

Maria Świdarska-Bróz, Marta Rak, Marek Mołczan, Andrzej Biłyk

Wpływ zasadowości koagulantów glinowych i pH wody na usuwanie zanieczyszczeń organicznych

Skuteczne usuwanie substancji organicznych z wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi jest konieczne, chociaż często stanowi poważny problem technologiczny. Zanieczyszczenia te są bowiem prekursorami mikrozanieczyszczeń organicznych (ubocznych produktów utleniania chemicznego oraz dezynfekcji chemicznej), zwiększając zapotrzebowanie na dezynfektant i współdecydują o braku stabilności biologicznej wody wprowadzanej do sieci wodociągowej. Mogą one również adsorbować i/lub tworzyć rozpuszczalne w wodzie kompleksy z metalami ciężkimi i mikrozanieczyszczeniami organicznymi, zwiększając tym samym narażenie odbiorców wody na te szkodliwe zanieczyszczenia.

Wśród ubocznych produktów utleniania chemicznego i dezynfekcji występują halogenowane i niehalogenowane związki organiczne. Pierwsze z nich, a także część aldehydów i ketonów (produkty niepełnego utlenienia związków organicznych) traktowane są jako substancje szkodliwe dla zdrowia ludzi [1–3]. Obecność w wodzie niehalogenowanych, biodegradowalnych rozpuszczonych związków organicznych (BRWO), a głównie frakcji przyswajalnej przez mikroorganizmy (PWO), współdecyduje natomiast o braku stabilności biologicznej wody. Dezynfekcja wody zawierającej substancje organiczne może także spowodować zwiększenie zawartości BRWO i PWO, ponieważ dezynfektanty chemiczne umożliwiają transformację niebiodegradowalnych związków organicznych do form biodegradowalnych [4,5]. Obecność BRWO i PWO w wodzie wprowadzanej do sieci wodociągowej powoduje wtórny rozwój mikroorganizmów heterotroficznymi i miksotroficznymi, a w konsekwencji stwarza niebezpieczeństwo skażenia nimi wody wodociągowej, a także powoduje intensyfikację korozji biologicznej rurociągów oraz niepożądane zmiany składu fizyczno-chemicznego wody [6–12].

Z tych powodów związki organiczne powinny być usunięte z wody przed ich kontaktem z utleniaczami chemicznymi, co w pewnym stopniu zapewnia proces koagulacji. Skuteczność koagulacji w usuwaniu zanieczyszczeń organicznych zwiększa się wraz z ich masą cząsteczkową i stopniem aromatyczności. Dlatego najlepiej usuwane są wielkocząsteczkowe związki hydrofobowe o charakterze aromatycznym, a najgorzej małocząsteczkowe i niejonowe frakcje hydrofilowe [13–17]. Skuteczność usuwania substancji organicznych – głównie rozpuszczonych (RWO) – w procesie koagulacji siarczanem glinu jest często niewystarczająca. Poprawę można uzyskać zwiększając ilość produktów hydrolizy glinu o ładunku

dodatnim oraz poprawiając warunki adsorpcji i flokulacji, a tym samym właściwości sedymentacyjne powstających zawiesin pokoagulacyjnych [14,18]. Sprostanie tym wymaganiom, w przypadku stosowania siarczanu glinu, jest najczęściej możliwe w wyniku zakwaszenia wody przed koagulacją i/lub stosowania większych dawek koagulantu. Rozwiązania te niestety intensyfikują agresywność korozyjną wody.

Analiza wyników badań prezentowanych w niniejszym artykule oraz informacji literaturowych [16,19,20] wskazuje, że wyraźną poprawę usuwania z wody zanieczyszczeń organicznych zapewnia zastąpienie siarczanu glinu wstępnie zhydrolizowanymi koagulantami glinowymi (chlorkami poliglinu) o ogólnym wzorze $Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$. Większą skuteczność chlorków poliglinu niż siarczanu glinu można wyjaśnić następująco. W zakresie wartości pH wód naturalnych i przy wystarczającej ich zasadowości, hydroliza kationów glinu obecnych w siarczanie glinu ma miejsce praktycznie natychmiast po ich kontakcie z oczyszczaną wodą i strącanie wodorotlenku glinu zachodzi szybciej niż pożądana reakcja neutralizacji kolloidów i anionów organicznych przez pośrednie produkty hydrolizy glinu o ładunku dodatnim [16,21]. Ponadto przy $pH \geq 6,5$ wśród produktów hydrolizy dominują monomeryczne formy glinu. Roztwory chlorków poliglinu zawierają więcej polikationowych i spolimeryzowanych produktów kontrolowanej wstępnej hydrolizy glinu niż siarczan glinu. W oczyszczonej wodzie niekontrolowanej i szybkiej hydrolizie ulegają przede wszystkim jony glinu niehydrolizowane wstępnie, których ilość w chlorkach poliglinu zmniejsza się wraz ze zwiększającą się zasadowością tych koagulantów. Polikationowe produkty wstępnej kontrolowanej hydrolizy glinu, a szczególnie polimer Al_{13} , w większym zakresie pH oczyszczonej wody są bardziej stabilne niż hydroksykompleksy glinu obecnego w siarczanie glinu [16,19,21]. Stwarza to warunki do neutralizacji ładunku anionów organicznych przez produkty wstępnej hydrolizy przed powstaniem $Al(OH)_3$, spełniającego głównie rolę adsorbentu usuwanych zanieczyszczeń. Dodatkowo, polimeryczna struktura produktów wstępnej hydrolizy glinu poprawia warunki flokulacji [20,22].

W artykule omówiono wpływ zasadowości i dawki koagulantów glinowych oraz pH na stopień usuwania substancji organicznych z wody powierzchniowej.

Metodyka i zakres badań

W ocenie roli wybranych parametrów technologicznych procesu koagulacji wykorzystano wyniki badań, których przedmiotem były próbki wody powierzchniowej charakteryzujące się różnym poziomem zanieczyszczenia organicznego (tab. 1). Do ich oczyszczania zastosowano siarczan glinu oraz

Tabela 1. Wartości wskaźników zanieczyszczenia organicznego próbek wody
Table 1. Values of organic water pollutants

Próbka wody	OWO gC/m ³	RWO gC/m ³	NWO gC/m ³	Absorbancja w UV ₂₅₄ nm	Utlenialność gO ₂ /m ³	RWO/OWO %
W-1	4,35	4,04	0,31	11,7	4,6	92,87
W-2	6,62	6,22	0,40	16,8	8,0	93,96
W-3	6,28	5,91	0,37	16,2	7,4	94,41
W-4	6,26	6,06	0,20	16,8	7,8	96,81
W-5	5,09	4,08	1,01	11,0	5,7	80,16
W-6	7,42	4,84	2,58	–	6,2	65,23
W-7	7,45	3,65	3,80	–	6,9	48,99
W-8	3,95	3,87	0,08	12,0	5,1	97,97
W-9	5,67	4,49	1,18	–	5,6	79,19

Tabela 2. Wybrane właściwości testowanych koagulantów glinowych [23]
Table 2. Some properties of the aluminium coagulants tested [23]

Wskaźnik, jednostka	Siarczan glinu	Chlorek poliglinu					
		PAX-18	PAX-XL3*	PAX-XL61**	PAX-XL1905	PAX-XL19	PAX-XL19F
Zasadowość, %	0	41 ±3	70 ±5	70 ±10	85 ±5	85 ±5	90 ±5
pH	2,22	2,69	2,5 ±0,5	3,0 ±0,5	3,6 ±0,4	3,5 ±0,4	4,0 ±0,5
Zawartość Al ³⁺ , %	4,2 ±0,2	9,0 ±0,3	5,3 ±0,3	5,4 ±0,2	6,0 ±0,3	12,5 ±0,3	8,5 ±0,3

* zawiera Na; ** zawiera Si, Na, Ca lub Mg

chlorki poliglinu różniące się zasadowością i zawartością glinu (tab. 2). Testy koagulacji objętościowej przeprowadzono stosując 2 min szybkiego mieszania z prędkością obrotową mieszadeł 150/min, a następnie 20 min flokulacji z prędkością obrotową 25/min. Po koagulacji próbki wody poddano sedymentacji w czasie (t_s) 1 h lub 2 h. W wodzie surowej i oczyszczonej (po koagulacji i sedymentacji), zgodnie z obowiązującymi normami, oznaczano pH, utlenialność, absorbancję w nadfiolecie (UV₂₅₄ nm) oraz zawartości OWO i RWO.

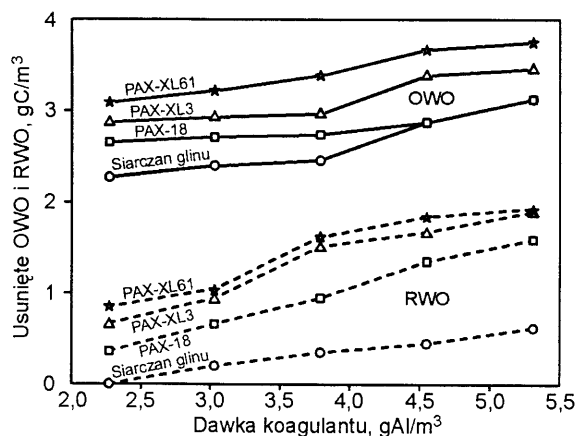
W badaniach określono wpływ rodzaju i dawek koagulantów (d_k) oraz pH oczyszczanej wody na skuteczność usuwania zanieczyszczeń organicznych. Do korekty pH wody przed koagulacją (do pH_0) wykorzystano 0,1 n roztwory HCl (w przypadku chlorków poliglinu) i H₂SO₄ (w przypadku siarczanu glinu) lub NaOH.

Dyskusja wyników badań

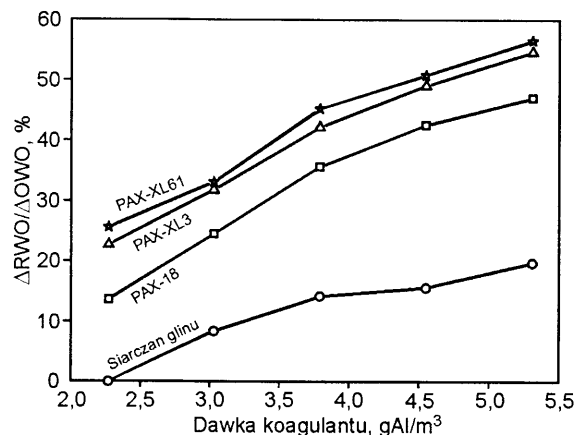
Zakres kontroli analitycznej pozwolił na ocenę wpływu badanych parametrów technologicznych na skuteczność usuwania z wody ogólnych substancji organicznych oraz ich frakcji rozpuszczonych, w tym absorbujących promieniowanie UV. W interpretacji wyników badań łączny udział korekty pH oraz procesów koagulacji i sedymentacji potraktowano jako skuteczność koagulacji.

Skuteczność usuwania zanieczyszczeń organicznych z wody o pH naturalnym (pH_n)

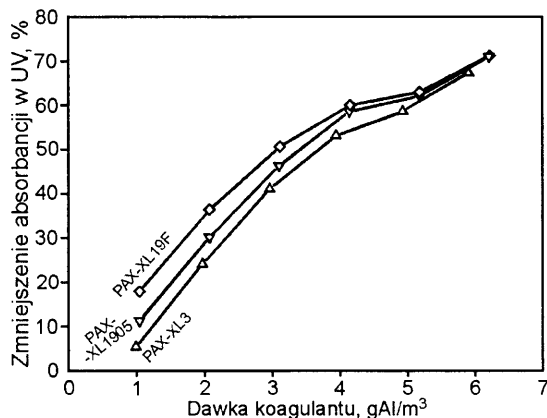
Wpływ zasadowości i dawek koagulantów na usuwanie OWO i RWO oraz stopień zmniejszenia utlenialności i absorbancji w UV obrazują odpowiednio rysunki 1–4. Wyniki badań potwierdziły prawidłowość, że skuteczność usuwania zanieczyszczeń organicznych z wody zwiększa się wraz z rosnącą dawką koagulantów glinowych. Stwierdzono to w przypadku wszystkich badanych koagulantów oraz próbek wody (W-3, W-5, W-6 i W-8) różniących się zawartością zanieczyszczeń organicznych (ogólnych i rozpuszczonych), a także wartością



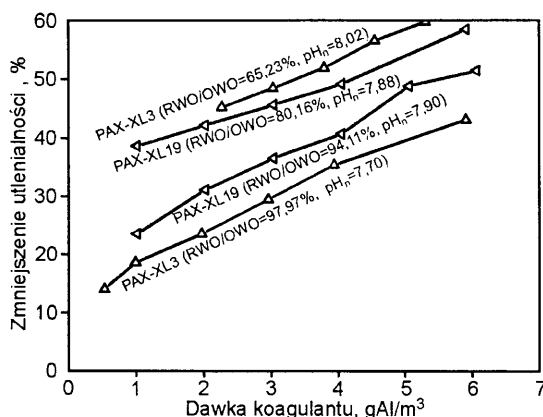
Rys. 1. Wpływ rodzaju i dawki koagulantu na zmniejszenie zawartości OWO i RWO (W-6, $pH_n=8,02$, $t_s=1$ h)
Fig. 1. Effect of the type and dose of the coagulant on TOC and DOC removal (W-6, $pH_n=8.02$, $t_s=1$ h)



Rys. 2. Udział RWO w OWO usuniętym z wody oczyszczonej siarczanem glinu lub chlorkiem poliglinu (PAX) (W-6, $pH_n=8,02$, $t_s=1$ h)
Fig. 2. Proportion of DOC in the TOC removed from the water treated with aluminium sulfate or polyaluminium chloride (PAX) (W-6, $pH_n=8.02$, $t_s=1$ h)



Rys. 3. Wpływ dawki i zasadowości chlorków poliglinu na zmniejszenie absorbancji w UV₂₅₄ nm (W-3, pH_n=7,9, t_s=2 h)
Fig. 3. Effect of the dose and basicity of polyaluminium chlorides on the decrease in UV₂₅₄ nm absorbance (W-3, pH_n=7.9, t_s=2 h)



Rys. 4. Wpływ rodzaju i dawki chlorków poliglinu na zmniejszenie utlenialności wody o różnym udziale RWO w OWO
Fig. 4. Effect of the type and dose of polyaluminium chlorides on the COD removal at varying proportion of DOC to TOC

ilorazu RWO/OWO (tab. 1). Jak wynika z rysunku 1, chlorki poliglinu skuteczniej niż siarczan glinu zmniejszały zawartości OWO i RWO, a skuteczność koagulantów wstępnie zhydrolizowanych zwiększała się wraz z ich rosnącą zasadowością. Korzystny wpływ zwiększonej zasadowości tych reagentów był szczególnie duży w usuwaniu RWO. Świadczą o tym wartości ilorazu $\Delta RWO/\Delta OWO$ przedstawione na rysunku 2, a także zmniejszanie wartości absorbancji w UV (rys. 3).

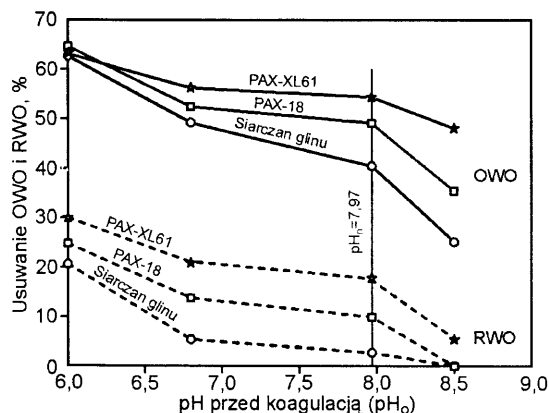
Nieco większa skuteczność koagulantu PAX-XL61 niż PAX-XL3 (rys. 1 i 2) spowodowana była obecnością w pierwszym reagencie (tab. 2) składników poprawiających warunki zobojętniania ujemnego ładunku usuwanych zanieczyszczeń oraz flokulacji. Stopień usuwania rozpuszczonych substancji organicznych o charakterze aromatycznym (absorbujących promieniowanie UV) zmniejszał się wraz z malejącą zasadowością chlorków poliglinu, a różnice między skutecznością tych koagulantów były ogólnie większe w zakresie mniejszych dawek. O skuteczności usuwania substancji organicznych (mierzonej jako utlenialność), poza rodzajem koagulantu, w istotnym stopniu decydował udział RWO w OWO w wodzie surowej (rys. 4). Wraz ze zwiększającą się wartością ilorazu RWO/OWO i malejącą zawartością nierozpuszczonego węgla organicznego (NWO), tj. frakcji podatnej na usuwanie w koagulacji, wyraźnie zmniejszyła się skuteczność testowanych chlorków poliglinu. Również porównanie stopnia zmniejszenia utlenialności przez koagulanty o takiej

samej zasadowości wykazało, że był on odwrotnie proporcjonalny do wartości ilorazu RWO/OWO i nie zależał od utlenialności oczyszczanej wody. Dlatego największy stopień zmniejszenia utlenialności uzyskano w przypadku wody charakteryzującej się najmniejszą wartością ilorazu RWO/OWO (W-6), mimo że pH_n tej wody było większe i dwukrotnie krótszy był czas sedymentacji (1 h) niż w przypadku pozostałych wód (rys. 4). Stwierdzono również, że wraz ze zwiększającą się zasadowością koagulantów malała ich dawka zapewniająca taki sam lub lepszy stopień usuwania zanieczyszczeń organicznych, głównie rozpuszczonych, z wody o określonej wartości ilorazu RWO/OWO.

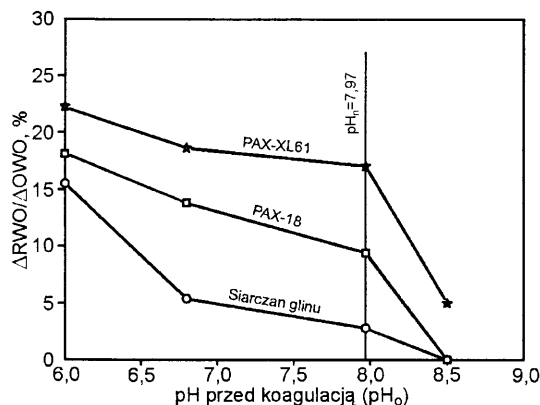
Wpływ korekty pH na skuteczność koagulacji

Wartość pH jest ważnym parametrem technologicznym badanego procesu. Stężenie jonów wodorowych z jednej strony decyduje o formie występowania zanieczyszczeń organicznych, a z drugiej stanowi o znaku i wartości ładunku elektrycznego hydroksykompleksów glinu (przede wszystkim hydrolizującego w oczyszczanej wodzie). Z tego względu oceniono wpływ zakwaszenia lub alkalizacji wody przed koagulacją na skuteczność usuwania OWO i RWO (rys. 5 i 6) oraz zmniejszenie absorbancji w UV (rys. 7) i utlenialności (rys. 8).

Wyniki badań potwierdziły większą skuteczność chlorków poliglinu niż siarczan glinu i jednoznacznie wykazały, że bez względu na stopień zanieczyszczenia organicznego oczyszczanej wody, wartość ilorazu RWO/OWO oraz rodzaj i dawkę koagulantu, o zmniejszeniu wartości kontrolowanych



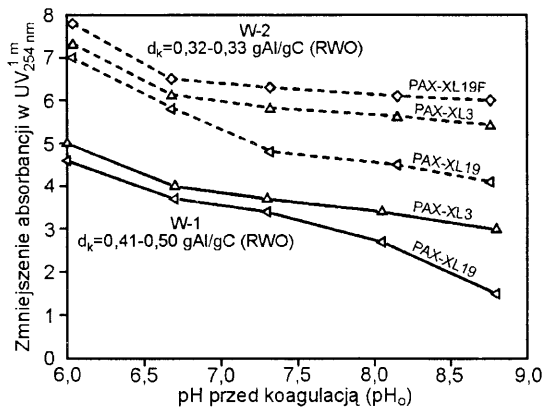
Rys. 5. Wpływ korekty pH na skuteczność usuwania OWO i RWO (RWO/OWO=48,99%, d_k=3,54 gAl/m³, t_s=1 h)
Fig. 5. Effect of pH adjustment on the extent of DOC and TOC removal (DOC/TOC=48.99%, d_k=3.54 gAl/m³, t_s=1 h)



Rys. 6. Wpływ korekty pH i zasadowości koagulantu na udział RWO w usuniętych OWO (RWO/OWO=48,99%, d_k=3,54 gAl/m³, t_s=1 h)
Fig. 6. Effect of pH adjustment and coagulant basicity on the proportion of DOC in the TOC removed (DOC/TOC=48.99%, d_k=3.54 gAl/m³, t_s=1 h)

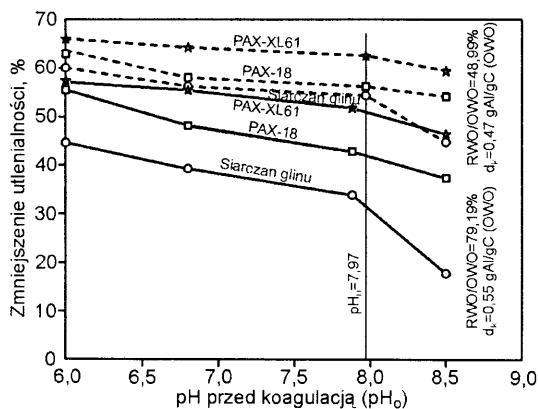
Tabela 3. Wpływ ilorazu RWO/OWO na skuteczność usuwania OWO koagulantem PAX-XL3
 Table 3. Effect of the DOC/TOC ratio on the efficiency of TOC removal with the PAX-XL3 coagulant

RWO/OWO, %	48,99		79,19		96,81
Dawka koagulantu, gAl/gC (OWO)	0,475		0,547		0,556
Czas sedimentacji, h	1,0		1,0		2,0
pH ₀	6,0	6,8	6,0	6,8	6,8
Usuwanie OWO, %	62,96	55,30	47,80	43,29	39,78



Rys. 7. Wpływ korekty pH i zasadowości chlorków poliglinu na zmniejszenie absorpcji w UV₂₅₄ nm (t_s=2 h)

Rys. 7. Effect of pH adjustment and basicity of polyaluminium chlorides on the reduction in UV₂₅₄ nm absorbance (t_s=2 h)



Rys. 8. Wpływ korekty pH na zmniejszenie utlenialności wody o różnym udziale RWO w OWO (t_s=1 h)

Fig. 8. Effect of pH adjustment on the COD removal at varying proportion of DOC to TOC (t_s=1 h)

wskaźników jakości wody w istotnym stopniu decydowała wartość pH oczyszczanej wody. Zakwaszenie wody przed koagulacją zwiększyło usuwanie OWO i RWO (rys. 5), natomiast odwrotny skutek spowodował wzrost stężenia jonów wodorotlenowych. Korzystny wpływ zakwaszenia wody (do pH₀=6,0) stwierdzono w przypadku wszystkich koagulantów, przy czym był on największy w przypadku siarczanu glinu i zmniejszał się wraz z rosnącą zasadowością chlorków poliglinu – zawierających bardziej stabilne polikationowe produkty wstępnej hydrolizy glinu. Skutkiem alkalizacji wody było zmniejszenie stopnia usuwania OWO i brak usuwania RWO z wody przez siarczan glinu i PAX-18. W tych warunkach koagulant PAX-XL61 (o największej zasadowości) zapewnił jedynie śladową (5,4%) skuteczność usunięcia rozpuszczonej frakcji związków organicznych. Wraz ze wzrostem pH₀ zmniejszał się także udział RWO w usuniętym OWO (rys. 6). Należy również podkreślić, że zastąpienie siarczanu glinu chlorkiem poliglinu (szczególnie wysokozasadowym) pozwoliło zmniejszyć stopień zakwaszenia wody przed koagulacją,

który był wymagany do uzyskania porównywalnej skuteczności usuwania OWO z wody, a głównie RWO (rys. 5).

Podobną prawidłowość stwierdzono w odniesieniu do zmniejszania absorpcji w UV (rys. 7). Ilości usuniętych rozpuszczonych substancji organicznych absorbujących promieniowanie UV zwiększały się wraz z rosnącym stężeniem jonów wodorowych w oczyszczanej wodzie. Wpływ korekty pH na zmniejszenie utlenialności próbek wody, różniących się udziałem ilościowym RWO w OWO, przedstawiono na rysunku 8. Wyniki tej serii badań potwierdziły korzystny wpływ zakwaszenia wody przed procesem koagulacji oraz rosnącej zasadowości koagulantów na usuwanie zanieczyszczeń organicznych mierzonych jako utlenialność. Bez względu na wartość ilorazu RWO/OWO, najmniejszą skuteczność zapewnił siarczan glinu, a największą koagulant PAX-XL61, mający większą zasadowość niż PAX-18.

Niekorzystny wpływ wzrostu wartości pH₀ z ok. 6,0 do 8,5 był większy w przypadku wody W-9, w której zawartość NWO wynosiła 1,18 gC/m³, a udział RWO w OWO był równy 79,19%. Mimo większej dawki koagulantów uzyskano gorszą skuteczność zmniejszania utlenialności niż w przypadku wody W-7 charakteryzującej się mniejszą wartością ilorazu RWO/OWO (48,99%) i zawierającej ponadtrzykrotnie więcej NWO (3,8 gC/m³). W przypadku wody W-4, charakteryzującej się większą wartością ilorazu RWO/OWO (96,81%) oraz wyraźnie mniejszą zawartością NWO (0,2 gC/m³), stwierdzono, że mimo jej zakwaszenia do pH₀=6,8 nawet większe dawki koagulantów PAX-XL3 (0,556 gAl/gC (OWO)) i PAX-XL19 (0,565 gAl/gC (OWO)) zmniejszyły utlenialność tylko odpowiednio o 47,4% i 50,0%. Znalazło to odzwierciedlenie w usuwaniu OWO, którego stopień eliminacji z oczyszczanych próbek wody zmniejszał się wraz z rosnącym udziałem RWO w OWO. Obrazują to skuteczności koagulantu PAX-XL3 przedstawione w tabeli 3.

Wnioski

- ◆ Skuteczność koagulantów glinowych w usuwaniu analizowanych frakcji substancji organicznych zwiększała się wraz z rosnącą dawką i zasadowością koagulantów oraz malejącą wartością pH oczyszczanej wody.
- ◆ Wpływ stężenia jonów H⁺ w wodzie przed koagulacją na skuteczność koagulantów zmniejszał się wraz z ich zasadowością i był największy w przypadku siarczanu glinu.
- ◆ Wraz z rosnącym udziałem RWO w OWO w oczyszczanej wodzie zmniejszała się skuteczność usuwania substancji organicznych.
- ◆ Zastąpienie siarczanu glinu chlorkami poliglinu (szczególnie wysokozasadowymi) poprawiło skuteczność usuwania z wody zanieczyszczeń organicznych (głównie RWO), jak również zmniejszyło wymaganą dawkę koagulantu.

LITERATURA

1. J. DOJLIDO [red.]: Uboczne produkty dezynfekcji wody. Praca zbiorowa. PZITS, Monografie seria: Wodociągi i Kanalizacja, 2002, nr 9.
2. L.K. TEUSCHLER, J.E. SIMMONS: Approaching DBP toxicity as a mixtures problem. *Journal AWWA* 2003, Vol. 95, No. 6, pp. 131–138.
3. J. NAWROCKI: Uboczne produkty utleniania i dezynfekcji wody – doświadczenia ostatnich 30 lat. *Ochrona Środowiska* 2005, vol. 27, nr 4, ss. 3–12.
4. U. RACZYK-STANISŁAWIAK, E. CIEMNIECKA, J. ŚWIETLIK, J. NAWROCKI: Usuwanie prekursorów biodegradowalnych substancji organicznych w procesie biofiltracji. *Ochrona Środowiska* 2007, vol. 29, nr 3, ss. 59–64.
5. J. ŚWIETLIK, U. RACZYK-STANISŁAWIAK, J. NAWROCKI: Wpływ procesów utleniania i biodegradacji na zmianę struktury substancji organicznych naturalnie występujących w wodzie. *Ochrona Środowiska* 2005, vol. 27, nr 3, ss. 27–32.
6. P.J. BREMER, B.J. WEBSTER, D.B. WELLS: Biocorrosion of copper in potable water. *Journal AWWA* 2001, Vol. 93, No. 8, pp. 82–91.
7. G.F. CRAUN, R.L. CALDERON: Waterborne disease outbreaks caused by distribution system deficiencies. *Journal AWWA* 2001, Vol. 93, No. 9, pp. 64–75.
8. C.D. NORTON, M.W. LECHEVALLIER: A pilot study of bacteriological population changes through potable water treatment and distribution. *Applied and Envir. Microbiology* 2000, Vol. 66, No. 1, pp. 268–276.
9. L.A. ROSSMAN: The effect of advanced treatment on chlorine decay in metallic pipes. *Water Research* 2006, Vol. 40, No. 13, pp. 2493–2502.
10. S. SRINIVASAN, G.W. HARRINGTON: Biostability analysis for drinking water distribution systems. *Water Research* 2007, Vol. 41, No. 10, pp. 2127–2138.
11. M. ŚWIDERSKA-BRÓŻ: Skutki braku stabilności biologicznej wody wodociągowej. *Ochrona Środowiska* 2003, vol. 25, nr 7, ss. 7–12.
12. D. VAN DER KOOIJ, J.H.N. VAN LIEVERLOO, J. SCHELLART, P. HIEMSTRA: Maintaining quality without a disinfectant residual. *Journal AWWA* 1999, Vol. 91, No. 1, pp. 55–64.
13. B. EIKEBROKK, R. FABRIS, M. DRIKAS, C. CHOW: NOM characteristics and treatability by coagulation: Comparison of Norwegian and Australian waters. *Chemical Water and Wastewater Treatment*, IWA Publishing, London 2007, pp. 207–219.
14. G. KASTL, A. SATHASIVAN, I. FISHER, J. VAN LEEUVEN: Modeling DOC removal by enhanced coagulation. *Journal AWWA* 2004, Vol. 96, No. 2, pp. 79–89.
15. T. TUHKANEN, A. KETONEN, L. GILLBERG, J. JOKELA: Removal of different size fractions of natural organic matter in drinking water by optimised coagulation. *Chemical Water and Wastewater Treatment*, IWA Publishing, London 2004, pp. 201–207.
16. J.E. VAN BENSCHOTEN, J.K. EDZWALD: Chemical aspects of coagulation using aluminum salts-II. Hydrolytic reactions of alum and polyaluminum chloride. *Water Research* 1990, Vol. 24, No. 12, pp. 1519–1526.
17. C. VOLK, K. BELL, E. IBRAHIM, D. VERGES, G. AMY, M. LECHEVALLIER: Impact of enhanced and optimized coagulation on removal of organic matter and its biodegradable fraction in drinking water. *Water Research* 2000, Vol. 34, No. 12, pp. 3247–3257.
18. Y. MATSUI, A. YUASA, Y. FURUYA, T. KAMEI: Dynamic analysis of coagulation with alum and PACl. *Journal AWWA* 1998, Vol. 90, No. 10, pp. 96–106.
19. J.K. EDZWALD, D.J. PERNITSKY, W.L. PARMENTER: Poly-aluminium coagulants for drinking water: chemistry and selection. *Chemical Water and Wastewater Treatment*, Springer-Verlag, 2000, pp. 3–14.
20. H.X. TANG, D.S. WANG, Y. XU: Optimization of the concepts for polyaluminium species. *Chemical Water and Wastewater Treatment*, IWA Publishing, London 2004, pp. 139–149.
21. W.P. CHENG, F.H. CHI: A study of coagulation mechanisms of polyferric sulfate reacting with humic acid using a fluorescence-quenching method. *Water Research* 2002, Vol. 36, No. 18, pp. 4583–4591.
22. B. EIKEBROKK: Removal of humic substances by coagulation. *Chemical Water and Wastewater Treatment*, Springer-Verlag, 1996, pp. 173–187.
23. Informacje firmowe o produkowanych koagulantach ZN-94 i ZN-200. Kemipol sp. z o.o., Police (prace niepublikowane).

Świdarska-Bróż, M., Rak, M., Mołczan, M., Biłyk, A. Effect of the Basicity of Aluminium Coagulants and the pH of the Water on the Removal of Organic Pollutants. *Ochrona Środowiska* 2008, Vol. 30, No. 4, pp. 29–33.

Abstract: The paper addresses the problem of how some parameters of the water being treated and the type of the coagulant being used affect the efficiency of organic matter removal. It was found that apart from the pH of the water, the removal efficiency depended on the proportion of the dissolved fraction to the total organic carbon (DOC/TOC), and that the extent of removal increased as the proportion of DOC decreased. The comparison of the coagulants used in this study made it clear that polyaluminium chlorides provided a higher removal of organic substances than did aluminium sulfate. The study has

produced the following findings. The extent of coagulation involving polyaluminium chlorides increases with the increase in their basicity. The increase of the H^+ concentration in the water prior to coagulation enhances the efficiency of organic matter removal, and the extent of removal is the higher, the lower is the basicity of the coagulant used. The substitution of aluminium sulfate with polyaluminium chlorides, especially with those of a high basicity, not only upgrades the removal of organic matter in general, and that of DOC in particular, but also reduces the coagulant dose required for the process.

Keywords: Coagulation, aluminium sulfate, polyaluminium chlorides, high-basicity coagulant, total organic carbon (TOC), dissolved organic carbon (DOC).