

Jolanta GUMIŃSKA, Marcin KŁOS,
Paweł MARKOWICZ

*Institut Inżynierii Wody i Ścieków
Politechnika Śląska w Gliwicach*

OCZYSZCZANIE WÓD O ZMIENNEJ JAKOŚCI W PROCESIE KOAGULACJI I FLOTACJI

COAGULATION AND FLOTATION IN TREATMENT OF WATER OF VARIABLE QUALITY

In the flotation systems time of separation of post-coagulation suspensions is much shorter than in the case of sedimentation, and ranges from 5 to 15 minutes, which allows very fast to start the process. Supernatant water can be taken only within 45 minutes from the start up of the system. This allows to use flotation in water treatment with high, not only seasonal, but the diurnal variation of quality.

The results of technical studies made in the full scale research showed that dissolved air flotation is an effective process for separation of post-coagulation suspensions even if raw water is characterized by very high variability of turbidity.

1. Wprowadzenie

Uzdatnianie wody, której podstawowe zanieczyszczenie stanowią rozpuszczone związki organiczne jest znacznie trudniejsze niż realizacja tego procesu dla wody zawierającej głównie cząstki mineralne. Jeżeli proces koagulacji jest optymalizowany pod kątem usuwania materii organicznej mówimy wówczas o „pogłębionej koagulacji” (enhanced coagulation). Konieczność takiej optymalizacji procesu uzdatniania wynika z niebezpieczeństwa powstawania ubocznych produktów utleniania (UPU) i dezynfekcji (UPD). Uzdatnianie wody pod kątem zwiększonej efektywności usuwania zanieczyszczeń organicznych jest szczególnie trudne, gdy proces ten ma być realizowany w oparciu o koagulację, sedymentację i filtrację. Wynika to głównie z faktu, że powstające w trakcie flokulacji tego typu wód agregaty charakteryzują się na ogół bardzo małą gęstością, zbliżoną do gęstości wody, dlatego też ich separacja w procesie sedymentacji jest często nieefektywna, co w konsekwencji powoduje znaczny wzrost obciążenia filtrów ładunkiem zawieszony. W takiej sytuacji skuteczniejszą metodą separacji zawieszin jest flotacja ciśnieniowa.

Proces flotacji ciśnieniowej jest szczególnie zalecany dla skutecznego prowadzenia procesu separacji zawieszin pokoagulacyjnych powstających podczas uzdatniania wód o małej mętności, lecz dużej zawartości rozpuszczonych związków organicznych, ale także dla wód, w których występują intensywne zakwity glonów. W układach flotacji czas separacji zawieszin pokoagulacyjnych jest o wiele krótszy niż w przypadku sedy-

mentacji i wynosi od 5 do 15 minut, co umożliwia bardzo szybkie uruchomienie układu separacji zawiesin. Wodę sklarowaną można uzyskać już po 45 minutach od włączenia układu flotacji. Pozwala to stosować flotację w uzdatnianiu wód o dużej, nie tylko sezonowej, ale i dobowej zmienności jakościowej. Istotną zaletą flotacji ciśnieniowej jest zmniejszenie objętości produkowanych osadów. W typowych zakładach wykorzystujących proces sedymentacji, w zależności od rodzaju stosowanych reagentów, uwodnienie osadu usuwanego z osadników wynosi ok. 99 – 99,5%. W przypadku flotacji ciśnieniowej aglomeraty usuwane są z urządzenia w postaci flotatu, którego uwodnienie przeważnie wynosi około 98%.

W prezentowanej pracy dokonano oceny skuteczności procesu flotacji podczas uzdatniania wody o znacznych wahaniami mętności. Badania prowadzono w skali technicznej w układzie technologicznym realizującym dotychczas procesy wstępnego utleniania, koagulacji siarczanem glinu, flotacji ciśnieniowej oraz filtracji pospiesznej. Testy prowadzono w celu określenia możliwości zwiększenia efektywności procesu uzdatniania wody o dużych wahaniami mętności poprzez zmianę koagulantu.

2. Metodyka badań

2.1. Zakres badań

Badania prowadzono na stacji uzdatniania wody produkującej wodę o jakości wody pitnej do celów przemysłowych. Woda zasilająca stację jest wodą powierzchniową. W okresach intensywnych opadów deszczu w ujmowanej wodzie gwałtownie wzrasta jej mętność. Pomimo faktu, iż woda jest wstępnie oczyszczana z zawiesiny w stawach, o kilkugodzinnym czasie zatrzymania, na stację w takich okresach trafia woda o bardzo wysokiej mętności. Proces uzdatniania na stacji obejmuje wstępne utlenianie chlorem, proces koagulacji i flotacji ciśnieniowej oraz filtrację pospieszną. Ze względu na właściwości zawiesiny pokoagulacyjnej, prawidłowe funkcjonowanie komory flotacji jest szczególnie utrudnione, gdy woda charakteryzuje się wysoką mętnością. O wiele łatwiej zachodzi oczyszczanie wód w procesie flotacji, jeśli woda jest głównie zanieczyszczona rozpuszczoną materią organiczną, czy glonami. Wynika to oczywiście z mniejszej gęstości powstającej zawiesiny pokoagulacyjnej, a tym samym większej podatności kłaczków na flotację.

W pierwszych etapie badań przeprowadzono testy zlewkowe, w oparciu o które dokonano wyboru koagulantu wstępnie zhydrolizowanego. W badaniach testowano dwa koagulanty wstępnie zhydrolizowane, różniące się stopniem polimeryzacji. Jako kryterium oceny oprócz wymaganego poziomu mętności przyjęto uzyskanie jak najniższej wartości absorbancji w nadfiolecie przy długości fali 254 nm, jako wskaźnika zawartości materii organicznej. Dla celów porównawczych w tym samym czasie wykonano analizę wody uzdatnianej w układzie technicznym po procesie flotacji przy użyciu dotychczas stosowanego na stacji siarczanu glinu. Analizę porównawczą wykonano dla mętności wody surowej wynoszącej 24 NTU. Absorbancja UV254 mierzona w próbce niesączonej wynosiła wówczas $0,31 \text{ cm}^{-1}$; natomiast w próbce sączonej $0,19 \text{ cm}^{-1}$. Odczyn zanotowano na poziomie pH 7,2.

W drugim etapie badań prowadzonych w układzie technicznym analizowano wpływ nagłego wzrostu stężenia zanieczyszczeń wody surowej na skuteczność uzdatniania. Podczas tego etapu badań mętność wzrastała z wartości 15 do 155 NTU, natomiast absorbancja UV254 mierzona w próbie niesączonej z $0,27 \text{ cm}^{-1}$ do $1,14 \text{ cm}^{-1}$ przy najwyższej mętności.

2.2. Omówienie wyników badań

Na podstawie uzyskanych wyników testów zlewkowych stwierdzono, że najlepsze efekty zarówno w zakresie usuwania mętności, jak i absorbancji uzyskano dla polichlorku glinu o wysokim stopniu polimeryzacji (PACl), w którym dominującą formą glinu jest polimer Al_{13} . Analiza specyacyjna glinu w wytypowanym koagulancie, oznaczona w testach ferronometrycznych, w oparciu o stałe szybkości reakcji, była następująca:

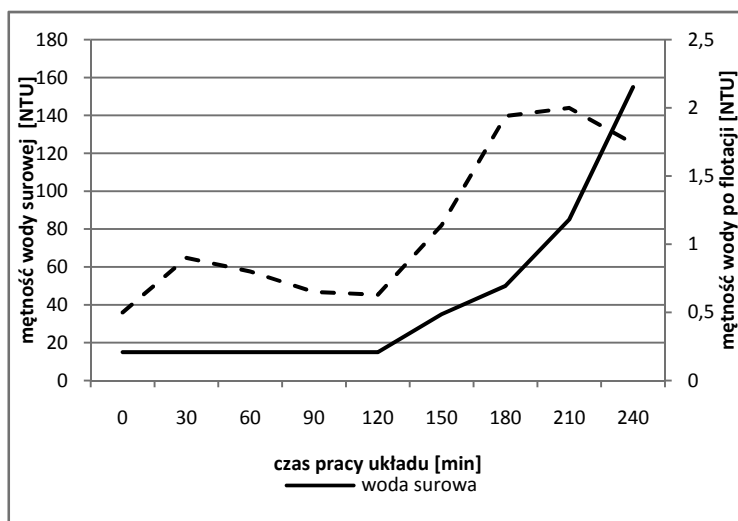
- monomery -11,1%
- formy niskopolimeryzowane (szybko reagujące z ferronem) – 41,7%,
- tridekamery Al_{13} – 47,2%.

W czasie trwania testów zlewkowych w układzie technicznym, w którym proces koagulacji prowadzono z zastosowaniem siarczanu glinu, woda po komorze flotacji wykazywała się mętnością na poziomie 7 NTU, absorbancją UV254 w próbie niesączonej $0,2 \text{ cm}^{-1}$, natomiast w próbie sączonej $0,14 \text{ cm}^{-1}$. Oznacza to, że stosowana w okresie testów dawka siarczanu glinu w układzie technicznym była dawką dalece niewystarczającą dla uzyskania wymaganych efektów technologicznych. Odpowiednio dla tej samej dawki polichlorku glinu (2 gAl/m^3) efektywność uzdatniania była znacznie wyższa, a uzyskiwane wartości powyższych parametrów wynosiły odpowiednio 1 NTU, $0,13 \text{ cm}^{-1}$ zarówno w próbie sączonej, jak i niesączonej, co oznacza, że w wodzie pozostały jedynie związki organiczne w formie rozpuszczonej. Dalsze zwiększenie dawki poprawiało nieznacznie uzyskiwane efekty. Przy dawce 3 mgAl/L mętność spadła do wartości 0,7 NTU, natomiast absorbancja tylko do $0,12 \text{ cm}^{-1}$.

W kolejnym etapie badania prowadzono tylko w układzie technicznym z zastosowaniem wytypowanego koagulantu wstępnie zhydrolizowanego. Dla celów porównawczych wstępnie określono skuteczność koagulacji siarczanem glinu dawką podwyższoną w stosunku do poprzedniego etapu badań. Mętność wody uzdatnionej wynosiła ok. 1,9 NTU, absorbancja wynosiła wówczas $0,196 \text{ cm}^{-1}$ (28% stopień usunięcia). Przy zastosowaniu PACl mętność po procesie flotacji była na poziomie nie przekraczającym 1 NTU (0,5 - 0,9 NTU), a absorbancja notowana była na poziomie ok. $0,15 \text{ cm}^{-1}$ (46-47% usunięcie). Nie jest to efekt zaskakujący, gdyż właściwości tego typu koagulantu pozwalają na uzyskanie lepszych efektów oczyszczania, przy niższych dawkach w porównaniu do koagulantów hydrolizujących. Uzyskana znacząca poprawa jakości wody została potwierdzona przez stężenie chloru pozostałego w wodzie. W układzie technologicznym stosowano w trakcie badań taką samą dawkę chloru do wstępnego utleniania, jak podczas wcześniejszej eksploatacji układu z zastosowaniem siarczanu glinu. Dla porównania oznaczone stężenie chloru pozostałego po procesie koagulacji siarczanem glinu i flotacji wynosiło $0,55 \text{ mgCl}_2/\text{L}$, natomiast po zmianie reagenta na PACl stężenie to znacząco wzrosło początkowo od $1 \text{ mgCl}_2/\text{L}$ aż do $2,5 \text{ mgCl}_2/\text{L}$ przy zbliżonych parametrach jakości wody zasilającej układ flotacji. Tak znacząco wyższe stężenia chloru pozostałego po zmianie reagenta wynikało z faktu, iż wskutek poprawy efektywności koagulacji i flotacji zmniejszyło się zapotrzebowanie wody na chlor.

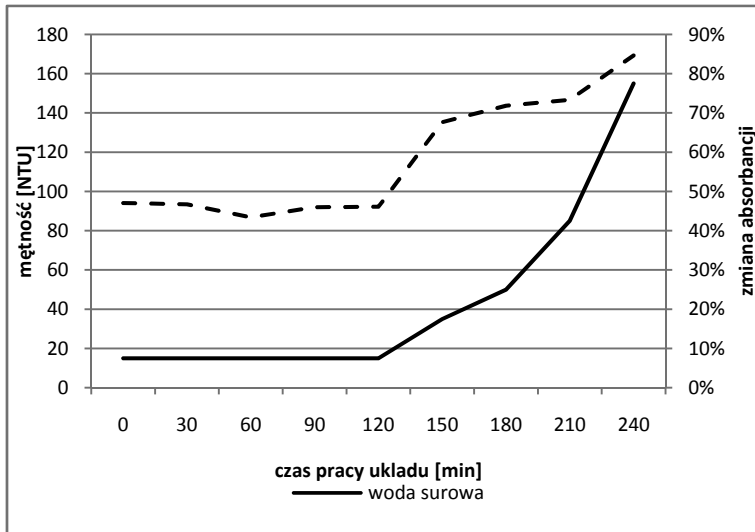
Jest to szczególnie korzystne biorąc pod uwagę, iż proces utleniania niekorzystnie wpływa na strukturę związków organicznych wpływających na wartość absorbancji. Ma to kluczowe znaczenie, jeśli woda jest poddawana procesowi dezynfekcji z zastosowaniem lamp UV. Zwiększając skuteczność procesu koagulacji można więc zmniejszyć dawkę chloru, a w konsekwencji uzyskać niższe wartości absorbancji UV po procesie koagulacji i flotacji ciśnieniowej.

W trakcie badań prowadzonych w układzie technicznym mętność wody zasilającej układ wzrosła w bardzo krótkim okresie (około 4 godzin) z 15 NTU do około 155 NTU. Pomimo tak dużych zmian wprowadzonego ładunku zanieczyszczeń układ pracował bez zastrzeżeń (rys. 1., rys. 2.). Mętność była na nieznacznie wyższym poziomie (ok. 2 NTU) przy bardzo wysokiej mętności wody surowej (80-150 NTU) w porównaniu do mętności uzyskiwanej dla wody surowej o niskim poziomie zanieczyszczeń. Ponieważ badania te prowadzono w trakcie intensywnych opadów deszczu, przewidując nagły wzrost mętności wody zasilającej układ technologiczny, w początkowym etapie stopniowo zwiększano dawkę koagulantu, aby w momencie gwałtownego wzrostu mętności wody surowej doprowadzonej do układu, która zmieniała się z każdą minutą, zapewnić skuteczną dawkę koagulantu (rys.3). Przy mętności wody surowej przekraczającej 30 NTU konieczne było zwiększenie do maksymalnej wartości stopnia recyrkulacji wody. Uzyskanie mętności wody po komorach flotacji na poziomie ok. 1 NTU było możliwe dla mętności wody surowej do ok. 25 NTU, natomiast dla mętności wody wchodzącej na układ uzdatniania do 100 NTU uzyskiwano mętność poniżej 3 NTU. Dla wyższych mętności wody surowej czynnikiem limitującym skuteczność pracy komór flotacji była ilość powietrza podawanego do układu flotacji. Maksymalny stopień recyrkulacji na poziomie 12% był niewystarczający dla usuwania zawiesiny do poziomu poniżej 3 – 5 NTU.



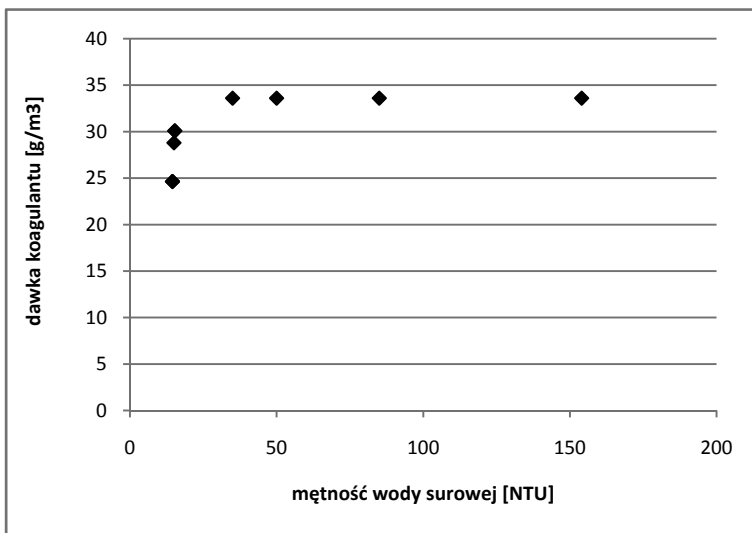
Rys. 1. Skuteczność uzdatniania wody o zmiennej mętności w procesie koagulacji i flotacji ciśnieniowej

Fig. 1. The treatment effectiveness of water with variable turbidity in the process of coagulation and dissolved air flotation



Rys. 2. Skuteczność obniżania absorpcji UV254 (w próbach niesączzonych) podczas uzdatniania wody o zmiennej mętności

Fig. 2. The effectiveness of absorbance UV254 removal (in unfiltered samples) in treatment of water with variable turbidity



Rys. 3. Wpływ mętności wody surowej na dawkę polichlorku glinu

Fig. 3. The effect of raw water turbidity on PAC1 dose

3. Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że proces flotacji ciśnieniowej jest skutecznym procesem separacji zawiesin pokoagulacyjnych dla wód o bardzo dużej zmienności jakościowej, w tym mętności. Warunkiem uzyskania wysokiej efektywności procesu w zakresie usuwania mętności oraz związków organicznych było zastosowanie koagulantu o wysokim stopniu polimeryzacji w miejsce siarczanu glinu oraz zapewnienie odpowiedniego stopnia recyrkulacji.

Efektywność uzdatniania uzależniona była w głównej mierze od dwóch czynników: jakości wody surowej i zastosowanej dawki koagulantu, którą należało optymalizować nie tylko pod kątem usunięcia mętności, ale też związków organicznych mierzonych jako absorbanca UV254.

Wprowadzenie polichlorku glinu w miejsce siarczanu glinu wpłynęło na podwyższenie wartości transmitancji wody przefiltrowanej z poziomu ok. 80 – 85% do wartości 90 – 92%, co jest szczególnie istotne w przypadku prowadzenia procesu dezynfekcji z zastosowaniem lamp UV.

Bibliografia

- [1] Wąsowski J. Kulesza M. Zastosowanie flotacji ciśnieniowej do usprawnienia koagulacji z Zalewu Żegrzyńskiego. *Ochrona Środowiska*, 1999, 4(75) 57-60
- [2] Bache, D. H., Rasool, E. R. Characteristics of alumino-humic flocs in relation to DAF performance. *Water Science and Technology*, 2001, 43 203-208
- [3] Ovenden C., Xiao H. Flocculation behaviour and mechanisms of cationic inorganic microparticle/polymer systems. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2002, 197 225-234
- [4] Shi B., Wei Q., Wang D., Zhu Z., Tang H. Coagulation of humic acid: The performance of preformed and non-preformed Al species. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 2007, 296 141-148
- [5] Yan M., Wang D., Qu J., He W., Chow C. Relative importance of hydrolyzed Al(III) specie during coagulation with polyaluminum chloride: A case study with the typical micro-polluted source waters. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2007, 316 482-489
- [6] Edzwald J. Dissolved air flotation and me. *Water Research*, 2010, 44 2077 – 2106
- [7] Kulesza M., Ozimiński K. Uzdatnianie wody w procesie flotacji ciśnieniowej na stacji pilotowej Wodociągu Północnego. *Ochrona Środowiska*, 1997, 4 (67) 37-40
- [8] Kłós M., Gumińska J. Wykorzystanie pomiaru liczby cząstek do optymalizacji dawki koagulantu w oczyszczaniu wód powierzchniowych. *Ochrona Środowiska*. 2009, 31(3) 25-28
- [9] Kłós M., Gumińska J. Zastosowanie sterowania dawką koagulantu w czasie rzeczywistym w celu zwiększenia skuteczności procesu koagulacji. *Ochrona Środowiska*, 2011, 33(4) 71-76