

Marcin Kłos, Jolanta Gumińska

Wpływ zmiany rodzaju koagulantu na parametry procesu koagulacji

Wzrost wymagań jakościowych stawianych wodzie przeznaczonej do spożycia spowodował konieczność zwiększenia skuteczności oczyszczania wody ujmowanej przez zakłady wodociągowe. Działania wpisujące się w realizację tego celu można podzielić na dwie grupy. Pierwsza obejmuje modernizację i rozbudowę systemów oczyszczania wody o nowe procesy jednostkowe, natomiast druga jest związana z modyfikacją stosowanych procesów jednostkowych w celu zwiększenia skuteczności usuwania zanieczyszczeń. W przypadku oczyszczania wód powierzchniowych, które stanowią istotną część dostępnych źródeł wody w Polsce, rozbudowa zakładów oczyszczania wody wiąże się najczęściej z dobudowaniem komór ozonowania oraz filtrów z węglem aktywnym. W celu uzyskania odpowiedniej skuteczności procesów ozonowania i sorpcji ważne jest, aby woda kierowana na te urządzenia charakteryzowała się odpowiednią jakością, którą można zapewnić jedynie przez odpowiednie prowadzenie procesu koagulacji. Wzrost skuteczności tego procesu wiąże się nie tylko z modernizacją układów flokulacji i separacji zawieszin pokoagulacyjnych, ale także z wprowadzeniem nowych reagentów do koagulacji zanieczyszczeń wody.

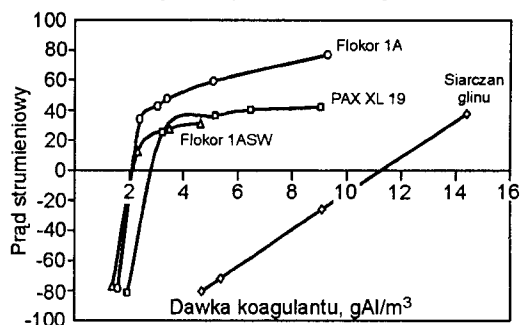
Najczęściej stosowanym koagulantem w polskich stacjach oczyszczania wody był siarczan glinu. Jest on niewątpliwie najtańszym reagentem o dużej skuteczności działania w stosunku do typowych zanieczyszczeń, takich jak np. związki humusowe. Ma on jednak również wiele wad, które ograniczają jego przydatność. Do podstawowych mankamentów tego koagulantu należy zaliczyć ograniczony zakres pH, w którym może być stosowany, zwiększenie właściwości korozyjnych wody oraz problem z pojawianiem się glinu pozostałego w wodzie, zwłaszcza, gdy pH wody przekracza 7,5. Dlatego też koagulanty hydrolizujące, takie jak siarczan glinu, wypierane są z zakładów oczyszczania przez wysokozasadowe reagenty wstępnie zhydrolizowane. Do najważniejszych zalet nowych reagentów należy zaliczyć większą skuteczność działania oraz związaną z nią możliwość zmniejszenia wymaganych dawek. Ponadto pozwalają one na uniknięcie pewnych skutków ubocznych, jakie występują w przypadku tradycyjnych koagulantów hydrolizujących, jak np. zmniejszenie stabilności chemicznej wody. Związane jest to z brakiem konieczności neutralizacji produktów hydrolyzy koagulantu. Jednak główną barierą w ich upowszechnieniu jest większy koszt. Nadmierny wzrost kosztów eksploatacyjnych podczas zmiany rodzaju koagulantu wynika w głównej mierze z braku odpowiedniej metodyki kontroli i pomiaru przebiegu koagulacji oraz oceny skuteczności procesu w zależności od dawki koagulantu. Obecnie najlepszym sposobem kontroli dawki koagulantu jest zastosowanie analizatora prądu strumieniowego (SCA – stream

current analyzer) [1–3]. Jednak wdrożenie tego rozwiązania wiąże się z dużymi kosztami inwestycyjnymi, co w znacznym stopniu ogranicza dostępność tego systemu. W efekcie koagulanty wstępnie zhydrolizowane wprowadzane są w wodociągach zgodnie z procedurami określonymi w przypadku koagulantów starszej generacji, co powoduje, że bardzo często parametry procesu, np. stosowane dawki, są dalece nieoptymalne. Powoduje to niepożądany wzrost kosztów eksploatacyjnych oczyszczania wody.

W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych i pilotowych oraz uzyskane podczas eksploatacji układów technicznych podczas zmiany rodzaju koagulantu, w aspekcie jego wpływu na przebieg procesów technologicznych, ze szczególnym uwzględnieniem koagulacji.

Dawka koagulantu

Jednym z bardziej eksponowanych czynników mających wpływ na zmianę koagulantu jest zmniejszenie dawek nowych koagulantów w porównaniu z tradycyjnymi koagulantami hydrolizującymi. Doświadczenia zakładów oczyszczania wody pokazują, że w większości przypadków znajduje to pokrycie w praktyce. Zmniejszenie dawki uzależnione jest od wielu czynników, spośród których do najważniejszych należy zaliczyć jakość ujmowanej wody oraz sposób prowadzenia procesu koagulacji. Większa skuteczność działania koagulantów wstępnie zhydrolizowanych wynika przede wszystkim z obecności spolimeryzowanych form glinu [4,5]. Pomimo że przebieg procesu i produkty powstające podczas koagulacji tymi reagentami nie są jeszcze w pełni wyjaśnione, to wyniki wielu badań pokazują, że wiąże się ona ze znacznie większą gęstością ładunku powierzchniowego produktów hydrolyzy, a więc i z większą ich zdolnością do neutralizacji ładunku zanieczyszczeń koloidalnych obecnych w wodzie [6]. Na rysunku 1 przedstawiono wyniki badań nad wpływem rodzaju koagulantu na zdolność do neutralizacji ładunku elektrokinetycznego zanieczyszczeń wody modelowej z zastosowaniem analizatora prądu strumieniowego. W badaniach wykorzystano trzy koagulanty wstępnie zhydrolizowane, tj. PAX XL 19 firmy



Rys. 1. Zależność zmiany prądu strumieniowego od dawki koagulantu [7]

Kemipol, Flokor 1A i Flokor 1ASW firmy Dempol-Eco oraz siarczan glinu, jako powszechnie stosowany koagulant hydrolizujący. Uzyskane wyniki pokazują, że zdolność do zmniejszenia potencjału elektrokinetycznego zanieczyszczeń koloidalnych obecnych w badanej wodzie była 5+7-krotnie większa w przypadku koagulantów wstępnie zhydrolizowanych niż w przypadku siarczanu glinu. W testowanym zakresie dawek poszczególnych reagentów udało się osiągnąć całkowitą neutralizację ujemnego ładunku zanieczyszczeń obecnych w wodzie, co odpowiadało wartości prądu strumieniowego około +30++40 jednostek. Dawka koagulantów spolimeryzowanych, wymagana do uzyskania tej wartości prądu strumieniowego, wynosiła $2,1\pm 2,7 \text{ gAl/m}^3$, podczas gdy siarczanu glinu – $14\pm 16 \text{ gAl/m}^3$ [7].

Doświadczenia eksploatacyjne wielu stacji oczyszczania wody pokazują jednak, że rzeczywista różnica dawek różnych koagulantów jest znacznie mniejsza. Wynika ona z właściwości zawieszin pokoagulacyjnych powstających podczas koagulacji reagentami wstępnie zhydrolizowanymi oraz stosowanego sposobu ich separacji. Wyniki badań nad strukturą agregatów pokoagulacyjnych i rozkładem ich wielkości w zależności od stopnia zmniejszenia potencjału zeta wykazały, że w przypadku stosowania koagulantów wstępnie zhydrolizowanych w dawce wymaganej do neutralizacji ładunku powierzchniowego zanieczyszczeń powstające kłaczkii osiągają znacznie mniejsze wymiary niż w przypadku dawkowania siarczanu glinu [8]. W efekcie trudniej jest je usunąć w procesie sedymentacji.

Obserwacje i doświadczenia własne pokazują, że można w pewnym stopniu przeciwdziałać temu zjawisku poprzez zastosowanie dwusekcyjnych komór flokulacji ze zróżnicowanymi prędkościami obrotowymi mieszadeł. Próby przeprowadzone podczas rozruchu technologicznego układu koagulacji w stacji oczyszczania wody w Łukanowicach wykazały, że ustalenie znacznie wyższej prędkości obrotowej w pierwszej części komór wolnego mieszania (18 obr./min) niż w drugiej (6+8 obr./min) pozwoliło na uzyskanie znacznie większych kłaczek opuszczających komorę flokulacji, co potwierdzono w trakcie obserwacji wizualnych. Wpływ tego rozwiązania na liczebność cząstek o rozmiarach $40\pm 100 \mu\text{m}$, których nie można usunąć na drodze sedymentacji i które są odpowiedzialne za zwiększenie obciążenia filtrów pospiesznych zawieszinami, wymaga jednak prowadzenia dalszych badań przy użyciu licznika cząstek.

Stosowane procedury doboru zakresu dawek skutecznych oraz dawki optymalnej koagulantu, oparte na tzw. testach naczyniowych (jar-test), jako kryterium wyboru wykorzystują stopień usunięcia zanieczyszczeń mierzony wartością podstawowych wskaźników jakości wody (mętność, barwa, utlenialność, ogólny węgiel organiczny). Testy te stosunkowo dobrze – jak na warunki laboratoryjne – odwzorowują rzeczywiste procesy jednostkowe stosowane w układach koagulacji wody. Przyjęte procedury i wyniki testów naczyniowych powodują, że dawki uznane za optymalne są znacznie większe od dawek wymaganych do neutralizacji ładunku powierzchniowego zanieczyszczeń koloidalnych. W efekcie, mimo że zmiana potencjału elektrokinetycznego w przypadku przedawkowania koagulantu wstępnie zhydrolizowanego nie powoduje tak gwałtownego pogorszenia jakości wody jak w przypadku np. siarczanu glinu, sytuacja jest niekorzystna zarówno z uwagi na problemy technologiczne, (skracanie cyklu pracy filtrów pospiesznych), jak i niepotrzebne zwiększenie kosztów prowadzenia procesu [9]. W celu wyeliminowania tych niekorzystnych zjawisk i zwiększenia skuteczności pracy osadników, łącznie z koagulantami wstępnie zhydrolizowanymi stosuje się powszechnie polielektrolity. Prawie w każdym

przypadku testy naczyniowe wskazują, że najlepsze wyniki uzyskuje się podczas stosowania jako flokulantów polielektrolitów anionowych. Wynika to z faktu, że oprócz zdolności do obciążania powstających kłaczek oraz ich aglomeracji, mają także zdolność do neutralizacji ładunku powierzchniowego pochodzącego z nadmiaru koagulantu. Poprawia to znacznie skuteczność sedymentacji, pozwalając jednocześnie na uzyskanie wysokiego stopnia zmniejszenia intensywności barwy wody oraz usunięcia rozpuszczonych związków organicznych. Dane zebrane ze stacji oczyszczania wody m.in. w Kozłowej Górze [10], Łukanowicach, Kobiernicach, Żywcu i Zbylitowskiej Górze pokazują, że wprowadzenie do procesu koagulacji koagulantów wstępnie zhydrolizowanych o wysokim stopniu spolimeryzowania pozwoliło na zmniejszenie wymaganej dawki koagulantu o 30+70% w porównaniu z koagulantami hydrolizującymi lub niskozasadowymi. Dokładna wartość stopnia zmniejszenia dawki koagulantu była uzależniona przede wszystkim od jakości ujmowanej wody (i z reguły była tym większa im mniejsza była w wodzie zawartość rozpuszczonych związków organicznych w postaci związków humusowych) oraz od charakterystyki koagulantu, który był używany pierwotnie.

Obserwacje zebrane na tych stacjach pokazują, że bardzo istotnym elementem w zwiększaniu skuteczności koagulacji wstępnie zhydrolizowanych jest stała kontrola dawki optymalnej w zależności od zmiany jakości ujmowanej wody. O ile w przypadku koagulantów hydrolizujących zarówno zbyt mała, jak i zbyt duża dawka praktycznie natychmiast znajduje odzwierciedlenie w jakości wody oczyszczonej, to przy stosowaniu reagentów wstępnie zhydrolizowanych przedawkowanie koagulantu w pewnym zakresie nie powoduje pogorszenia jakości wody. Wynika to z nieliniowej zależności pomiędzy zmianą potencjału elektrokinetycznego wody a dawką reagenta w zakresie powyżej punktu izoelektrycznego [7,11]. W praktyce oznacza to, że operator systemu koagulacji objętościowej nie jest w stanie jednoznacznie ocenić, czy skuteczna dawka koagulantu jest dawką optymalną. Dlatego też, w przypadku stosowania koagulantów wstępnie zhydrolizowanych, bardzo dobrze sprawdza się układ kontroli i sterowania dawką oparty na analizatorze prądu strumieniowego. Jednak aby ten analizator pozwalał na optymalizację zużycia koagulantu bardzo ważne jest, aby etap kalibracji i rozruchu urządzenia prowadzić w oparciu o wyniki odpowiednio zaprogramowanych badań, w których testy naczyniowe powinny być zweryfikowane w technicznym układzie oczyszczania wody. Przykładem takiego rozwiązania może być stacja oczyszczania wody w Łukanowicach, gdzie zastosowanie analizatora prądu strumieniowego pozwoliło na zmniejszenie dawki koagulantu o około 25%, w porównaniu z systemem doboru dawki opartym na zależności ilości koagulantu od zmiany mętności ujmowanej wody.

Separacja zawieszin pokoagulacyjnych

Wpływ dawki koagulantu wstępnie zhydrolizowanego na wielkość powstających kłaczek ma szczególne znaczenie w przypadku, gdy proces koagulacji prowadzony jest w złożu filtracyjnym (koagulacja powierzchniowa). W celu skutecznego prowadzenia tego procesu bardzo ważne jest, aby dawka koagulantu pozwoliła na skuteczne usunięcie zanieczyszczeń, przy jednocześnie minimalnym obciążeniu złoża filtracyjnego zawieszinami pokoagulacyjnymi. Pozwala to na maksymalne zwiększenie czasu trwania cykli filtracyjnych, co zmniejsza ilość zużywanej wody i energii do płukania złoża filtracyjnych. Wyniki badań modelowych i technicznych przeprowadzonych

na filtrach kontaktowych w Zakładzie Produkcji Wody „Czaniec” wykazały, że zmiana rodzaju koagulantu może przynieść znaczny wzrost skuteczności oczyszczania wody. W przypadku wody z tego ujęcia zastąpienie siarczanu glinu koagulantem spolimeryzowanym Flokor 1ASW w czasie testów modelowych pozwoliło na wydłużenie cykli filtracyjnych o 100+300%, w zależności od jakości wody surowej, przy jednoczesnym zmniejszeniu średniej dawki koagulantu z ok. 1 gAl/m³ do 0,7 gAl/m³. Potwierdziły to wyniki uzyskane podczas prób na filtrach technicznych, gdzie zmiana typu koagulantu pozwoliła na zwiększenie czasu pracy pomiędzy płukaniem o 50%, przy jednoczesnym zmniejszeniu przeciętnej dawki koagulantu w okresie testów z 0,5 gAl/m³ do 0,35 gAl/m³ [12]. Różnice w skuteczności działania koagulantów wynikają z dwóch czynników. Pierwszy z nich to różna szybkość powstawania kłaczków w przypadku stosowania koagulantów różnych typów, zwłaszcza w przypadku wody surowej o niskiej temperaturze. Bez względu na temperaturę oczyszczanej wody, koagulanty wstępnie zhydrolizowane pozwalają na szybsze powstawanie agregatów niż np. siarczan glinu, a im niższa temperatura wody, tym różnica ta jest bardziej widoczna. Zjawisko to ma szczególne znaczenie w przypadku koagulacji powierzchniowej. Większa dynamika powstawania agregatów zawiesin pokoagulacyjnych pozwala na pełne wykorzystanie pojemności czynnej złożeń w filtrach kontaktowych, w których przepływy filtrowanej wody odbywa się w kierunku z dołu ku górze. W przypadku gdy proces koagulacji prowadzony jest w typowych jednowarstwowych filtrach pospiesznych ze złożem piaskowym, zmiana koagulantu powoduje skrócenie cyklu filtracyjnego. Spowodowane jest to tym, że górna warstwa złoża, o najmniejszej pojemności czynnej, narażona jest na największe obciążenie zawiesinami. W przypadku tego typu filtrów zmiana koagulantu musi być połączona ze zmianą charakterystyki złoża filtracyjnego. Optymalnym rozwiązaniem jest dwuwarstwowe złożo antracyto-piaskowe. Górna warstwa antracytu, o większym niż piasek uziarnieniu i dużej porowatości, pozwala na prowadzenie procesu koagulacji powierzchniowej przy takich cyklach filtracyjnych, jak w przypadku pracy filtrów w układzie koagulacji objętościowej. Potwierdzają to wyniki badań modelowych oraz dane zebrane podczas rozruchu technologicznego układu filtracji pospiesznej w stacji oczyszczania wody w Żywcu oraz Wiśle-Czarnym.

Drugim czynnikiem decydującym o większej skuteczności koagulantów wstępnie zhydrolizowanych w procesie koagulacji powierzchniowej jest ich mniejsza dawka. Wyniki badań modelowych przeprowadzonych na wodzie ze zbiornika zaporowego w Wiśle-Czarnym oraz w stacji oczyszczania wody w Żywcu wykazały, że wymagana dawka koagulantu wstępnie zhydrolizowanego w procesie koagulacji powierzchniowej była znacznie mniejsza niż podczas koagulacji objętościowej. W obu przypadkach różnica ta wynosiła około 50% dawki optymalnej wyznaczonej podczas testów naczyniowych i sprawdzonych w układzie technicznym koagulacji objętościowej. Tak znaczące zmniejszenie dawki koagulantu pozwoliło na zmniejszenie obciążenia złożeń filtracyjnych zawiesinami, co – w połączeniu z dwuwarstwową strukturą złoża – umożliwiło utrzymanie długich cykli filtracyjnych.

Konieczność wymiany złoża filtracyjnego na złożo wielowarstwowe podczas zmiany koagulantu może dotyczyć nie tylko koagulacji powierzchniowej. Często podczas zmiany koagulantu zhydrolizującego na wstępnie zhydrolizowany w układach koagulacji objętościowej obserwuje się skrócenie czasu pracy filtrów pospiesznych o jednowarstwowym złożu piaskowym. Zjawisko to występuje, mimo że mętność wody po osadnikach jest mniejsza niż w przypadku stosowania

koagulantu wstępnie zhydrolizowanego. Sytuacja taka wiąże się z procedurami optymalizacji procesu koagulacji objętościowej pod kątem minimalizacji mętności w próbkach sklarowanych oraz specyfiką i ograniczeniami nefelometrycznego pomiaru mętności wody. Te ostatnie wynikają głównie z braku stabilności stosowanych lamp tungstenowych oraz ich szerokiego widma emisji. W połączeniu z wykładniczym rozkładem liczby cząstek w zależności od ich wielkości powoduje to, że cząstki o wielkościach poniżej 2 μm bardzo silnie oddziałują na wyniki pomiarów mętności tą metodą. Oznacza to, że w wyniku koagulacji reagentami wstępnie zhydrolizowanymi mogą powstawać znaczne ilości mikroklaczków o rozmiarach zbyt małych, aby je usunąć w drodze sedymentacji i zwiększających obciążenia filtrów, a jednocześnie słabo wykrywalnych podczas rutynowych pomiarów mętności wody. Ich obecność można oznaczyć za pomocą np. analizatora wielkości i liczby cząstek. Jednak z uwagi na małą dostępność tego przyrządu w laboratoriach stacji oczyszczania wody pomiary te są stosunkowo rzadko wykonywane. Dlatego też wydaje się, że typowe procedury testów naczyniowych powinny być uzupełnione o pomiary pozwalające na wstępną ocenę skuteczności usuwania cząstek zawiesiny pokoagulacyjnej mogącej pogarszać skuteczność pracy filtrów pospiesznych. Doświadczenia własne pokazują, że z bardzo dobrym skutkiem można wykorzystać w tym celu sączenie przez sączki membranowe o średnicy porów 0,45 μm, zmodyfikowane na wzór procedury oznaczania SDI (slight density index) pod względem ilości uzyskanego filtratu oraz czasu filtracji.

Glin pozostały i stabilność chemiczna wody

Jednym z częstych powodów zmiany koagulantu zhydrolizującego na wstępnie zhydrolizowany jest brak możliwości utrzymania dopuszczalnej zawartości glinu pozostałego w wodzie po procesie koagulacji. Najczęściej wiąże się to z występowaniem specyficznych form glinu w wodzie surowej, bądź z niedostosowaniem wartości pH oczyszczanej wody do chemizmu koagulantu zhydrolizującego. Prowadzenie korekty pH często pozwala na eliminację drugiego z tych czynników. Jest ona jednak stosunkowo droga i bardzo często musi być prowadzona jako dwustopniowa. Pierwszy stopień pozwala na stworzenie optymalnych warunków do przebiegu koagulacji, a drugi stopień zapewnia stabilność chemiczną i brak własności korozyjnych wody kierowanej do sieci. Analizy technologiczne i ekonomiczne kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych wykazują, że często tańszym rozwiązaniem od wielostopniowej korekty pH jest zmiana koagulantu na reagent niepowodujący występowania glinu pozostałego w wodzie po procesie koagulacji i klarowania oraz utrzymujący wymaganą stabilność wody.

Duży stopień spolimeryzowania koagulantów wysokozasadowych oraz domniemany mechanizm strącania związków glinu podczas koagulacji powoduje, że zawartość glinu pozostałego w wodzie w formie rozpuszczonej jest bardzo mała i nie przekracza wartości dopuszczalnej w wodzie [6]. Zastosowanie tego typu reagentów pozwala także na usunięcie glinu obecnego w wodzie surowej, z którym siarczan glinu zwykle sobie nie radzi. Przykładem tego typu działania koagulantów wstępnie zhydrolizowanych mogą być wyniki uzyskane podczas prób przeprowadzonych na wodzie z ujęcia „Czaniec” z zastosowaniem koagulantu Flokor 1ASW [12]. W przypadku siarczanu glinu, który stanowił podstawowy koagulant, w ponad 30% analizowanych próbek stwierdzono przekroczenie zawartości glinu w wodzie po filtrach kontaktowych ponad dopuszczalną

wartość 0,2 gAl/m³. Dzięki zmianie rodzaju koagulantu udało się utrzymać zawartość glinu w wodzie oczyszczonej poniżej tej granicy w każdej z badanych próbek. Podobną skuteczność zmniejszania zawartości glinu pozostałego po procesie koagulacji i filtracji na złożach antracytowo-piaskowych uzyskano po zastąpieniu siarczanu glinu wysokozasadowym reagentem wstępnie zhydrolizowanym typu Flokor 1.2A. Zmiana rodzaju koagulantu pozwoliła na zmniejszenie zawartości glinu w wodzie po filtrach antracytowo-piaskowych o 60+80% [10].

Należy jednak pamiętać, że prowadzone rutynowo przez laboratoria wodociągowe analizy kontrolne metodami spektrofotometrycznymi, np. metodą z cyjaniną eriochromową R pozwalają na oznaczenie jedynie glinu rozpuszczonego w postaci form monomerowych, natomiast analizy wykonywane w zmineralizowanych próbkach lub metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej (ASA) dają możliwość oznaczenia glinu ogólnego. Zdarza się czasami, że różnice w wynikach uzyskanych w próbkach zmineralizowanych i niezmineralizowanych są znaczne i często nie towarzyszy temu podwyższona wartość mętności. Oznacza to, że glin pochodzi z cząstek zawiesin pokoagulacyjnych, które nie zostały usunięte z wody w procesie koagulacji i sedymentacji. Dlatego też w procedurach testów naczyniowych, prowadzonych w celu wyboru koagulantu, monitoring zawartości glinu pozostałego należy prowadzić z uwzględnieniem tych uwag. Błędy proceduralne popełnione na tym etapie badań mogą prowadzić do nieuwzględniania zawiesin opuszczających osadniki, co w konsekwencji powoduje skracanie cykli filtracyjnych.

Wnioski

♦ Wysokozasadowe koagulanty wstępnie zhydrolizowane stanowią interesującą alternatywę stosowanego powszechnie siarczanu glinu. Ich zastosowanie pozwala w większości przypadków na zmniejszenie dawek koagulantów, dzięki czemu zmniejsza się także ilość powstających zawiesin pokoagulacyjnych, co poprawia skuteczność techniczną i technologiczną procesu filtracji pospiesznej.

♦ Zastosowanie tych reagentów pozwala także na zapewnienie stabilności chemicznej wody, co umożliwia produkcję wody nieagresywnej i niekorozyjnej, bez dodatkowej korekty pH. Duży zakres pH działania tego typu reagentów umożliwia ich skuteczną pracę bez względu na okresowe zmiany tego wskaźnika w ujmowanej wodzie. Jest to szczególnie istotne, gdy pH oczyszczonej wody przekracza 7,5, co w przypadku stosowania koagulantów hydrolyzujących może być powodem pojawiania się w wodzie oczyszczonej zwiększonych ilości glinu pozostałego. Nagłe zmiany wartości tego wskaźnika mogą powodować także rozpuszczanie zatrzymanych wcześniej zawiesin pokoagulacyjnych w złożach filtracyjnych, co skutkuje przekroczeniem dopuszczalnej zawartości glinu oraz mętności wody oczyszczonej.

♦ W czasie zmiany rodzaju koagulantu należy zwrócić szczególną uwagę na strukturę i wielkość powstających kłaczków pokoagulacyjnych. Testy naczyniowe poprzedzające badania pilotowe powinny uwzględniać nie tylko wpływ zmiany koagulantu na mętność sklarowanej wody, ale i na obecność cząstek zawiesiny pokoagulacyjnej wpływających na zwiększone obciążenie złóż filtracyjnych.

LITERATURA

1. A. ADGAR, C.S. COX, C.A. JONES: Enhancement of coagulation control using the streaming current detector. *Bioprocess Biosyst Eng.*, 2005, 27, pp. 349–357.
2. F. BERNAZEAU, P. PIERONNE, J.P. DUGUET: Interest in using streaming current detector for automatic coagulant dose control – organics removal and safety. *Water Supply*, 1992, 10 (4), pp. 87–96.
3. J.C. LIU, M.D. WU: Fuzzy control of coagulation reaction through streaming current monitoring. *Wat. Sci. Tech.*, 1997, 36(4), pp. 127–134.
4. C. ZHAOYANG *et al.*: Evaluation of Al₁₃ polynuclear species in polyaluminum solutions as coagulant for water treatment. *Chemosphere*, 2006, 64, pp. 912–918.
5. L. XIAOQIAO, C. ZULIANG, Y. XINHAO: Spectroscopic study of aluminum speciation in removing humic substances by Al coagulation. *Wat. Res.*, 1999, 33, 15, pp. 3271–3280.
6. B. SHUPING *et al.*: Studies on the mechanism of hydrolysis and polymerization of aluminum salts in aqueous solution: correlation between the Core-links model and Cage-like Keggin-Al₁₃ model. *Coordination Chemistry Reviews*, 2004, Vol. 248, pp. 441–445.
7. M. KŁOS: Zastosowanie detektora prądu strumieniowego do oceny efektywności działania koagulantów. *Mat. Konf. „Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dystrybucji wody”*, Politechnika Śląska, Szczyrk 2007, ss. 133–141.
8. K. MCCURDY, K. CARLSON D. GREGORY: Floc morphology and cyclic shearing recovery: Comparison of alum and polyaluminum chloride coagulants. *Water Research*, 2004, 38, pp. 486–494.
9. J. DUAN, J. GREGORY: Coagulation by hydrolyzing metal salts. *Adv. Colloid Interf. Sci.*, 2003, Vol. 100–102, pp. 475–502.
10. A. DULIK, P. SADOWSKI, J. HORZELA: Efekt wdrożenia koagulantu wstępnie zhydrolizowanego na pracę ciągu technologicznego SUW Kozłowa Góra. *Mat. konf. „Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dystrybucji wody”*, Politechnika Śląska, Szczyrk 2007, ss. 91–99.
11. I.M. SOLOMENTSEVA *et al.*: Surface properties and aggregation of basic aluminum sulphate hydrolysis products. 1. Electrokinetic potential and hydration of BAS hydrolysis product particles. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 2004, 230, pp. 117–129.
12. M. KŁOS, J. GUMIŃSKA, W. SAWINIĄK: Zastosowanie koagulantów hydrolyzujących oraz wstępnie zhydrolizowanych w procesie koagulacji kontaktowej. *Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”*, PZITS, Poznań–Zakopane 2006, ss. 539–551.

Kłos, M., Gumińska, J. Effect of the Type of the Coagulant on the Parameters of the Coagulation Process. *Ochrona Środowiska* 2007, Vol. 29, No. 4, pp. 73–76.

Abstract: The use of hydrolyzing coagulants (e.g. aluminum sulfate) and prehydrolyzed high-alkalinity coagulants is now commonplace in water treatment plants. In this paper, the results of laboratory- and pilot-scale tests are presented, as well as those obtained under full-scale conditions involving a real treatment train. The aim of the study was to examine how the replacement of a coagulant type (a hydrolyzing reagent) with another one (a prehydrolyzed coagulant)

influences technological processes in general, and that of the coagulation process in particular. The results have revealed the following advantages of such replacement: a reduction in the coagulant dose required, a lower quantity of the precipitate produced, and a higher chemical stability of the water. It is essential to note, however, that before the coagulant is replaced, laboratory and pilot tests have to be performed in order to assess how the change of the coagulant will influence the course of the whole treatment process.

Keywords: Water treatment, coagulation, hydrolyzing coagulant, prehydrolyzed coagulant.