

Jolanta Gumińska, Marcin Kłos

Wpływ recyrkulacji osadu pokoagulacyjnego na skuteczność oczyszczania wody o dużej intensywności barwy

Integracja Polski z krajami Unii Europejskiej spowodowała, że ogólnosiwiatowe tendencje kodyfikacji, obejmujące wzrost wymagań jakościowych stawianych wodzie przeznaczonej do zaopatrzenia ludności (zawarte m.in. w dyrektywie UE 98/83/EC oraz w wytycznych WHO z 2004 r.) znalazły odzwierciedlenie także w polskim ustawodawstwie. Z uwagi na ograniczone zasoby wód podziemnych, do zaopatrzenia ludności często ujmowane są wody powierzchniowe. Ich jakość jest różna, jednak praktycznie wszystkie wymagają oczyszczania. Podstawowym procesem technologicznym wykorzystywanym do oczyszczania wód powierzchniowych jest koagulacja. Jej zadaniem jest usunięcie z wody większości podstawowych zanieczyszczeń (oznaczanych m.in. w postaci takich wskaźników, jak mętność, barwa, rozpuszczone i koloidalne związki organiczne). Większość zakładów oczyszczania wody jest ukierunkowana głównie na klarowanie wody, co nie stanowi zazwyczaj problemu. W przypadku, gdy podstawowe zanieczyszczenia występują w ujmowanej wodzie w postaci rozpuszczonych związków organicznych, jej oczyszczanie często stanowi poważny problem [1,2]. Według wielu autorów różna skuteczność usuwania substancji wywołujących zwiększoną mętność oraz intensywność barwy wody wynika z faktu, iż optymalne warunki do usuwania cząstek powodujących mętność są zazwyczaj odmienne od warunków niezbędnych do usuwania naturalnych substancji organicznych [3–8].

Skuteczność procesu koagulacji warunkuje w głównej mierze przebieg i skuteczność całego układu oczyszczania wody. Maksymalizacja skuteczności koagulacji poprawia nie tylko jakość wody, ale pozwala także na znaczne zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych, dzięki oszczędnościom na kolejnych etapach oczyszczania wody (większa żywotność węgla aktywnego, zmniejszenie wymaganych dawek środków dezynfekcyjnych), a także mniejsza koszty działania systemu dystrybucji wody (poprawa stabilności chemicznej i biologicznej wody). Poprawę skuteczności koagulacji można uzyskać zarówno przez optymalizację konstrukcji urządzeń, jak i na drodze zmian technologicznych procesu. Z uwagi na dużą sprawność techniczną projektowanych obecnie urządzeń, na znaczne zwiększenie skuteczności koagulacji pozwalają głównie zmiany w technologii prowadzenia tego procesu. W celu poprawy skuteczności oczyszczania wody stosowane są różne działania, których zadaniem jest wzrost stopnia usuwania zanieczyszczeń obecnych w ujmowanej wodzie oraz zwiększenie skuteczności separacji zawieszin pokoagulacyjnych.

Do najbardziej rozpowszechnionych metod należy zmiana rodzaju koagulantu i zastosowanie flokulantów organicznych (polielektrolitów). Oprócz tych działań, zwiększenie skuteczności koagulacji można uzyskać wprowadzając do układu technologicznego system recyrkulacji osadu pokoagulacyjnego, który ma za zadanie przyspieszenie aglomeracji nowopowstających zawieszin pokoagulacyjnych oraz zwiększenie ich zdolności sorpcyjnej. Bez względu na sposób realizacji procesu, tzn. czy mamy do czynienia z modyfikacją układu klasycznego, czy też z osadnikami z zawieszonym osadem, fakt istnienia recyrkulacji osadu będzie miał wpływ na wartość dawki optymalnej koagulantu. Dotychczas podczas doboru tego parametru technologicznego wpływ recyrkulacji osadu nie był praktycznie uwzględniany. Jednym z podstawowych parametrów, który decyduje o właściwym przebiegu procesu oczyszczania wody w takim układzie technologicznym jest stopień recyrkulacji osadu.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań nad możliwością poprawy skuteczności oczyszczania wody o dużej intensywności barwy poprzez recyrkulację osadu pokoagulacyjnego. Wskazano na możliwość zmniejszenia dawki koagulantu w porównaniu z typową koagulacją, przy prawidłowo dobranym stopniu recyrkulacji osadu pokoagulacyjnego.

Materiały i metodyka

Wodę do badań laboratoryjnych przygotowywano na bazie wody wodociągowej. Woda surowa charakteryzowała się dużą intensywnością barwy, której wartość w pierwszej serii badań wynosiła 70 gPt/m³, natomiast w drugiej – 140 gPt/m³. Intensywność barwy wody zwiększono poprzez dawkowanie odpowiednich ilości wyciągu torfowego. Wyciąg torfowy, jako źródło substancji humusowych, przygotowano poprzez zalanie odpowiedniej ilości masy torfowej wodą wodociągową, a następnie alkalizację mieszaniny 0,1 M NaOH. Mieszaninę pozostawiono na czas 1 tygodnia, okresowo ją mieszając. Wyciąg uzyskano poprzez dekantację sklarowanego roztworu nad warstwy osadu torfu. Aby utrzymać jednorodny skład wody w całej objętości, w trakcie dawkowania wyciągu wodę mieszano z prędkością 200 obr./min. Absorbancja w UV₂₅₄^m wody surowej w próbkach niesączonych, jako wskaźnik zawartości związków organicznych, w pierwszej serii badań mieściła się w zakresie 0,458±0,494, natomiast w drugiej – 0,668±0,7214. Ponieważ mętność badanej wody nie przekraczała 1 NTU przyjęto, że związki organiczne występowały w wodzie głównie w formie rozpuszczonej. Dowodzą tego zbliżone wartości absorbancji oznaczone w próbkach sączonych przez sączki 0,45 µm.

Jako koagulant zastosowano 2% roztwór siarczanu glinu, otrzymany poprzez rozpuszczenie $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ w wodzie destylowanej. Dawki koagulantu zmieniano w zakresie 1-4 gAl/m^3 .

Badania laboratoryjne przeprowadzono metodą typowego testu naczyniowego z wykorzystaniem sześciostanowiskowego flokulatora firmy Flocculator SW 1 firmy Stuart Scientific (szybkie mieszanie – 1 min, 200 obr./min, wolne mieszanie – 30 min, 30 obr./min). Badania zrealizowano trzyletowo, w dwóch seriach badawczych. W pierwszym etapie badań w każdej serii ustalano optymalną dawkę koagulantu. W oparciu o wyniki analizy jakości wody po 30-min flokulacji i 30-min sedymentacji (barwa pozorna, mętność, absorbancja w $\text{UV}_{254\text{nm}}^{\text{cm}}$, OWO, zawartość pozostałego koagulantu) ustalano optymalną dawkę siarczanu glinu. Koagulację przeprowadzono w zakresie $\text{pH}=6,9+7,1$. W drugim etapie do sześciu reaktorów wprowadzono optymalną dawkę koagulantu, ustaloną w pierwszym etapie, w celu zebrania osadu pokoagulacyjnego. Po koagulacji i sedymentacji przy zachowaniu tych samych parametrów procesu, jak w pierwszym etapie, zdekantowano określoną objętość wody nadosadowej, a następnie stałą objętość zawieszin osadu z każdego reaktora gromadzono w oddzielnym zbiorniku. Osad ten natychmiast po oddzieleniu wykorzystano w trzecim etapie danej serii badawczej, w którym przeprowadzono proces koagulacji dawkami stanowiącymi odpowiednio 25%, 38%, 50%, 63%, 75% oraz 100% dawki optymalnej ustalonej w pierwszym etapie. Szybkie i wolne mieszanie zrealizowano z prędkościami i w czasie przyjętym podczas badań w pierwszym etapie. Po procesie szybkiego mieszania zmniejszono prędkość obrotową mieszadeł do 60 obr./min i do pierwszych 5 reaktorów, do których wprowadzono dawki koagulantu mniejsze od wartości optymalnej, dodano stałe objętości świeżego osadu pokoagulacyjnego, tj. zebranego w drugim etapie badań. Zmniejszenie prędkości obrotowej przed dodaniem osadu miało na celu uniknięcie rozbicia kłaczków pokoagulacyjnych. Po wprowadzeniu i wymieszaniu osadu z wodą zmniejszono prędkość do 30 obr./min i rozpoczęto właściwą flokulację. Podobnie jak przy ustalaniu dawki optymalnej koagulantu po 30-min. flokulacji i 30-min. sedymentacji, wodę oczyszczoną poddano analizie. W celach porównawczych, aby ocenić wpływ recykulacji osadu na skuteczność oczyszczania, wykorzystano wyniki analiz wody oczyszczonej w pierwszym etapie badań, w którym kolejne dawki koagulantu stanowiły 25%, 38%, 50%, 63%, 75% dawki optymalnej, czyli były takie same, jakie stosowano w trzecim etapie z recykulacją osadu.

Do oceny skuteczności oczyszczania wody w poszczególnych seriach badawczych przyjęto stopień zmniejszenia absorbancji w UV oraz intensywność barwy pozostałej. Jednak bardziej wiarygodnym wskaźnikiem był pomiar absorbancji w UV, gdyż pomiar intensywności barwy w oparciu o skalę wzorców często był bardzo trudny.

Omówienie wyników badań

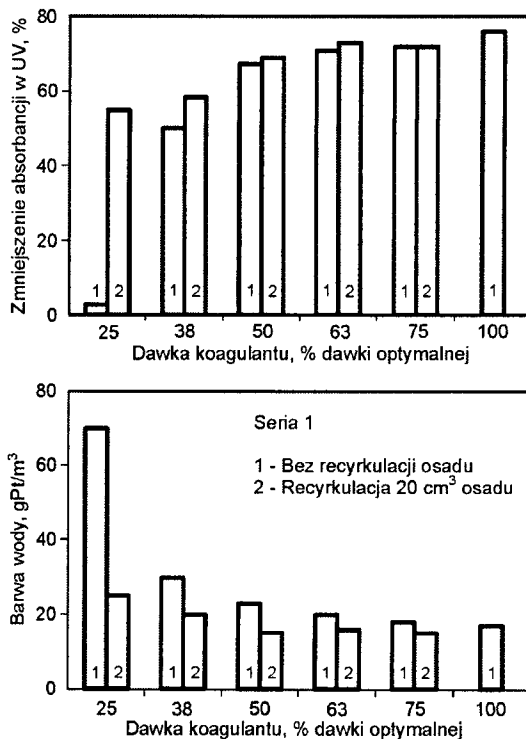
W badaniach oceniano wpływ ilości recykulowanego osadu pokoagulacyjnego (stopnia recykulacji) na możliwość skutecznego oczyszczania wody przy zmniejszonej dawce koagulantu w stosunku do wyznaczonej dawki optymalnej w czasie typowej koagulacji. Na podstawie wykonanych obu serii badawczych wyznaczono identyczną optymalną dawkę siarczanu glinu wynoszącą 4 gAl/m^3 . Fakt, iż w przypadku wód o tak dużej różnicy jakości można przyjąć taką samą

optymalną dawkę koagulantu można wytłumaczyć różnym składem związków organicznych wprowadzonych do wody, gdyż do badań wykorzystano różne wyciągi torfowe w obu seriach.

W pierwszej serii dawka optymalna koagulantu zapewniła zmniejszenie intensywności barwy wody z 70 gPt/m^3 do 17 gPt/m^3 (skuteczność 75,7%), absorbancji w $\text{UV}_{254\text{nm}}^{\text{cm}}$ z 0,471 do 0,113 (skuteczność 76%) oraz OWO z 6,2 gC/m^3 do 3,2 gC/m^3 (skuteczność 48,4%). W trzecim etapie, po dodaniu koagulantu w ilości 25%, 38%, 50%, 63%, 75% oraz 100% dawki optymalnej, do pięciu pierwszych reaktorów wprowadzono 20 cm^3 świeżego osadu. W kolejnych dwóch testach użyto 40 cm^3 i 80 cm^3 osadu. Zakładając, że były to objętości dawkowane do próbki wody o objętości 0,7 dm^3 , objętościowy stopień recykulacji wynosił odpowiednio 2,9%, 5,7%, 11,4%. Uzyskane wyniki badań w pierwszej serii (obejmującej te trzy testy) przedstawiono na rysunkach 1-3.

Analiza uzyskanych wyników wyraźnie wskazuje, że recykulacja osadu dała możliwość znacznego zmniejszenia dawki koagulantu oraz pozwoliła na większą skuteczność oczyszczania wody, pod warunkiem zapewnienia właściwego stopnia recykulacji osadu. Zastosowanie 2,9% stopnia recykulacji (20 cm^3 osadu) wpłynęło na poprawę skuteczności koagulacji, przede wszystkim w bardzo znaczący sposób przy najniższej analizowanej dawce, która stanowiła 25% dawki optymalnej (1 gAl/m^3). Zanotowano wówczas zwiększenie skuteczności zmniejszania absorbancji w UV z 2,6% bez recykulacji do 55% z recykulacją osadu, co odpowiadało intensywności barwy wody około 70 gPt/m^3 w próbce bez recykulacji oraz 25 gPt/m^3 w próbce z recykulacją osadu (rys. 1).

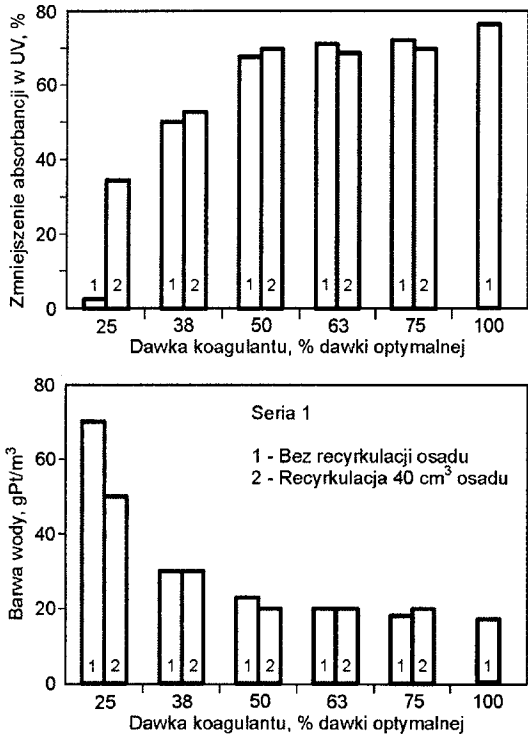
Podczas koagulacji większymi dawkami koagulantu wpływ recykulacji nie był już tak istotny. Należy jednak zauważyć, że już podczas koagulacji dawką odpowiadającą 50% dawki optymalnej uzyskano intensywność barwy wody 15 gPt/m^3 , czyli nawet nieznacznie mniejszą od uzyskanej podczas typowej koagulacji dawką optymalną – 17 gPt/m^3 .



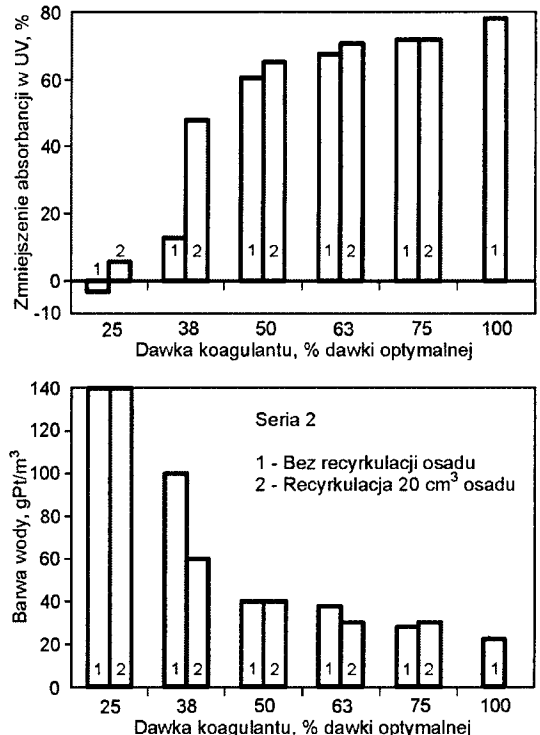
Rys. 1. Wpływ recykulacji 20 cm^3 osadu na absorbancję w UV i barwę wody przy zmniejszonej dawce koagulantu (seria 1)

Podobną prawidłowość zaobserwowano podczas testów przy 5,7% stopniu recykulacji osadu, z tym że przy dawce najmniejszej skuteczność zmniejszania absorbancji zmalała w porównaniu z poprzednim testem, dając 34,4% skuteczność podczas recykulacji osadu. Zwiększenie stopnia recykulacji do 11,4% przyniosło pogorszenie skuteczności w porównaniu z poprzednimi testami, wskazując na zbyt dużą ilość wprowadzonego osadu.

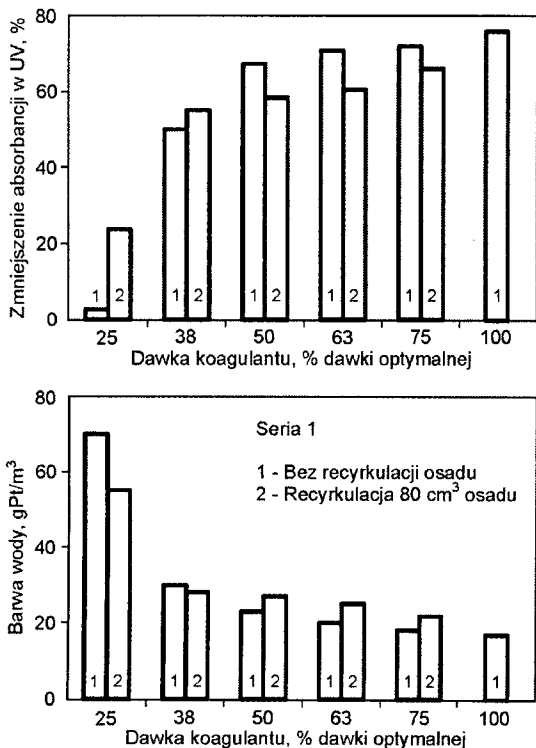
W drugiej serii badań woda surowa charakteryzowała się dwukrotnie większą intensywnością barwy. Koagulacja dawką optymalną (4 gAl/m^3) skutkowała zmniejszeniem intensywności barwy wody z 140 gPt/m^3 do 22 gPt/m^3 (skut. 84,3%), absorbancji w $\text{UV}_{254}^{\text{nm}}$ z 0,710 do 0,154 (skut. 78,3%) oraz OWO z $8,1 \text{ gC/m}^3$ do $3,2 \text{ gC/m}^3$ (skut. 60,5%). W przypadku tej wody recykulacja osadu wpłynęła na poprawę skuteczności oczyszczania w o wiele większym stopniu niż w pierwszej serii (rys. 4-6).



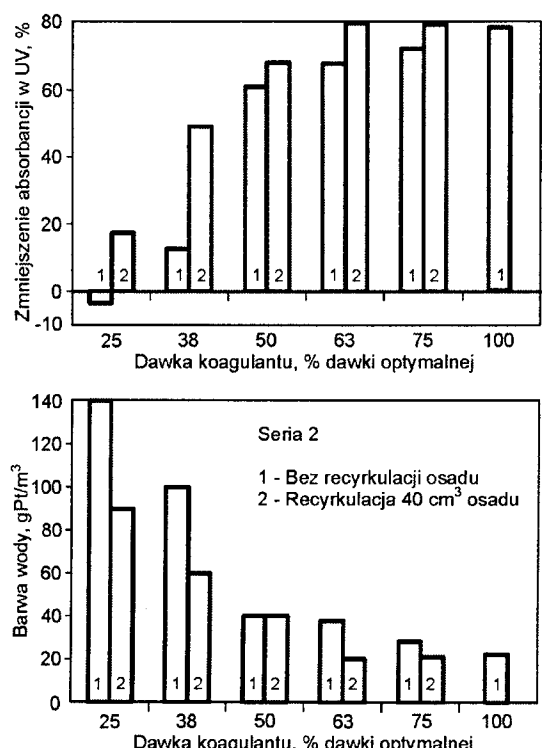
Rys. 2. Wpływ recykulacji 40 cm³ osadu na absorbancję w UV i barwę wody przy zmniejszonej dawce koagulantu (seria 1)



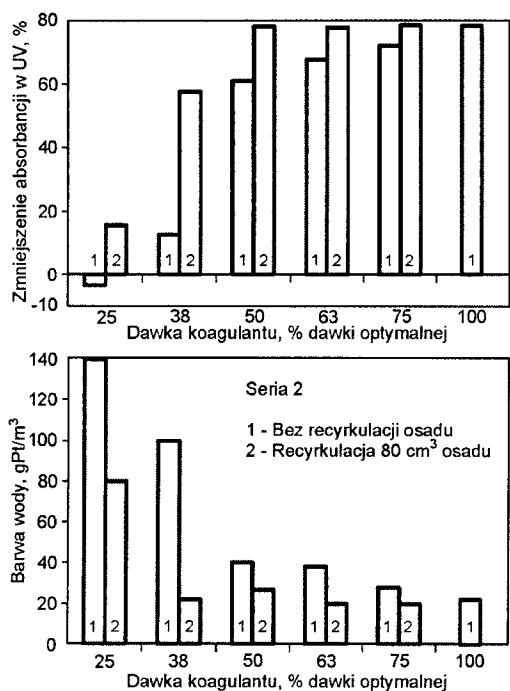
Rys. 4. Wpływ recykulacji 20 cm³ osadu na absorbancję w UV i barwę wody przy zmniejszonej dawce koagulantu (seria 2)



Rys. 3. Wpływ recykulacji 80 cm³ osadu na absorbancję w UV i barwę wody przy zmniejszonej dawce koagulantu (seria 1)



Rys. 5. Wpływ recykulacji 40 cm³ osadu na absorbancję w UV i barwę wody przy zmniejszonej dawce koagulantu (seria 2)



Rys. 6. Wpływ recyrkulacji 80 cm³ osadu na absorbancję w UV i barwę wody przy zmniejszonej dawce koagulantu (seria 2)

W przypadku najmniejszej analizowanej dawki wpływ ten nie był tak wyraźny, jak w poprzedniej serii, natomiast przy większych dawkach koagulantu wpływ recyrkulacji był znaczący. O końcowej skuteczności oczyszczania wody decydował stopień recyrkulacji osadu. Największą skuteczność uzyskano przy największym, tzn. 11,4%, stopniu recyrkulacji. Koagulacja z recyrkulacją osadu pozwoliła na dwukrotne zmniejszenie dawki koagulantu w stosunku do typowej koagulacji, zapewniając zmniejszenie absorbancji w UV o 78,2%. Podczas koagulacji taką samą dawką siarczanu glinu, lecz bez recyrkulacji osadu, skuteczność usuwania związków organicznych wynosiła 60,7%, pozostawiając intensywność barwy 40 gPt/m³. Zwiększenie dawki do 63% dawki optymalnej pozwoliło na dalszą poprawę jakości wody. Intensywność barwy wody została zmniejszona do 20 gPt/m³. Zbliżony przebieg procesu oczyszczania wody zaobserwowano przy mniejszych stopniach recyrkulacji osadu, tzn. 2,9% i 5,7%, jednak zmniejszona ilość osadu recyrkulowanego skutkowała mniejszą skutecznością procesu, a tym samym koniecznością stosowania większych dawek koagulantu, w porównaniu z najwyższym – 11,4% – stopniem recyrkulacji w celu uzyskania zbliżonej jakości wody oczyszczonej. Otrzymane wyniki wskazują, że recyrkulacja osadu pokoagulacyjnego pozwoliła na zmniejszenie dawki koagulantu, zapewniając uzyskanie wody oczyszczonej

o bardzo dobrej jakości, jednak pod warunkiem zachowania optymalnego stopnia recyrkulacji osadu. Zbyt mały stopień recyrkulacji wpływał na konieczność stosowania większych dawek koagulantu w celu uzyskania maksymalnej skuteczności procesu, natomiast zbyt duża ilość wprowadzonego osadu powodowała nawet pogorszenie jakości wody, w porównaniu do uzyskanej podczas typowej koagulacji.

Wnioski

♦ O skuteczności oczyszczania wody w procesie koagulacji z recyrkulacją osadu decyduje stopień recyrkulacji, który jest ściśle uzależniony od jakości wody surowej. Recyrkulacja osadu pokoagulacyjnego daje możliwość znaczącego zmniejszenia dawki koagulantu.

♦ Przyjęcie zbyt małego stopnia recyrkulacji osadu pociąga za sobą konieczność zastosowania większych dawek koagulantu, natomiast wprowadzenie zbyt dużej ilości osadu pokoagulacyjnego prowadzi do pogorszenia skuteczności oczyszczania wody, nawet w stosunku do klasycznej koagulacji.

LITERATURA

1. J. DUAN, J. GREGORY: Coagulation by hydrolyzing metal salts. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2003, 100–102, pp. 475–502.
2. S.-H. KIM, B.-H. MOON, H.-I. LEE: Effects of pH and dosage on pollutant removal and floc structure during coagulation. *Microchemical Journal*, 2001, 68, pp. 197–203.
3. A.P. BLACK, J.E. SINGLEY, G.P. WHITTLE, J.S. MAULDING: Stoichiometry of the coagulation of color-causing organic compounds with ferric sulfate. *Journal AWWA*, 1963, 55(10), pp. 1347–1366.
4. B.A. DEMPSEY, R.M. GANHO, C.R. O'MELIA: The coagulation of humic substances by means of aluminium salt. *Journal AWWA*, 1984, 76(4), pp. 141–150.
5. J.K. EDZWALD: Coagulation in drinking water treatment: Particles, organics, and coagulants. *Water Science & Technology*, 1993, 11, pp. 21–35.
6. W. STUMM, J.J. MORGAN: Chemical aspects of coagulation. *Journal AWWA*, 1962, 54(8), pp. 971–992.
7. J.E. VAN BENSCHOTEN, J.K. EDZWALD: Chemical aspects of coagulation using aluminum salts. Coagulation of fulvic acid using alum and polyaluminum chloride. *Water Research*, 1990, 24, pp. 1527–1535.
8. J.E. VAN BENSCHOTEN, J.K. EDZWALD: Chemical aspects of coagulation using aluminum salts. Hydrolytic reactions of alum and polyaluminum chloride. *Water Research*, 1990, 24, pp. 1519–1526.

Gumińska, J., Kłós, M. Effect of Coagulation Sludge Recirculation on the Efficiency of Water Treatment in the Case of High Color Intensity. *Ochrona Środowiska* 2008, Vol. 30, No. 1, pp. 9–12.

Abstract: The efficiency of the coagulation process makes a remarkable contribution to the efficiency of the whole water treatment train. To enhance the efficiency of the water treatment process, it is advisable to conduct coagulation and sedimentation in a multifunctional system with a sludge blanket, where coagulation sludge can be made subject to recirculation. The study reported on in this paper focused on the problem of how the recirculation of the coagulation sludge affects the coagulant dose required and the efficiency of pollutant removal from model water characterized

by a high colored matter content. The results have shown that with an optimal extent of sludge recirculation the coagulant dose can be noticeably reduced as compared to the one required in conventional coagulation, where sludge is not recirculated. It has also been found that even if the extent of recirculation slightly deviates from the optimal value, the quality of the treated water, obtained with the same coagulant dose, will be higher than when use is made of conventional coagulation. But if the quantity of recirculated coagulation sludge was excessively high, this was concomitant with a decrease in the efficiency of water treatment even in comparison to the classical coagulation process.

Keywords: Water treatment, coagulation, sludge recirculation.