

Jan UMIŃSKI

WPŁYW ROZSTAWU ŁOPATEK MIESZADŁA
NA PARAMETRY CHARAKTERYZUJĄCE INTENSYWNOŚĆ
I WYNIKI WOLNEGO MIESZANIA W KOMORZE FLOKULACJI

Streszczenie. Istotnym warunkiem właściwego przebiegu flokulacji w komorach reakcji jest zapewnienie najbardziej odpowiedniej intensywności wolnego mieszania. Na podstawie badań przeprowadzonych w warunkach laboratoryjnych przeanalizowano wpływ zmian w rozstawie łopatek mieszadła na parametry charakteryzujące intensywność mieszania, w szczególności - na moc mieszania, przeciętny gradient prędkości, prędkość obwodową oraz na wyniki flokulacji. Otrzymane rezultaty stwarzają przesłanki optymalizacji intensywności wolnego mieszania w komorach reakcji poprzez odpowiednie rozstawy łopatek mieszadła. Celowość i możliwość tego sposobu różnicowania intensywności istnieć może np. w urządzeniach typu akcelerator.

Istotnym warunkiem właściwego przebiegu koagulacji zanieczyszczeń wody w komorach flokulacji jest zapewnienie najbardziej odpowiedniej intensywności wolnego mieszania. Optymalna intensywność może się zmieniać w zależności od temperatury i jakości koagulowanej wody, rodzaju i dawek stosowanych reagentów, czasu wolnego mieszania itp.

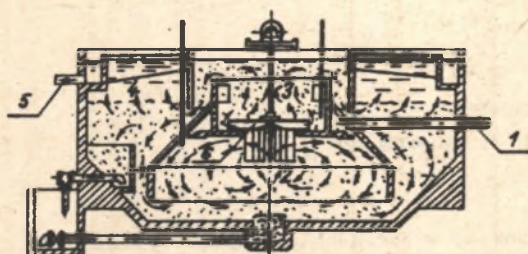
Dotychczasowe badania kinetyki flokulacji [3, 5], jak też doświadczenia eksploatacyjne dowodzą, że odpowiednie dostosowywanie intensywności wolnego mieszania do warunków przebiegu koagulacji dać może wydatną poprawę wyników całego procesu.

Jeśli przez intensywność mieszania rozumieć będziemy przeciętne natężenie (ilość) energii mechanicznej przekazywanej do objętości mieszanej cieczy (z pominięciem zagadnienia rozkładu tej energii), to zasadniczym wskaźnikiem intensywności mieszania jest prędkość ruchu mieszadła i wielkości z tym ruchem związane (ilość obrotów, prędkość obwodowa łopatek, jednostkowa moc mieszania, liczba Reynolda itp.).

Do scharakteryzowania intensywności mieszania w zdeterminowanym konstrukcyjnie układzie wystarcza jedna z wymienionych wielkości, np. ilość obrotów w jednostce czasu.

Najprostszym i jak dotychczas - jedynym sposobem dostosowywania intensywności wolnego mieszania do wymogów technologicznych procesu jest zmiana (regulacja) ilości obrotów mieszadła. Dotyczy to zwłaszcza komór wydzielonych, pracujących w układzie klasycznym (szybki mieszacz - komora flokulacji - osadnik). Optymalizacji wolnego mieszania w tym układzie służyć może również różnicowanie intensywności mieszania w poszczególnych fazach

flokulacji. W tym celu reaktor dzieli się na kilka mniejszych komór z osobnymi napędami i mieszadłami, współpracujących szeregowo. W komorze początkowej stosuje się wówczas intensywność największą, zaś w dalszych komorach, w miarę dojrzewania kłaczków - intensywność mieszania sukcesywnie się zmniejsza.



Rys. 1. Akcelerator firmy "Infilco"

1 - doprowadzenie wody surowej, 2 - wstępna (dolna) komora reakcji, 3 - wtórna komora reakcji, 4 - strefa klarowania, 5 - odpływ wody sklarowanej, 6 - wirnik - mieszadło

Współzależność ta nie jest korzystna jeśli chcemy optymalizować w sposób oddzielny intensywność mieszania oraz krotkość zawracania osadu pokoagulacyjnego. Odnosi się to w szczególności do urządzeń wielofunkcyjnych bez zgarniaczy osadu, gdzie odpowiednia intensywność mieszania i cyrkulacja wody zapobiega niepożądaney sedymentacji osadu (np. w dolnej komorze reakcji).



Rys. 2. Mieszadło turbino- nowo z dodatkowymi łopatkami u dołu (stosowane w akceleratorach jako "wirnik - mieszadło")

Trudniej jest zapewnić właściwą intensywność mieszania w zespolonych komorach flokulacji, pracujących w ramach urządzeń wielofunkcyjnych typu akcelerator, reaktor, recyrkulator itp. W urządzeniach tych [2, 4], oprócz funkcji mieszania, mieszadło spełnia również rolę wirnika pompującego wodę i zawracającego część osadu pokoagulacyjnego do strefy flokulacji (rys. 1). Obydwie te funkcje zależą od prędkości obrotowej, są zatem współzależne.

Najbardziej typowym przykładem tej grupy urządzeń są u nas w kraju akcelatory o kształcie zbliżonym do przedstawionej na rys.1 klasycznej konstrukcji firmy "Infilco". W akceleratorach tych stosuje się mieszadła turbino- we z dodatkowymi łopatkami u dołu (rys. 2). Górna część mieszadła ("wirnik") ma zadanie pompowania i zawracania odpowiedniej ilości osadu pokoagulacyjnego, zaś łopatki dolne ("mieszadło") zapewniają wymaganą intensywność mieszania we wstępnej (dolnej) komorze reakcji.

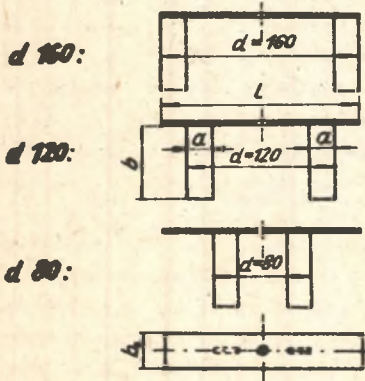
Do rozwiązań konstrukcyjnych umożliwiających oddzielną regulację recyrkulacji osadu oraz intensywności mieszania należą m.in. specjalne zastawki między komorami reakcji lub na dopływie ze strefy osadowej akcelatora.

W razie potrzeby - odpowiednie przymyknięcie takich zastawek ograniczać może ilość wody zawracanej wraz z osadem do strefy flokulacji. Do różnicowania intensywności mieszania można wtedy stosować wspomniane już, zmienne obroty wirnika - mieszadła. W praktyce stosowane w kraju przekładnie bezstopniowe szybko się zużywają i projektanci czasem z nich rezygnują [2], stosując stałą ilość obrotów i poprzestając na projektowaniu jedynie zastawek. Taki sposób regulacji ma swoje wady, m.in. dość ograniczony zakres zmian recyrkulacji osadu, a ponadto nie można w trakcie eksploatacji optymalizować intensywności mieszania.

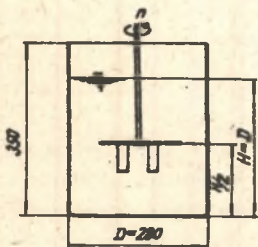
Wydaje się, że jedną z nie wykorzystanych dotychczas w tej dziedzinie możliwości jest zastosowanie zmiennego rozstawu łopatek mieszadła w dolnej komorze reakcji akcelatora (dodatkowych łopatek dolnych w mieszadłach talerzowych). Zmiana rozstawu wywołuje zmianę prędkości obwodowej łopatek, a zatem można sądzić, że nawet przy stałej ilości obrotów da to możliwość odpowiedniego różnicowania intensywności mieszania. W warunkach zmiennych

obrotów wirnika - mieszadła możliwość ta byłaby oczywiście wielokrotniona, odpowiednio do zmian w ilości obrotów. Mając to na uwadze, w przedstawianej pracy zajęto się bliżej wpływem rozstawu łopatek na parametry charakteryzujące intensywność wolnego mieszania oraz wyniki flokulacji. Badania przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych, z wykorzystaniem specjalnego mieszadła testowego (rys. 3), w którym rozstaw łopatek zmieniano trzykrotnie: 1) $d = 80$ mm (mieszadło przy tym rozstawie określono symbolem "d 80"); 2) $d = 120$ mm (symbol "d 120"); 3) $d = 160$ mm (symbol "d 160"). Reaktor, w którym prowadzono badania miał kształt cylindrycznego zbiornika o średnicy $D = 290$ mm i początkowe napełnienie $H = D$ (rys. 4). Inwarianty podobieństwa geometrycznego dla poszczególnych rozstawów przedstawiono w tabeli 1.

W części hydromechanicznej badań, w przyjętym zakresie obrotów dokonano pomiaru mocy mieszania i określono tzw. przeciętne gradienty prędkości. Pomiar te przeprowadzono na wodzie wodociągowej o temperaturze 293 K (20°C).



Rys. 3. Mieszadło testowe o zmiennym rozstawie łopatek



Rys. 4. Badany mieszalnik (reaktor)

Tabela 1

Inwarianty podobieństwa geometrycznego badanego mieszadła przy różnych rozstawach łopatek

Symbol mieszadła przy odpowiednim rozstawie łopatek	Wartości inwariantów podobieństwa geometrycznego. (Oznaczenia parametrów według rys.3 i 4)					Ilość łopatek
	$\frac{a}{d}$	$\frac{b}{d}$	$\frac{b_0}{d}$	$\frac{1}{d}$	$\frac{D}{d}$	
d 80	0,250	0,75	0,375	2,00	3,50	2
d 120	0,1667	0,50	0,250	1,33	2,33	
d 160	0,125	0,375	0,188	1,00	1,75	



Rys. 5. Widok ogólny instalacji badawczej

Instalacja badacza (rys.5) przystosowana była do jednoczesnego prowadzenia pomiarów w dwóch identycznych reaktorach. Wspólny napęd wraz z zespołem przekładni umożliwiał płynną regulację obrotów mieszadła w zakresie od 15 do 470 obr/min. Ilość obrotów mierzono za pomocą elektronicznego obrotomierza cyfrowego typu N-103. Do pomiarów mocy mieszania służyły specjalne dynamometry skrętne. Pomiar polegał na ustaleniu kąta skręcenia tarcz dynamometru, a następnie - określeniu momentu obrotowego netto na wale mieszadła przy danej prędkości kątowej.

Moc mieszania (N) obliczono za pomocą wzoru:

$$N = M \cdot \omega \quad [W], \quad (1)$$

gdzie:

M - moment obrotowy netto po odliczeniu strat na tarcie dynamiczne i statyczne w $[Nm]$;

ω - prędkość kątowa mieszadła w $[rd/s]$ określona na podstawie zmierzonej ilości obrotów n ($\omega = \frac{\pi n}{30}$).

Uogólnienia wyników badań zużycia mocy dokonano w oparciu o stosowane w technice mieszania moduły podobieństwa, przedstawiając je w postaci funkcji:

$$\frac{N}{d^5 n^3 \rho} = c \left(\frac{n d^2 \rho}{\eta} \right)^A \quad (2)$$

gdzie:

$$\frac{N}{d^5 n^3 \rho} = Eu - \text{liczba Eulera dla procesu mieszania (liczba mocy)};$$

$$\frac{n d^2 \rho}{\eta} = Re - \text{liczba Reynolda dla procesu mieszania};$$

ρ - gęstość cieczy [kg/m^3];

η - współczynnik lepkości dynamicznej wody [$\frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$];

A, C - współczynniki empiryczne.

Uogólniając wyniki pomiarów za pomocą równań typu (2) oparto się na założeniu, że w warunkach prowadzonych badań wpływ liczby Froude'a ($Fr = \frac{n^2 d}{g}$) nie występuje, bądź też jest minimalny. Założenie to umożliwiło m.in. stosowany zakres Re, brak falowania oraz brak lub nieduży na ogół lej depresyjny.

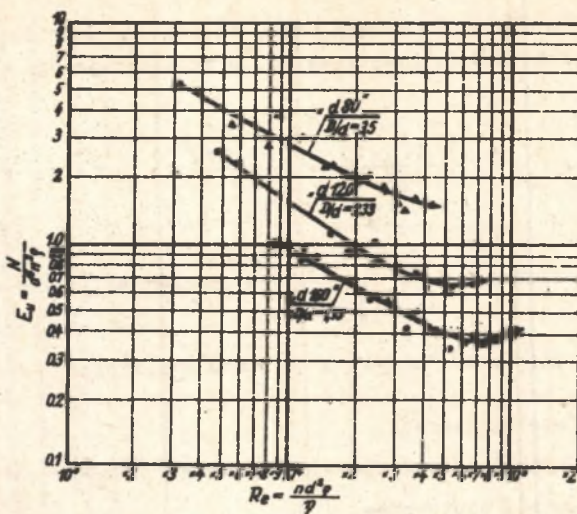
Dla określenia równań opisujących moc mieszania zastosowano rachunek wyrównawczy metodą najmniejszych kwadratów. Wykorzystano w tym celu maszynę cyfrową ODRA-1304. Współczynniki empiryczne oraz otrzymane przedziały ufności dla równań typu (2) przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Wartości współczynników empirycznych w równaniu (2) dla badanego mieszadła przy różnych rozstawach łopatek

Symbol mieszadła przy odpowiednim rozstawie	Wartości współczynników		Przedział ufności dla współczynnika C przy poziomie ufności 0,95
	A	C	
d 80	- 0,3	36,67	(32,91; 40,43)
d 120	- 0,1	2,0535	(1,5647; 2,5387)
d 160	0,2	0,0419	(0,0288; 0,0550)

Na rysunku 6 przedstawiono wykresy zależności $Eu = f(Re)$ dla poszczególnych rozstawów łopatek. Tak określone zależności opisują moc mieszania dla układów geometrycznie podobnych, odpowiadających badanym rozstawom. Widzimy, że rozstaw łopatek wywiera zdecydowany wpływ na moc mieszania



Rys. 6. Charakterystyka mocy mieszania dla mieszadeł o różnych rozstawach łopatek

(liczbę mocy) w całym uzyskiwanym w badaniach zakresie liczb Reynolda. Liczba kryterialna Eulera przybiera największe wartości dla rozstawu najmniejszego ("d 80"), najmniejsze zaś - dla rozstawu największego ("d 160"). Np. przy $Re = 20\ 000$ mieszadło "d 80" daje wartość $Eu = 2$, "d 120" - $Eu = 1$, zaś "d 160" - $Eu = 0,7$.

Zachowywania podczas badań porównawczych stałych wymiarów łopatek - przy zmniejszaniu średnicy mieszadła (d) - równoznaczne było z powiększaniem inwariantów $\frac{D}{d}$ (stosunku średnic zbiornika i mieszadła) oraz b/d (względnej szerokości łopatek). Przedstawione wyniki wykazują więc, że wzrost inwariantów $\frac{D}{d}$ i $\frac{b}{d}$ powiększa w istotnym stopniu liczbę Eulera. Unacocnia to rolę doboru średnicy mieszadła (rozstawu łopatek) w aspekcie powiększenia skali urządzenia.

Bezpośrednią zależność pomierzonej mocy mieszania (wyrażonej w watach) od rozstawu łopatek przy czterech prędkościach obrotowych przedstawiono na rys. 7. Ponieważ rzeczywiste punkty pomiarowe wypadały przy nieco innych ilościach obrotów - moc mieszania dla $n = 60, 120, 180$ i 240 obr/min obliczono przez interpolację - korzystając z ustalonych równań empirycznych. Jak widzimy, przy zachowaniu stałej ilości obrotów mieszadła i powiększaniu rozstawu (średnicy) moc mieszania wzrasta, przy czym wzrost ten jest tym bardziej zdecydowany, im większa jest ilość obrotów.

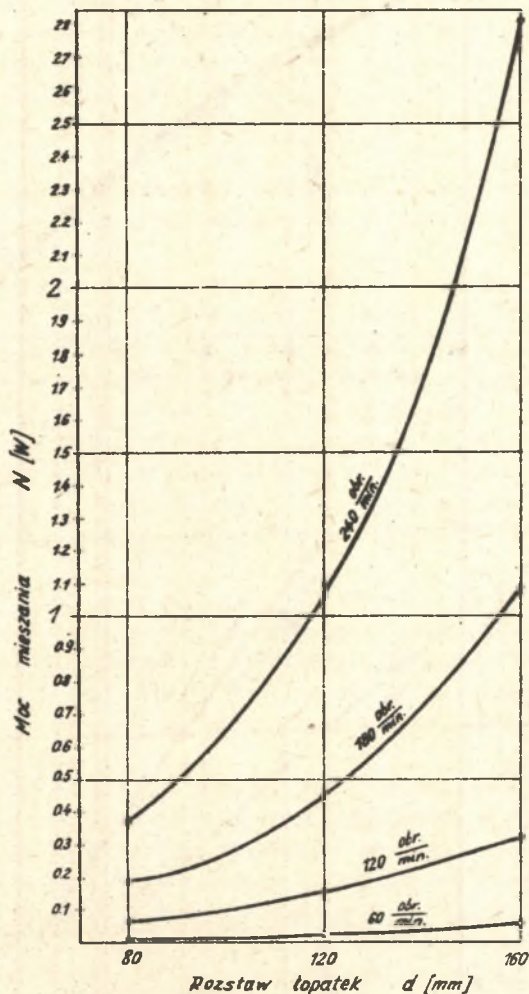
Wykorzystując m.in. charakterystyki zużycia mocy określono dla poszczególnych rozstawów wartości przeciętnego gradientu prędkości odpowiadające różnym intensywnościom mieszania. Przeciętny gradient prędkości \bar{G} określono na podstawie formuły zaproponowanej przez Campa i Steina [5]:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{N}{V \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{N_1}{\rho}}, \quad [s^{-1}] \quad (3)$$

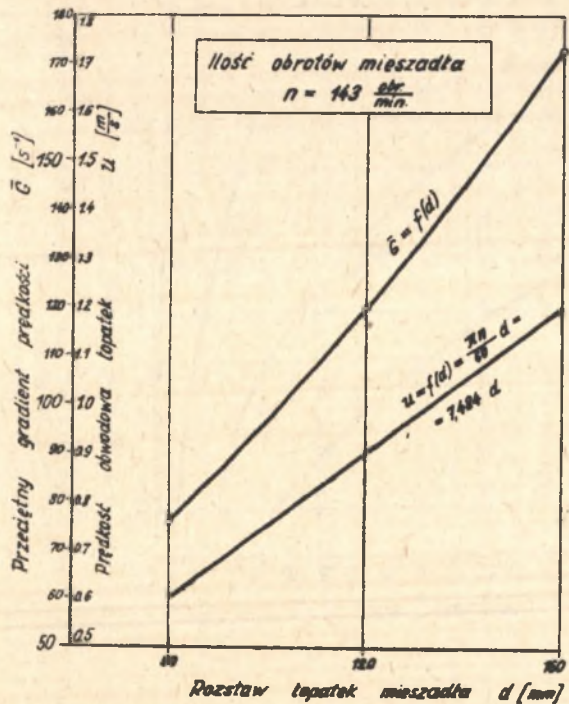
gdzie:

V - objętość mieszanej wody $[m^3]$;

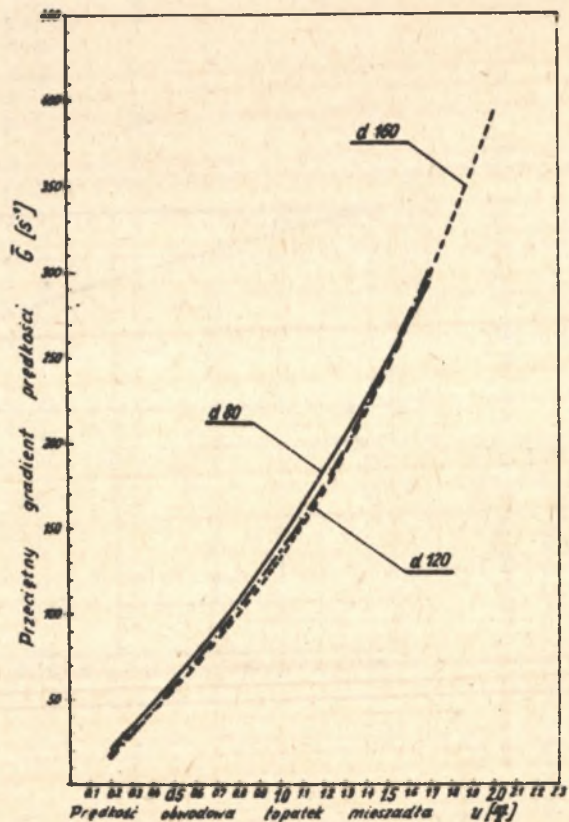
N_1 - moc mieszania przypadająca na jednostkę objętości wody ($N_1 = \frac{N}{V}$) $[W/m^3]$.



Rys. 7. Zależność mocy mieszania od rozstawu łopatek dla różnych ilości obrotów mieszadła



Rys. 8. Zależność przeciętnego gradientu prędkości i prędkości obwodowej od rozstawu łopatek przy stałej ilości obrotów mieszadła



Rys. 9. Zależność przeciętnego gradientu prędkości od prędkości obwodowej mieszadła dla poszczególnych rozstawów łopatek

Na rys. 8 przedstawiono zależność przeciętnego gradientu \bar{G} i prędkości obwodowej u od rozstawu łopatek mieszadła przy stałej ilości obrotów ($n = 143$ obr/min). Wzrost prędkości obwodowej jest oczywiście wprost proporcjonalny do rozstawu ($u = \frac{\pi n}{60} d$), natomiast przyrosty przeciętnego gradientu prędkości były stosunkowo większe (przy dwukrotnym wzroście rozstawu gradient \bar{G} wzrósł 2,3 razy).

Rys. 9 ilustruje zależność gradientów \bar{G} od prędkości obwodowych łopatek (u). Jak widać z wykresów - przy tych samych prędkościach obwodowych - poszczególne rozstawy łopatek dają dość zbliżone do siebie wartości gradientów, chociaż występujące różnice są wystarczająco wyraźne. W przeważającej części badanego zakresu największe gradienty prędkości stwierdzono dla najmniejszego rozstawu łopatek, najmniejsze zaś - dla rozstawu największego.

W warunkach małych wahań lepkości wody przeciętny gradient prędkości wyraża pośrednio jednostkowe rozproszenie mocy, jest więc wskaźnikiem intensywności mieszania.

W badaniach zmierzano również do wyjaśnienia, które ze stosowanych kryteriów intensywności (gradient prędkości, prędkość obwodowa czy ilość obrotów mieszadła) w sposób bardziej jednoznaczny charakteryzuje wyniki flokulacji uzyskiwane przy różnych rozstawach łopatek. W tym celu wodę uprzednio zmętnioną sztucznie kaolinem ($M_p = 140$ mg SiO_2/dm^3) poddawano w reaktorze koagulacji siarczanem glinowym (dawkę 50 mg $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}/\text{dm}^3$) i określano redukcję mętności początkowej w wyniku flokulacji i 30-minutowej sedymentacji. Cechy fizykochemiczne wody surowej oraz parametry szybkiego mieszania z koagulantem były we wszystkich cyklach pomiarowych jednakowe.

W tabeli 3 zestawiono redukcję mętności uzyskaną dla różnych rozstawów przy stałej ilości obrotów mieszadła, następnie przy stałej prędkości obwodowej oraz tym samym przeciętnym gradiencie prędkości. Wyniki z przytoczonej w tabeli serii pomiarowej otrzymano dla czasu flokulacji 15 min. (Pozostałe serie pomiarów, które stanowiły fragment szerszych badań [7] dały wyniki analogiczne).

Widzimy, że najmniej miarodajnym kryterium intensywności wolnego mieszania jest w tych warunkach ilość obrotów mieszadła. Przy $n = \text{const}$ różne rozstawy łopatek (a więc różne prędkości obwodowe i gradienty przeciętne) dały wyraźnie zróżnicowane redukcje mętności. Natomiast przy stałych prędkościach obwodowych i gradientach prędkości otrzymano redukcje bardzo zbliżone. Zatem obydwa te parametry (\bar{G} , u) w dość jednoznaczny sposób charakteryzują intensywność mieszania, bez względu na to, czy zmiana tej intensywności zachodzi poprzez zmianę rozstawu łopatek, czy też ilości obrotów. Z porównania otrzymanych wyników oraz charakterystyk $\bar{G} = f(u)$ na rys. 9 można wnioskować, że obydwa te kryteria są w omawianych warunkach prawie jednakowo użyteczne.

Redukcja mętności wody po 15 min. flokulacji i 30 min. sedimentacji
(Wolne mieszanie z zastosowaniem różnych rozetawów łopatek mieszadła)

Rozetaw łopatek mieszadła	Stała ilość obrotów $n = 48 \text{ obr/min}$			Stała prędkość obwodowa łopatek $u = 0,4 \text{ m/s}$			Stały, przeciętny gradient prędkości $\bar{G} = 50 \text{ s}^{-1}$	
	prędkość obwodowa	przec. gra- dient prę- dkości \bar{G}	redukcja mętności wody w pro- centach	ilość obrotów mieszad- ła n	przec. gra- dient prę- dkości \bar{G}	redukcja mętności wody w pro- centach	ilość obrotów mieszad- ła n	redukcja mętności wody ¹⁾ w procentach
$d \text{ [mm]}$	$u \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$	$[\text{s}^{-1}]$		$[1/\text{min}]$	$[\text{s}^{-1}]$		$[1/\text{min}]$	
80	0,2	18,7	89,3	96	45,2	95,9	100	95,1
120	0,3	29,9	93,6	64	41,3	95,0	73	94,6
160	0,4	44,6	95,9	48	44,6	95,9	52,5	95,1

¹⁾ Redukcję mętności wody przy $\bar{G} = 50 \text{ s}^{-1}$ określono przez interpolację wyników uzyskanych w najbliższych punktach pomiarowych.

Przeprowadzone badania wykazały, że nawet niewielkie zmiany rozstawu łopatek mogą efektywnie różnicować przeciętny gradient prędkości i wpływać tym samym na wyniki flokulacji.

Wyniki pomiarów hydromechanicznych i technologicznych unaocniają określone możliwości optymalizacji warunków mieszania w komorach flokulacji zarówno przy projektowaniu urządzeń (przy doborze konstrukcji i parametrów geometrycznych) jak też w fazie eksploatacji. Konieczne są jednak dalsze badania m.in. w skali technicznej, obejmujące różne typy komór i mieszadeł w układzie przepływowym.

Przy rozpatrywaniu optymalizacji rozstawu łopatek, w aktualnie stosowanych typach urządzeń, godne uwagi są dwa przypadki:

1) Chcemy r ó z n i c o w a ć i n t e n s y w n o ś ć wolnego mieszania w warunkach zachowywania s t a ł e j i l o ś c i o b r o t ó w mieszadła. Przy $n_1 = n_2 = \text{const}$ pożądaną zmianę przeciętnego gradientu (z \bar{G}_1 na \bar{G}_2) lub prędkości obwodowej (z u_1 na u_2) można uzyskać - zmieniając rozstaw łopatek z d_1 na d_2 według proporcji:

$$\frac{n_1 \pi d_1}{n_2 \pi d_2} = \frac{u_1}{u_2} \quad \text{czyli} \quad \frac{d_1}{d_2} = \frac{u_1}{u_2}, \quad (4)$$

przy czym

$$f_1(u_1) = \bar{G}_1; \quad f_2(u_2) = \bar{G}_2.$$

W ogólnym przypadku, znając charakterystyki $\bar{G} = f(u, d)$ oraz optymalne dla procesu flokulacji wartości \bar{G} lub u , określać można najbardziej pożądany rozstaw łopatek d . Najlepiej, gdyby konstrukcja mieszadła umożliwiała zmianę i optymalizację rozstawu w trakcie eksploatacji urządzenia. Jak już wspomniano, takie rozwiązania mogą być szczególnie przydatne w akceleratorach, w odniesieniu do dodatkowych łopatek dolnych mieszadeł talerzowych. W wydzielonych komorach flokulacji, podzielonych szeregowo na sekcje z oddzielnymi mieszadłami, odpowiednim rozstawem łopatek optymalizować można (przy $n = \text{const}$) intensywność mieszania w kolejnych sekcjach, tj. w poszczególnych fazach flokulacji.

2) Chcemy utrzymać i n t e n s y w n o ś ć wolnego mieszania n a s t a ł y m p o z i o m i e w warunkach z m i e n n y c h o b r o t ó w mieszadła. Przypadek ten zachodzi w akceleratorach, jeśli recyrkulacja osadu pokoagulacyjnego jest regulowana przez zmianę obrotów wirnika - mieszadła, zaś intensywność chcemy utrzymać na najbardziej odpowiednim poziomie w sposób niezależny od tych obrotów. Przy zmianie obrotów z n_1 do n_2 dla zachowania warunku $u = \text{const}$ ($\bar{G} = \text{const}$) rozstaw łopatek należy zmieniać z d_1 na d_2 według proporcji:

$$\pi d_1 n_1 = \pi d_2 n_2 \quad \text{czyli} \quad \frac{d_2}{d_1} = \frac{n_1}{n_2} \quad (5)$$

W podsumowaniu sformułować można następujące wnioski:

1. Przez zmianę rozstawu łopatek można efektywnie różnicować parametry charakteryzujące intensywność wolnego mieszania, zwłaszcza zaś przeciętny gradient prędkości, jednostkową moc mieszania oraz prędkość obwodową mieszadła. Obok regulacji ilości obrotów sposób ten stwarza określone możliwości optymalizacji procesu w komorach flokulacji, szczególnie w akceleratorach.
2. Przy zmianach rozstawu łopatek prędkość obwodowa jest praktycznie tak samo dobrym kryterium intensywności wolnego mieszania co przeciętny gradient prędkości.
3. Charakterystyki mocy mieszania dla różnych rozstawów łopatek wykazują bardzo duży wpływ stosunku średnic zbiornika i mieszadła ($\frac{D}{d}$) oraz względnej szerokości łopatek ($\frac{b}{d}$) na zużycie mocy mierzone kryterialną liczbą Eulera. Wskazuje to na duże znaczenie doboru tych parametrów przy projektowaniu urządzeń.

Zestawienie oznaczeń

- A, C - współczynniki empiryczne w równaniu (2);
 a, b, b_0 , l - parametry geometryczne mieszadła według rys. 3;
 d - średnica obrotu (rozstaw) łopatek mieszadła, [m; mm];
 D - średnica reaktora, [m; mm];
 Ć - przeciętny gradient prędkości, [s^{-1}];
 g - przyspieszenie ziemskie, [m/s^2];
 H - wysokość napełnienia reaktora, [m];
 I - moment obrotowy netto na wale mieszadła, [Nm];
 M - gęstość początkowa wody [$mg SiO_2/dm^3$];
 N - moc mieszania, [W];
 N' - moc mieszania przypadająca na jednostkę objętości wody, [W/m^3];
 n - prędkość obrotowa mieszadła, [obr/min; obr/s];
 u - prędkość obwodowa łopatek mieszadła, [m/s];
 V - objętość mieszanej wody, [m^3];
 η - współczynnik lepkości dynamicznej wody [$\frac{N \cdot s}{m^2}$];

ρ - gęstość cieczy, $[\text{kg/m}^3]$;

ω - prędkość kątowna mieszadła, $[\text{rd/s}]$;

$E_u = \frac{N}{d^5 n^3 \rho}$ - liczba Eulera dla procesu mieszania (liczba mocy).

$Fr = \frac{n^2 d}{g}$ - liczba Froude'a;

$Re = \frac{nd^2 \rho}{\eta}$ - liczba Reynoldsa.

LITERATURA

- [1] Błasiński H., Kochański B., Rzycki E.: Kryterium Froude'a w procesie mieszania. *Chemia Stosowana* VI, 3B, 267 (1969).
- [2] Brzuchański E.: Akcelatory do uzdatniania wody. Materiały na V Konferencję Nauk.-Tech. "Zag. Zaopatrzenia w Wodę Miast i Wsi", Poznań 1976, 109-114.
- [3] Hudson H.E.: Physical Aspects of Flocculation, *JAWWA*, v.57, Nr 7, 1965, 885-892.
- [4] Kucharski J., Moniuszko A.: Oczyszczanie wód i ścieków przemysłowych metodą koagulacji. WNT, Warszawa 1967.
- [5] Rohlich G.A., Murphy K.L.: Flocculation Water and Sewage Works, October 1961, Reference Number.
- [6] Stręk F.: Inżynieria Chemiczna. Mieszanie i mieszalniki. WNT, Warszawa 1971.
- [7] Umiński J.: Wpływ niektórych typów mieszadeł i reaktorów na wyniki wolnego mieszania w procesie koagulacji zanieczyszczeń wody w świetle wybranych kryteriów. Praca doktorska, Gliwice 1977. Maszynopis.

ВЛИЯНИЕ РАССТАНОВКИ ЛОПАТОК МЕШАЛКИ НА ПАРАМЕТРЫ ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ИНТЕНСИВНОСТЬ И РЕЗУЛЬТАТЫ СВОБОДНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ВО ФЛОКУЛЯЦИОННОЙ КАМЕРЕ

Резюме

Существенным условием правильного хода флокуляции в реакционных камерах является обеспечения оптимальной интенсивности медленного мешания.

На основании исследований проведенных в лабораторных условиях, был произведен анализ влияния расстановки лопаток мешалки на параметры характеризующие интенсивность перемешивания, а в особенности на мощность перемешивания, усредненный градиент скорости, окружную скорость и на результаты флокуляции.

Полученные результаты дают предпосылки для оптимизации интенсивности медленного мешания в реакционных камерах путём соответствующей расстановки лопаток мешалки.

Целесообразность и возможность этого способа изменения интенсивности может выступать например в устройствах типа акселератор.

THE INFLUENCE OF THE SPACING BETWEEN THE AGITATOR BLADES
UPON THE PARAMETERS CHARACTERIZING THE INTENSITY AND RESULTS
OF SLOW MIXING IN A FLOCCULATION CHAMBER

S u m m a r y

An essential condition for a proper flocculation process in reaction chambers is the ensuring of the most adequate intensity of slow mixing.

Based on the results of laboratory-scale investigations, the effect of variations in the spacing between the agitator blades upon the parameters characterizing the intensity of mixing have been analysed, particularly, however, the effect on the power of agitation, the average gradient of velocity, the peripheral speed and the flocculation results.

The obtained results are premises for the optimization of the intensity of slow mixing in reaction chambers due to adequate spacings of the agitator blades. This way of varying the intensity of mixing may be expedient and possible in such devices as, for instance, accelerators etc.