

Jolanta GUMIŃSKA

*Institut Inżynierii Wody i Ścieków
Politechnika Śląska
Dział BiR
SEEN Technologie*

POPRAWA EFEKTYWNOŚCI KOAGULACJI POPRAZ ZASTOSOWANIE RECYRKULACJI OSADU POKOAGULACYJNEGO

IMPROVEMENT OF COAGULATION EFFICIENCY
BY RECIRCULATION OF POST-COAGULATION SLUDGE

The paper presents the results of the research on the efficiency of coagulation based on prehydrolyzed coagulants by application of post-coagulation sludge recirculation.

As a result of the study it was stated that such a system modification makes it possible to lower the dose of coagulant to obtain the required treated water quality. It also prevents adverse effects of coagulants overdosing.

1. Wprowadzenie

Skuteczność procesu koagulacji jest podstawowym warunkiem zapewniającym efektywność działania całego systemu uzdatniania wody powierzchniowej. Maksymalizacja uzyskiwanych efektów koagulacji poprawia nie tylko jakość produkowanej wody, ale pozwala także na znaczne obniżenie kosztów jej wytwarzania, dzięki oszczędnościom na kolejnych etapach uzdatniania (większa żywotność węgla aktywnych, zmniejszenie wymaganych dawek środków dezynfekcyjnych) oraz zmniejsza koszty działania systemów dystrybucji wody (poprawa stabilności chemicznej i biologicznej). Poprawę efektywności koagulacji można uzyskać zarówno poprzez optymalizację konstrukcji stosowanych urządzeń oraz na drodze zmian chemizmu procesu. Z uwagi na wysoką sprawność techniczną projektowanych obecnie urządzeń, to głównie zmiany w technologii prowadzenia koagulacji pozwalają na znaczne zwiększenie skuteczności tego procesu.

W układach konwencjonalnych uzdatniania wody powierzchniowej poprawa efektywności procesu koagulacji zazwyczaj sprowadza się do zmiany rodzaju koagulantu. Powszechnie w miejsce koagulantów hydrolizujących wprowadzane są reagenty zawierające produkty wstępnej hydrolizy. Jednak nie zawsze zmiana reagenta przynosi oczekiwane efekty. Prowadzenie procesu z zastosowaniem polichlorków glinu z jednej strony pozwala na uzyskanie lepszej efektywności procesu w zakresie podstawowych parametrów jakości, przy mniejszym zużyciu reagentów, ale równocześnie przy nieprawidłowej jego realizacji może powodować negatywne skutki, co ma miejsce w przypadku przedozowania tychże koagulantów [1,2,5].

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań prowadzonych w skali pilotowej nad poprawą efektywności koagulacji poprzez zastosowanie recyrkulacji osadu pokoagulacyjnego. Proces koagulacji realizowano z zastosowaniem nisko- i wysokopolimeryzowanego koagulantu. Badana woda była wodą o niskiej mineralizacji i dużych wahanach parametrów jakościowych w ciągu roku.

Na podstawie uzyskanych wyników dokonano oceny możliwości obniżenia dawki koagulantu dla uzyskania wymaganej jakości wody uzdatnionej oraz zapobiegania negatywnym skutkom przedozowania koagulantów spolimeryzowanych. Analizę mechanizmów oraz ocenę skuteczności zachodzących procesów uzdatniania przeprowadzono w oparciu o wybrane parametry jakościowe oraz pomiar liczby cząstek w wodzie surowej oraz uzdatnionej po procesie sedymentacji.

2. Metodyka badań

Układ badawczy

Proces koagulacji oraz sedymentacji realizowano w zespolonej dwusekcyjnej komorze flokulacji z mieszadłami i komorze sedymentacji z pakietami sedymentacyjnymi. Parametry hydrauliczne układu były następujące:

- wydajność układu uzdatniania – 850 l/h,
- szybkie mieszanie - mieszacz hydrauliczny,
- czas flokulacji – 2 x 10 minut,
- stopień recyrkulacji osadu pokoagulacyjnego – 0%, 4,7%, 7,1%.

Zawiesina osadu pokoagulacyjnego z leja osadowego była częściowo zawracana do komory flokulacji. Osad nadmierny usuwano okresowo.

Proces koagulacji prowadzono przy użyciu dwóch koagulantów glinowych o odmiennym składzie. Testowano koagulanty o różnym stopniu polimeryzacji. Skróconą charakterystykę zastosowanych reagentów przedstawiono w tabeli 1. Dawki reagentów określano codziennie na podstawie wyników testów zlewkowych. Pomiar liczby cząstek wykonywano przy wykorzystaniu analizatora ARTI WPC21 firmy Hach, natomiast mętność mierzono za pomocą mętnościomierza Turbimax W CUS41. Oznaczenia absorbancji w nadfiolecie wykonywano z zastosowaniem sond firmy Hach typ UVAS plus sc.

Tab. 1. Skrócona charakterystyka badanych koagulantów

Tab. 1. Characteristics of tested coagulants

Parametry	Rodzaj koagulantu	
	PACI_1	PACI_2
Gęstość [g/mL]	1,28	1,24
pH	4,2	2,6
Al [% waq.]	11	5,5
Cl ⁻ [% waq.]	7	13,1
Al/Cl	1,57	0,42
SO ₄ ²⁻ [% waq.]	-	-
Zasadowość (OH/Al) [%]	80	71,0

Jakość wody surowej

Badania prowadzono przez okres kilku miesięcy w okresie jesienno-zimowym. Zakres wartości podstawowych wskaźników jakościowych wody surowej podczas testów z PAC11 przedstawiał się następująco:

- mętność – $2,6 \div 7,6$ NTU,
- barwa pozorna – 22-56 mgPt/L,
- absorbancja w nadfiolecie – próbki niesączone UV_{254nm}^{1m} : $10,1 \div 19,1$,
- absorbancja w nadfiolecie – próbki sączone UV_{254nm}^{1m} : $1,2 \div 12,1$,
- liczba cząstek o wielkości $1 \mu\text{m}$ - $12281 \div 32049$ w 1 ml

Podczas testów z PAC12 przedstawiał się następująco:

- mętność – $4,8 \div 12$ NTU,
- barwa pozorna – 42-54 mgPt/L,
- absorbancja w nadfiolecie – próbki niesączone UV_{254nm}^{1m} : $4,8 \div 16,8$,
- absorbancja w nadfiolecie – próbki sączone UV_{254nm}^{1m} : $2,2 \div 12,8$,
- liczba cząstek o wielkości $1 \mu\text{m}$ - $25170 \div 34992$ w 1 ml

3. Omówienie wyników badań

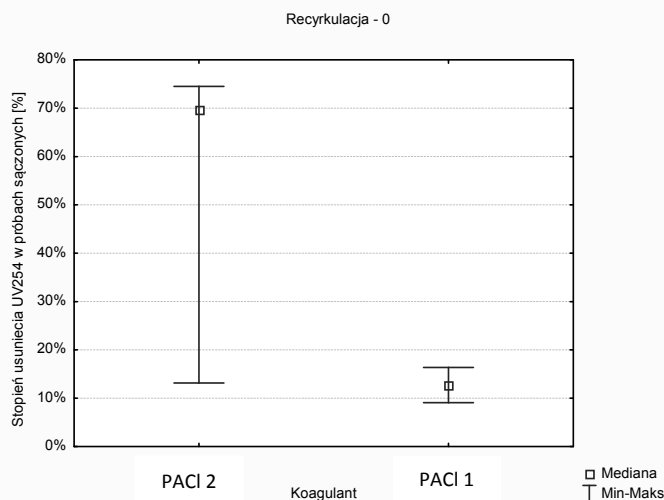
Charakterystyka kłaczków zawiesiny pokoagulacyjnej powstającej podczas koagulacji reagentami wstępnie zhydrolizowanymi znacząco różni się od tych powstających podczas stosowania siarczanu glinu. Z uwagi na znacznie większą gęstość ładunku powierzchniowego produktów hydrolizy, wymagane dawki reagentów spolimeryzowanych dla osiągnięcia punktu izoelektrycznego są znacznie mniejsze, co oznacza, iż ilość powstającej zawiesiny pokoagulacyjnej również jest mniejsza. Różnice pomiędzy charakterystyką zawiesiny powstającej podczas uzdatniania koagulantami hydrolizującymi, a wstępnie zhydrolizowanymi są tym większe im mniejszy jest udział glinu w formie monomerowej w reagentie, a większy udział form polimerowych. Różnice te dotyczą głównie rozkładu wielkościowego kłaczków, co silnie przekłada się na efektywność ich separacji. Cząstki zawiesin powstających podczas uzdatniania polichlorkami glinu są znacznie mniejsze w stosunku do cząstek powstających podczas koagulacji siarczanem glinu. Różnice występują również w strukturze i właściwościach wytrzymałościowych kłaczków, co istotnie wpływa na wybór koagulantu do realizacji procesu koagulacji z recykulacją zawiesiny pokoagulacyjnej [3,4,6-8].

Uzyskane wyniki badań podczas uzdatniania wody przedstawiono na rysunkach 1- 6. Rysunki 1-3 przedstawiają efektywność procesu uzdatniania podczas typowej koagulacji tzn. bez recykulacji osadu pokoagulacyjnego. Analiza rysunku 1 pokazuje, że dawka koagulantu o wysokim stopniu polimeryzacji (PAC11) była niewystarczająca, gdyż efektywność obniżania absorbancji UV_{254} była na bardzo niskim poziomie w porównaniu z koagulantem o niewielkim udziale form polimerowych glinu (PAC12). W przypadku drugiego koagulantu dawka wprawdzie pozwalała na znaczące obniżenie stężenia rozpuszczonych związków organicznych, ale pomiary mętności i liczby cząstek o wielkości $1 \mu\text{m}$ wskazują, że proces agregacji kłaczków był nieefektywny. Kłaczki były zbyt drobne, aby mogły sedymentować. Dodatkowo zanotowany wzrost liczby tych

cząstek w stosunku do wody surowej wskazuje na przedawkowanie tego reagenta, co znalazło odzwierciedlenie w poziomie mętności. Przy prawidłowo dobranej dawce koagulantu obniżeniu wartości absorbancji towarzyszyłoby spadek liczby drobnych cząstek. Obecność tych cząstek wiąże się z zawartością glinu reszkowego, dlatego analiza tego parametru jest szczególnie istotna.

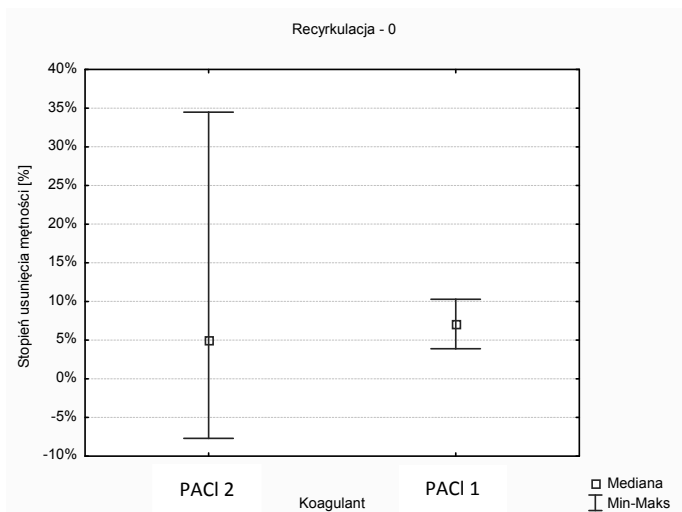
Wprowadzenie recyrkulacji osadu pokoagulacyjnego (stopień recyrkulacji równy 4,7%) zdecydowanie wpłynęło na skuteczność procesu, jednak była ona różna dla obu koagulantów. Biorąc pod uwagę wyniki uzyskane dla PAC12 - koagulantu o niższym udziale spolimeryzowanych form glinu, wprowadzenie dodatkowego ładunku zawiesiny, nie spowodowało wprawdzie dalszego obniżania wartości absorbancji UV, ale znacząco poprawiło skuteczność aglomeracji drobnych cząstek, co potwierdzają wykresy na rysunkach 4-6. W przypadku koagulantu PAC11, w którym w procesie typowej koagulacji zastosowano zbyt niską jego dawkę, recyrkulacja osadu umożliwiła uzyskanie oczekiwanych efektów, co znalazło odzwierciedlenie w obniżaniu wartości absorbancji, mętności oraz liczby cząstek. Wyniki uzyskane dla koagulantu o wysokim stopniu polimeryzacji (PAC11) wskazują, iż zastosowanie recyrkulacji osadu pozwoliło na zmniejszenie dawki koagulantu w porównaniu do typowej koagulacji, co wynikało z wprowadzenia do komory flokulacji kłaczek posiadających obszary nieneutralizowanego ładunku powierzchniowego.

Zwiększenie stopnia recyrkulacji osadu pokoagulacyjnego do wartości 7,1% podczas koagulacji PAC12 znacząco pogorszyło jakość wody uzdatnionej w zakresie mętności i liczby cząstek. Mętność praktycznie była na poziomie wody surowej, natomiast liczba cząstek wzrosła, co należy tłumaczyć przedozowaniem reagenta dla analizowanego układu uzdatniania. Takiego zjawiska nie zaobserwowano dla PAC11, zanotowano dalszy spadek mętności i znaczący spadek liczby cząstek w stosunku do niższego stopnia recyrkulacji.



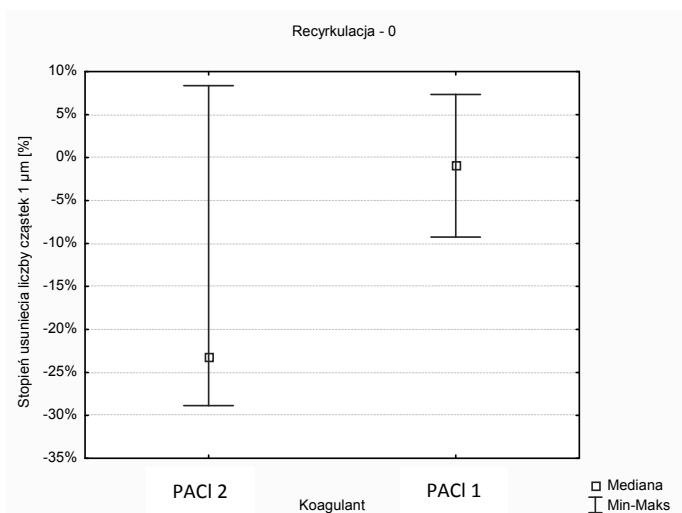
Rys. 1. Wpływ rodzaju koagulantu na skuteczność usuwania rozpuszczonych związków organicznych w układzie bez recyrkulacji osadu

Fig. 1. The effect of coagulant type on DOM removal in the system without sludge recirculation



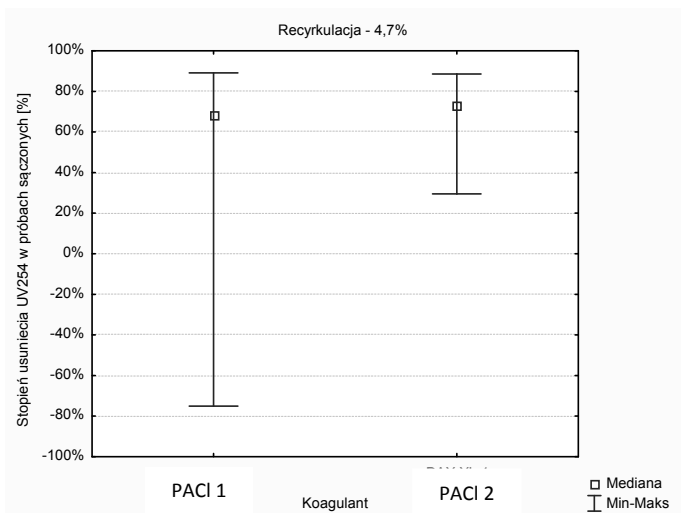
Rys. 2. Wpływ rodzaju koagulantu na skuteczność usuwania mętności w układzie bez recykulacji osadu

Fig. 2. The effect of coagulant type on turbidity removal in the system without sludge recirculation



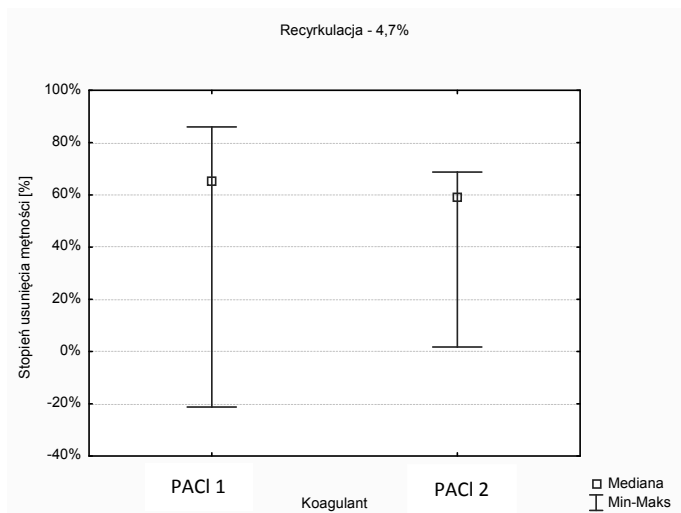
Rys. 3. Wpływ rodzaju koagulantu na skuteczność usuwania cząstek o rozmiarze 1 µm w układzie bez recykulacji osadu

Fig. 3. The effect of coagulant type on 1 µm particle removal in the system without sludge recirculation



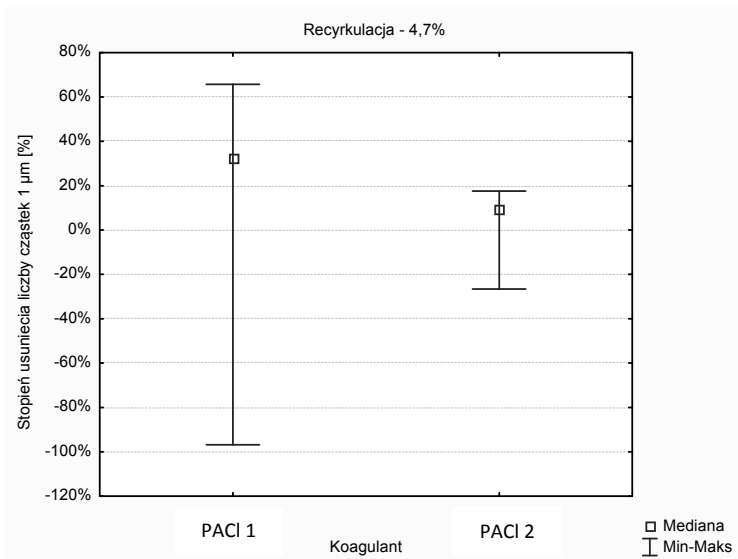
Rys. 4. Wpływ rodzaju koagulantu na skuteczność usuwania rozpuszczonych związków organicznych w układzie z recyrkulacją osadu

Fig. 4. The effect of coagulant type on DOM removal in the system with sludge recirculation



Rys. 5. Wpływ rodzaju koagulantu na skuteczność usuwania mętności w układzie z recyrkulacją osadu

Fig. 5. The effect of coagulant type on turbidity removal in the system with sludge recirculation



Rys. 6. Wpływ rodzaju koagulantu na skuteczność usuwania cząstek o rozmiarze 1 µm w układzie z recyrkulacją osadu

Fig. 6. The effect of coagulant type on 1 µm particle removal in the system with sludge recirculation

4. Wnioski

- W oparciu o wyniki badań pilotowych stwierdzono, że dla badanej wody zastosowanie koagulantu o niskim stopniu polimeryzacji (PACI2) podczas typowej koagulacji spowodowało znaczące obniżenie stężenia rozpuszczonych związków organicznych, natomiast pomiary mętności i liczby cząstek o rozmiarze 1µm w wodzie ujmowanej po osadniku wskazywały, że proces agregacji kłaczków był nieefektywny.
- Podczas koagulacji reagentem PACI2 wprowadzenie recyrkulacji osadu pokoagulacyjnego, przy zachowaniu odpowiedniego stopnia recyrkulacji, pozwoliło na obniżenie mętności wody oraz liczby drobnych cząstek, które podczas typowej koagulacji nie były zatrzymywane w osadniku. Wprowadzenie dodatkowego ładunku zawiesiny do komory flokulacji nie spowodowało jednak dalszego obniżania wartości absorbancji UV254.
- W przypadku uzdatniania wody zbyt niską dawką koagulantu wysokopolimeryzowanego (PACI1), zastosowanie recyrkulacji osadu pokoagulacyjnego umożliwiło uzyskanie oczekiwanych efektów uzdatniania, co znalazło odzwierciedlenie w obniżeniu wartości absorbancji, mętności oraz liczby cząstek.

- Wyniki uzyskane dla koagulantu o wysokim stopniu polimeryzacji (PAC11) wskazują, iż zastosowanie recykulacji osadu pokoagulacyjnego pozwoliło na zmniejszenie dawki skutecznej tego reagenta w porównaniu do typowej koagulacji.

Bibliografia

- [1] Gumińska J., Kłós M.: Analiza konsekwencji przedawkowania koagulantu wstępnie zhydrolizowanego. *Ochrona Środowiska*, 2011, 33 (3) 15-18.
- [2] Gumińska J.: Zastosowanie pomiaru liczby cząstek do analizy mechanizmu i skuteczności procesu koagulacji zanieczyszczeń wody. *Ochrona Środowiska*, 2010, 2, 21-26.
- [3] Gumińska J., Kłós M.: Role of recycled sludge age in coagulation of colored water. *Archives of Environment Protection*, 2009, 35 (1) 33-43.
- [4] Gumińska J., Kłós M.: Analysis of post-coagulation flocs properties in aspect of coagulant choice. *Environment Protection Engineering*, 2012, 1, 103-114.
- [5] Kłós M., Gumińska J.: Zastosowanie sterowania dawką koagulantu w czasie rzeczywistym w celu zwiększenia skuteczności procesu koagulacji. *Ochrona Środowiska*, 2011, 33(4) 71-76.
- [6] D. Pernitsky, J. Edzwald: Practical Paper. Selection of alum and polyaluminum coagulants: principles and applications. *Journal of water supply: Research and Technology- AQUA*, 2006, 55, 121-141.
- [7] D. Wang, W. Sun, Y. Xu, H. Tang, J. Gregory: *Speciation stability of inorganic polymer flocculant-PACl*. *Colloids and surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 2004, 243, 1-3, 1-10.
- [8] W. Xu, B. Gao, Q. Yue, Q. Wang: Effect of preformed and non-preformed Al_{13} species on evolution of floc size, strength and fractal nature of humic acid flocs in coagulation process. *Separation and Purification Technology*, 2011, 78, 83-90.