sprawność hydrauliczną. W omawianym przypadku pobór próbek odbywał się na odpływie wody z klarownika w odstępach czasu od 1-5 minut. Dla otrzy-

Wyniki pomiaru sprawności hydraulicznej modelu klerownika

Lp.	Prędkość średnia przepl. wody w modelu V_{sr} mm/s	Pobór prób po czasie T min	Stężenie wakażnika w odpływie mg/dm ³			Stężenie średnie \bar{S} mg/dm ³	Czas przepływu		Sprawność hydrauliczna $\eta_h = \frac{T_r}{T_t} 100$ %	Temp. wody K
			S ₁	S ₂	S ₃		teore- tyczny $T_t = \frac{V}{Q}$ min	rzeczywi- sty średni $T_r = \frac{A}{\bar{S}}$ min		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1		5	-	-	-	-				
2		8	0,03	0,03	0,04	0,033				
3		10	0,10	0,11	0,09	0,100				
4		15	0,22	0,25	0,26	0,243				
5		20	0,32	0,29	0,33	0,314				
6		25	0,43	0,45	0,42	0,433				
7		30	0,61	0,63	0,58	0,604				
8		35	0,66	0,69	0,65	0,667				
9		40	0,79	0,80	0,77	0,786				
10		45	0,89	0,89	0,88	0,886				
11	0,645	50	0,93	0,92	0,95	0,934	49,70	35,25	71,00	281,3
12		55	1,05	1,05	1,08	1,060				
13		60	1,12	1,11	1,14	1,123				
14		65	1,19	1,17	1,22	1,193				
15		70	1,24	1,23	1,27	1,246				
16		75	1,31	1,28	1,32	1,303				
17		80	1,37	1,39	1,39	1,383				
18		85	1,39	1,40	1,40	1,396				
19		90	1,40	1,41	1,42	1,410				
20		95	1,40	1,40	1,41	1,403				
21	100	1,41	1,40	1,40	1,403					

mania wykresu pojedynczej fali przepływu, każdy pomiar powtarzano trzykrotnie zachowując identyczne warunki hydrauliczne. Z tak otrzymanych stężeń S_1, S_2, S_3 (np. tabela 2) obliczano średnią arytmetyczną \bar{S} , która posłużyła do wykreślenia zależności $\bar{S} = f(T)$ rys. 2. Następnie planimetrując pole zawarte między osią rzędnych, a krzywą stałej fali przepływu, obliczano rzeczywisty średni czas przepływu. Z kolei dzieląc czas rzeczywisty przez czas teoretyczny określano sprawność hydrauliczną.



Rys. 2. Wykres fali przepływu wekaźnika w modelu $\bar{S} = f(T)$

Badania modelowe prowadzone były z zachowaniem warunków samomodelowania. Zatem w zakresie dokładności modelowania należy rozpatrzyć błędy klasycznego przybliżonego modelowania w stosunku do modelowania pełnego. Przez klasyczne modelowanie przybliżone rozumie się tutaj modelowanie fizyczne z zachowaniem warunków samomodelowania. Przy określaniu liczby Eu w modelu błędy względne metody klasycznego modelowania przybliżonego kompensują się. Zatem modelowanie przybliżone nie wnosi odstępstwa do charakterystyki hydraulicznej i otrzymane wyniki można przenieść na obiekt naturalny za pomocą skal modelowania przybliżonego.

Innego rodzaju odstępstwa są spowodowane błędami wynikającymi z niezachowania geometrycznego podobieństwa chropowatości powierzchni ścianek oraz elementów przyściennych, jak również istnienia trudności w odwzorowaniu niektórych połączeń konstrukcyjnych na skutek zastosowania uszczelki, śrub mocujących itp. Błędy wynikające z wymienionych odstępstw można ocenić przez porównanie wyników badań modelowych w stosunku do obiektów naturalnych. Ze względu na brak dostępu do tego typu urządzeń przemysłowych nie udało się określić wielkości tych odstępstw, co w rezultacie uniemożliwia określenie całkowitego błędu badań modelowych rzutuujących na niepewność wyników. Błąd ten w przypadku tego rodzaju badań zależy od przyjętej

skali liniowej, wierności geometrycznego odwzorowania konstrukcji urządzenia i chropowatości ścianek, dokładności przyrządów pomiarowych i zastosowanej metodyki pomiarów. Miarą tego błędu jest rozbieżność kryterium Eu w modelu i obiekcie naturalnym.

W omawianym przypadku badań dla serii pomiarów danego parametru w punkcie, błędy przypadkowe podlegają prawu normalnego rozkładu. Na podstawie otrzymanych wyników można wyznaczyć odchylenie standardowe pomiarów poszczególnych parametrów i określić ich stosunkowy udział w wariancji.

Przykładowo podaje się wyniki takiego obliczenia dla określenia dokładności pomiaru sprawności hydraulicznej według równanie:

$$\eta_h = \frac{T_r}{T_t} = \frac{A \cdot Q}{V \cdot S} \quad 100\% \quad (8)$$

Wariancja sprawności hydraulicznej wyraża się następująco:

$$\sigma^2(\eta_h) = \bar{\eta}_h^2 \left[\frac{\sigma^2(A)}{A^2} + \frac{\sigma^2(Q)}{Q^2} + \frac{\sigma^2(V)}{V^2} + \frac{\sigma^2(S)}{S^2} \right] \quad (9)$$

$$\sigma^2(\eta_h) = 1,104 + 0,123 + 0,123 + 0,490 = 1,840$$

stąd odchylenie standardowe:

$$\sigma(\eta_h) = \sqrt{\sigma^2(\eta_h)} = \sqrt{1,840} = 1,357$$

Granice dokładności dla poziomu ufności 0,95 wynoszą $\pm 1,96$ krotności obliczonej wartości odchylenia [19], tzn. $\pm 1,96 \cdot 1,357 = \pm 2,66\%$. Błąd względny w tym przypadku wynosi $\pm 3,80\%$ całej sprawności hydraulicznej (dla $\eta_h = 70\%$).

Dla uzyskania poprawy ogólnej dokładności należałoby zwiększyć dokładność pomiaru powierzchni A (około 61% wariancji). Dokonano próby zmniejszenia tego błędu poprzez rzutowanie obrazu wykresów stałej fali przepływu na ścianę i graficzne obliczanie powierzchni A. Otrzymana w ten sposób wielkość błędu względnego zmniejszyła się do $\pm 2,43\%$.

Wnioski

1. Przedstawiona metodyka badań modelowych klarowników umożliwia, drogą prostych zmian elementów konstrukcyjnych i parametrów hydrodynamicznych przepływu wody, ustalenie optymalnego zakresu parametrów konstrukcji i pracy tych urządzeń.

2. Ustalono przydatność metody określania sprawności hydraulicznej przy pomocy fali przepływu w badaniach modelowych klarowników. Błąd względny pomiaru sprawności nie przekroczył $\pm 3,80\%$ otrzymanej wartości.
3. Opisana metodyka może być z powodzeniem stosowana w badaniach innych urządzeń do oczyszczania wody lub ścieków, np. osadników.

LITERATURA

- [1] Bulkai L.: A viztsztitraesban alkalmazott deritok technologiai vizegalataval nyert tapasztalatok. Budapest 1971.
- [2] Cebertowicz R.: Budowle hydrotechniczne w świetle doświadczeń na modelach. Polska Akademia Nauk. Instytut Budownictwa Wodnego w Gdańsku, PWN, Warszawa 1958.
- [3] Chojnacki J.: Wpływ niektórych czynników na równomierność przepływu w osadnikach pionowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej z. 10, 1966.
- [4] Glinicki Z., Roman M.: O metodzie badań zbiorników przepływowych przy pomocy wskaźników. Gaz, Woda i Technika Sanitarna nr 3, 1960.
- [5] Johnstone R.E., Thring M.W.: Instalacje doświadczalne, modele i metody powiększania skali. PWN, Warszawa 1960.
- [6] Kowal A.L.: Ustalenie pojemności czynnej osadnika za pomocą znacznej fali przepływu. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 10, 1960.
- [7] Kowal A.L.: Badania nad możliwością równomiernego rozdziału wody w poprzecznym przekroju osadnika o przepływie poziomym w celu usprawnienia jego pracy. Archiwum Hydrotechniki VIII, 1961.
- [8] Lachert E., Królikowski W.: Zastosowanie znaczników do badań sprawności hydraulicznej urządzeń do oczyszczania ścieków. Gospodarka Wodna nr 4, 1972.
- [9] Kuś K.: Wpływ systemów zasilania klarowników na ich sprawność hydrauliczną. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Inżynieria Sanitarna nr 19, 1976.
- [10] Lates M.: Etude hydraulique experimentale d'un modele sous pression pour decanteur vertical pour eaux residuales. La Tribune du Cebedeau nr 242, 1964.
- [11] Leistungssteigerungen von Rohwasseraufbereitungsbecken durch Anwendung des Schlammkontaktverfahrens. Rundschau aus Wissenschaft und Praxis. Wasserwirtschaft - Wassertechnik nr 3, 1960.
- [12] Müller L.: Teoria podobieństwa mechanicznego. WNT, Warszawa 1961.
- [13] Muszkalay L., Vagas I.: Modification of the tracer measuring method in settling basins. Sewage and Industry Wastes nr 9, 1958.
- [14] Piotrowski J.: Zagadnienia modelowania okapowych ujęć gazów odlotowych z elektrycznych pieców łukowych. Praca doktorska. Gliwice 1974.
- [15] Siedow L.I.: Analiza wymiarowa i teoria podobieństwa w mechanice. WNT, Warszawa 1968.
- [16] Szyrwin S.M.: Sowriemlannyje sposoby miechaniczeskoj oczistki stocznych wod. Gosstrojizdat. Leningrad, Moskwa 1956.
- [17] Tesarik I.: Die hydrodynamische Theorie Wirbelschichten. Wasserwirtschaft-Wassertechnik nr 7, 1959.
- [18] Tesarik I.: Geschwindigkeiten in Flockenwirbelschichten und Aufenthaltszeiten in Schlamm kontaktanlagen. Wasserwirtschaft-Wassertechnik nr 6, 1963.
- [19] Volk W.: Statystyka stosowana dla inżynierów. WNT, Warszawa 1965.

**МОДЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО К.П.Д. ОСВЕТИТЕЛЕЙ**

Р е з ю м е

В статье обсуждается методика проведения гидравлических модельных исследований осветителей. Дается пример таких исследований с учётом принципов физикального моделирования, выбора показателя и метода его дозирования в измерениях гидравлического К.П.Д.

**THE MODELLING TESTS FOR THE DETERMINATION OF THE CLARIFIERS
HYDRAULIC EFFICIENCY**

S u m m a r y

In the paper the method of carrying out the hydraulic modelling tests of clarifiers have been discussed. An example of this kind of tests has been given, taking into consideration the physical modelling principles, the choice of indicator and the method of its dosage in the hydraulic efficiency measurements.