

Anna NOWACKA^{1*}, Maria WŁODARCZYK-MAKUŁA², Lidia DĄBEK³, Ewa OZIMINA³

¹ Politechnika Częstochowska, Instytut Inżynierii Środowiska
ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa, *e-mail: anowacka@is.pcz.czyst.pl

² Politechnika Częstochowska, Katedra Chemii, Technologii Wody i Ścieków
ul. J.H. Dąbrowskiego 69, 42-200 Częstochowa

³ Politechnika Świętokrzyska, Katedra Inżynierii i Ochrony Środowiska
al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce

Związki organiczne oznaczane jako AOX w uzdatnianej wodzie

Przedstawiono wyniki badań dotyczące zmian sumarycznego stężenia związków organicznych podczas procesów uzdatniania wody. Próbkę wody pobrano w sezonie wiosennym w wybranym zakładzie uzdatniania wody. W tym zakładzie procesy uzdatniania prowadzone są równoległe w dwóch niezależnych ciągach technologicznych. Próbkę do badań pobrano po kolejnych etapach uzdatniania jako chwilowe. Analizie poddano próbki wody: surowej, po ozonowaniu wstępnym, koagulacji objętościowej i sedymentacji, koagulacji kontaktowej w pulsatorach, filtracji na filtrach piaskowych pospiesznych, po ozonowaniu pośrednim, adsorpcji na filtrach węglowych oraz końcowej dezynfekcji z zastosowaniem chloru. Dodatkowo wodę uzdatnioną poddano ekspozycji na promieniowanie ultrafioletowe w warunkach laboratoryjnych. Jakość wody scharakteryzowano poprzez wykonanie wybranych wskaźników jakości wody, takich jak: pH, mętność, chemiczne zapotrzebowanie na tlen ($ChZT_{Cr}$) oraz absorbancja w nadfiolecie UV_{254} (przed i po sączeniu). Mętność w wodzie surowej była w zakresie od 4,92 do 5,60 NTU. Po końcowym etapie uzdatniania usunięcie związków powodujących mętność w odniesieniu do wody surowej wynosiło 91÷92%. W przypadku $ChZT_{Cr}$ odnotowano obniżenie wartości o 60% w pierwszej linii produkcyjnej, podczas gdy w drugiej wartość $ChZT_{Cr}$ była na poziomie początkowej (5% mniejsza). Stężenie związków chlorowcoorganicznych wyrażono poprzez oznaczenie wskaźnika AOX (adsorbowalne związki chlorowcoorganiczne). Wskaźnik ten jest stosowany do oznaczania grupy halogenowych pochodnych organicznych adsorbowanych na węglu aktywnym. Stężenie AOX w wodzie pobieranej z ujęcia powierzchniowego wprowadzanej do ciągu uzdatniania było w zakresie 0,104÷0,140 mg Cl/dm³. W wodzie uzdatnionej natomiast stężenia były większe i wahały się w granicach od 0,142 do 0,153 mg Cl/dm³.

Słowa kluczowe: uzdatnianie wody, związki organiczne, adsorbowalne na węglu aktywnym związki organiczne (AOX)

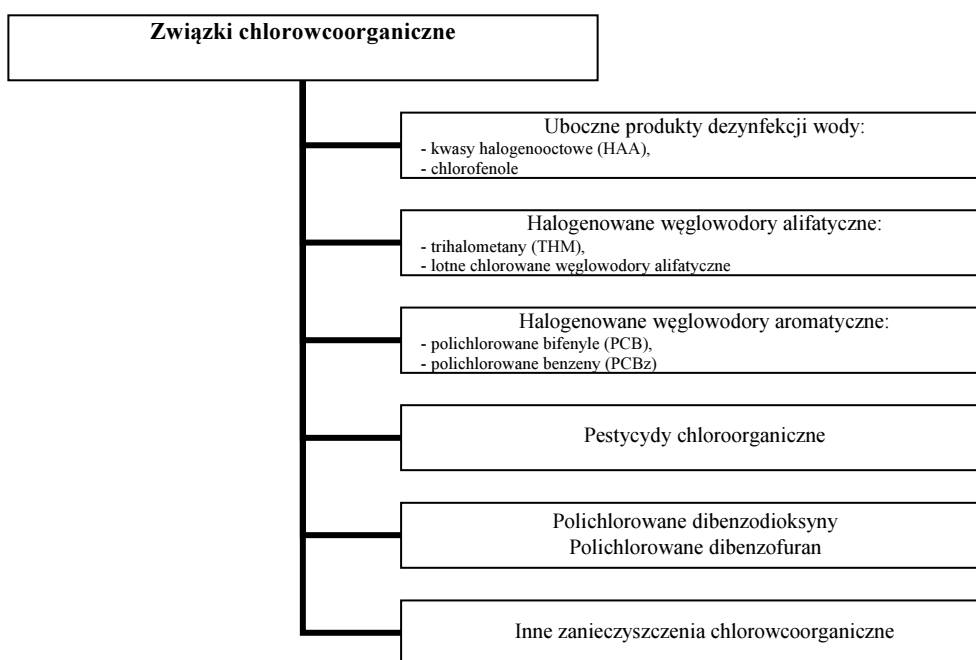
Wstęp

Związki chlorowcoorganiczne są grupą związków występujących we wszystkich elementach środowiska. Ich obecność potwierdzono zarówno w wodzie, glebie, jak i atmosferze. Spośród nich znaczna ilość związków charakteryzuje się właściwościami toksycznymi, mutagennymi lub kancerogennymi [1]. Są trudno biodegradowalne, trwałe oraz wykazują zdolność do kumulacji w organizmach. Substancje halogenoorganiczne zawierają w swojej budowie co najmniej jeden

atom chlorowca - chlor, brom, fluor lub jod [2, 3]. Największą grupę tych pochodnych organicznych stanowią związki chlorowe. Zgodnie z postanowieniami Konwencji Sztokholmskiej, 12 z tych substancji zostało sklasyfikowanych jako trwałe zanieczyszczenia organiczne (TZO). Liczba atomów chloru i ich pozycja w cząsteczce związku organicznego ma wpływ na poziom toksyczności chlorowanych związków organicznych [4]. Ze względu na ich potencjalne negatywne efekty zdrowotne obecność wielu związków chlorowcoorganicznych w wodzie pitnej jest niepożądana. Na rysunku 1 przedstawiono rodzaje związków chlorowcoorganicznych.

Substancje organiczne występujące w wodach naturalnych można podzielić na: naturalne (głównie naturalne substancje organiczne) i antropogeniczne. Obecność naturalnych substancji organicznych (NOM) wpływa m.in. na barwę, zapach i smak wody. Z tego względu odnotowuje się zwiększone zapotrzebowanie na koagulanty i dezynfektanty w procesach uzdatniania wody. NOM występujące w wodach powierzchniowych są prekursorami ubocznych produktów utleniania (UPU) oraz ubocznych produktów dezynfekcji (UPD) identyfikowanych jako chlorowco-pochodne organiczne [5, 6]. Do ubocznych produktów dezynfekcji wody zaliczane są kwasy halogenooctowe (HAA) i chlorofenole. HAA powstają głównie w wyniku przemian substancji humusowych pod wpływem chloru. Chlorofenole są pochodnymi węglowodorów aromatycznych. Mogą powstawać m.in. w procesie dezynfekcji chlorem wody lub ścieków [7-9]. Źródłem trihalometanów są reakcje HClO z materią organiczną obecną w wodzie. Najbardziej znanym przedstawicielem tej grupy jest trichlorometan (chloroform) [10]. Lotne chlorowane węglowodory alifatyczne charakteryzują się niskimi wartościami temperatury wrzenia i stosunkowo dużymi wartościami prężności par [11]. Podwyższone stężenie THM i HAA w wodzie przeznaczonej do spożycia może stanowić zagrożenie dla zdrowia i życia człowieka z uwagi na ich kancerogenne i mutagenne właściwości [7]. Do halogenowanych węglowodorów aromatycznych należą polichlorowane bifenyle (PCB) i polichlorowane benzeny (PCBz). PCB mogą występować w środowisku w postaci 209 kongenerów o różnym stopniu schlorowania i różnym miejscu podstawienia atomu chloru. Związki te nie występują w środowisku w postaci naturalnej, lecz ich źródłem jest działalność przemysłowa.

Polichlorowane bifenyle nie są generowane podczas chlorowania ani w trakcie spalania związków zawierających chlor, lecz w tych procesach mogą tworzyć się polichlorowane dibenzodioskyny (PCDD) i polichlorowane dibenzofurany (PCDF) [12]. Kolejną grupę stanowią pestycydy chloroorganiczne, takie jak: DDT, dieldryna, aldryna, endryna i heptachlor. Wprawdzie pestycydy chloroorganiczne nie są już stosowane, to jednak w środowisku identyfikowane są pozostałości lub metabolity tych związków. Zanieczyszczenia chlorowcoorganiczne są więc substancjami o charakterze antropogenicznym. Ścieki przemysłowe, produkcja i wykorzystywanie związków chlorowcoorganicznych oraz procesy spalania stanowią podstawowe źródło zanieczyszczeń tymi związkami [7, 13].



Rys. 1. Klasyfikacja związków chlorowcoorganicznych [6, 7]

Fig. 1. Classification of halogenated organic substances

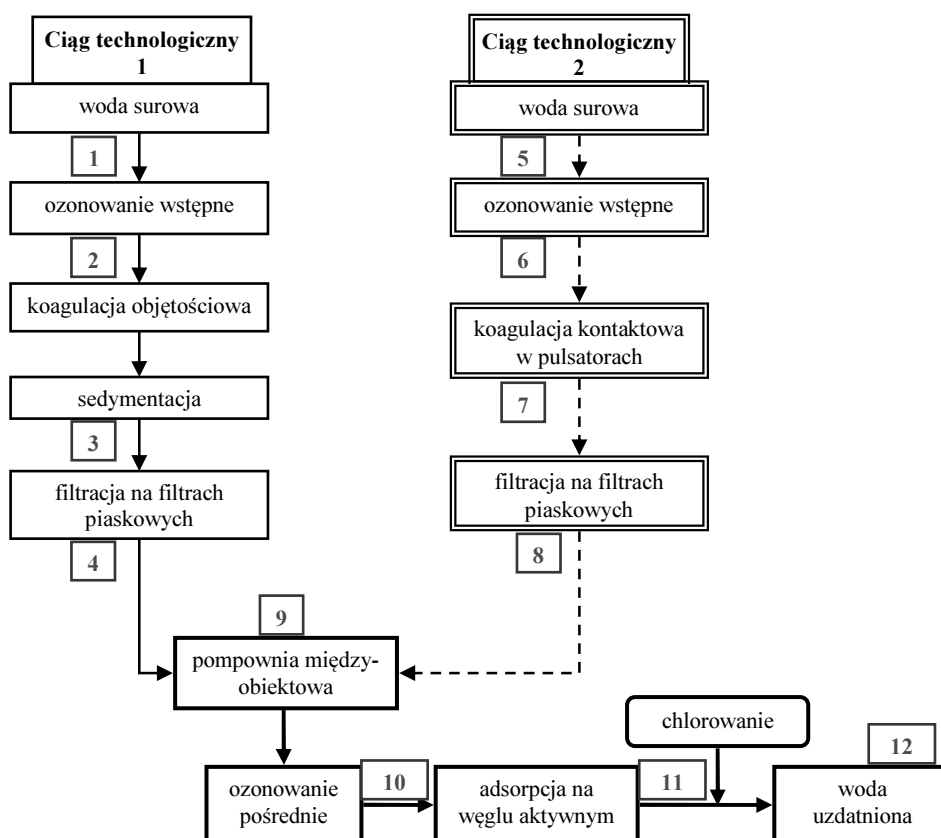
Do oceny ogólnej zawartości związków chlorowcoorganicznych w środowisku często stosowany jest wskaźnik AOX, który określa ogólną ilość tych związków, które są adsorbowane na węglu aktywnym [14]. Wskaźnik AOX obejmuje takie związki, jak: trihalometany, polichlorowane bifenyle, chlorowane i bromowane pestycydy, chlorofenole oraz rozpuszczalniki organiczne [15, 16]. W prawodawstwie polskim określone zostały stężenia dopuszczalne wskaźnika AOX, obowiązujące przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi. W zależności od rodzaju ścieków i ich pochodzenia najwyższe dopuszczalne stężenie jest w zakresie $0,5 \div 5,0 \text{ mg Cl}^-/\text{dm}^3$ [17]. Istnieją również uregulowania prawne normujące wartości dopuszczalne adsorbowalnych związków chloroorganicznych w wodach podziemnych. Stężenie graniczne dla wód I klasy wynosi $0,01 \text{ mg Cl}^-/\text{dm}^3$. Dla klas II, III i IV wynoszą one odpowiednio $0,02$; $0,06$; $0,3 \text{ mg Cl}^-/\text{dm}^3$. Powyżej wartości $0,3 \text{ mg Cl}^-/\text{dm}^3$ wody są klasyfikowane do V klasy czystości i określane jako wody złej jakości [18]. Wartość dopuszczalna sumarycznego stężenia AOX w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi nie jest normowana przez prawo polskie. W rozporządzeniu [19] podane zostały natomiast wartości graniczne dla sumy THM ($100 \text{ } \mu\text{g}/\text{dm}^3$), pojedynczego związku należącego do pestycydów ($0,1 \text{ } \mu\text{g}/\text{dm}^3$) oraz sumy pestycydów oznaczonych w monitoringu ($0,5 \text{ } \mu\text{g}/\text{dm}^3$). Do sumy THM zalicza się stężenie trichlorometanu, dichlorobromometanu, dibromochlorometanu i tribromometanu. Oznaczenie wskaźnika ogólnego, jakim jest AOX, jest mniej kosztowne niż oznaczanie poszczególnych związków. Analiza indywidualnych substancji jest zwykle prowadzona w przypadku, gdy sumaryczne stężenie

nie grupy związków przekracza wartość dopuszczalną. Celem pracy było określenie zmian stężenia substancji chlorowcoorganicznych wyrażonych wskaźnikiem AOX w wodzie podczas kolejnych etapów uzdatniania.

1. Metodyka badań

1.1. Przedmiot badań

Próbki wody do analiz pobrano w sezonie wiosennym (początek czerwca) w wybranym zakładzie uzdatniania wody. Woda pobierana do uzdatniania pochodzi z dwóch źródeł wody powierzchniowej. W zakładzie eksploatowane są równoległe dwie linie produkcyjne. Do pierwszej kierowana jest woda jedynie z jednego źródła, natomiast do drugiego - mieszanina wód z dwóch dostępnych źródeł. Próbkę do badań pobrano po kolejnych etapach uzdatniania jako chwilowe. Schemat technologiczny wybranego zakładu uzdatniania wody oraz miejsca poboru próbek przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat technologiczny wybranego zakładu uzdatniania wody oraz miejsca poboru próbek

Fig. 2. Technological scheme of selected water treatment plant and water sampling sites

Miejsca poboru próbek zaznaczane na schemacie oznaczają wodę: 1. surową, przekazywaną do uzdatniania w pierwszym ciągu technologicznym, 2. po ozonowaniu wstępnym w pierwszym ciągu technologicznym, 3. po koagulacji objętościowej i sedymentacji, 4. po filtracji na filtrach piaskowych pospiesznych w pierwszym ciągu technologicznym, 5. wodę surową przekazywaną do uzdatniania w drugim ciągu technologicznym, 6. po ozonowaniu wstępnym w drugim ciągu technologicznym, 7. po koagulacji kontaktowej prowadzonej w pulsatorach, 8. po filtracji na filtrach piaskowych pospiesznych w drugim ciągu technologicznym, 9. po wymieszaniu - z dwóch ciągów technologicznych, 10. po ozonowaniu pośrednim, 11. po adsorpcji na węglu aktywnym, 12. po końcowej dezynfekcji chlorem - woda przeznaczona do spożycia przez ludzi.

1.2. Metodyka analityczna

Do oznaczenia wartości pH wody wykorzystano metodę potencjometryczną. Mętność wyznaczono metodą nefelometryczną przy użyciu mętnościomierza. Oznaczenie stężenia chemicznego zapotrzebowania na tlen (ChZT) wykonano metodą dichromianową z użyciem $K_2Cr_2O_7$ jako utleniacza. Pomiaru absorbancji w UV_{254} dokonywano z użyciem spektrofotometru M501 firmy Camspec LTD, stosując kuwety szklane o długości drogi optycznej 1 cm [20]. Przed pomiarem próbki zostały przesączone przez filtry membranowe o średnicy porów 0,45 μm .

Do analizy wskaźnika AOX pobrano 200 ml wody (do naczynia szklanego) po kolejnych etapach procesów uzdatniania. Próbki zostały utrwalone stężonym kwasem azotowym(V) do wartości pH mniejszej od 2 i przechowywane w temperaturze 4°C. Przed wykonaniem analizy próbki odstawiono do osiągnięcia temperatury pokojowej. Badania wykonano w trzech powtórzeniach na analizatorze Behr CI 10 wg normy PN-EN ISO 9562:2004 [21].

Wodę uzdatnioną dodatkowo poddano działaniu promieniowania UV w warunkach laboratoryjnych (próbka 13). Warstwę wody o grubości 2 mm naświetlano przez 10 sekund. Miało to na celu sprawdzenie, czy ekspozycja na promieniowanie ultrafioletowe wpłynie na zmiany stężenia AOX w próbce wody przygotowanej do spożycia.

1.3. Analiza statystyczna

Wykorzystując wartości wskaźnika AOX, określono skuteczność procesu koagulacji prowadzonej w pierwszej (objętościowa) i drugiej linii produkcyjnej (kontaktowa) oraz filtracji na filtrach pospiesznych. Do oceny, czy różnice były istotne statystycznie, użyto testu t-Studenta dla różnicy dwóch niezależnych prób. Wartość krytyczna dla czterech stopni swobody ($n = 3$) i poziomu ufności 95% została odczytana z tabel rozkładu t-Studenta i wynosiła $t_t = 2,776$.

Test istotności został również wykonany dla całego procesu uzdatniania poprzez porównanie stężenia AOX przed i po procesie uzdatniania. W tym przypadku skorzystano z testu t-Studenta dla prób sparowanych. Wartość krytyczna dla dwóch

stopni swobody ($n = 3$) i poziomu ufności 95% została odczytana z tabel rozkładu t-Studenta i wynosiła $t_t = 4,303$.

2. Wyniki badań i dyskusja wyników

Wyniki oznaczeń, takich jak: pH, mętność, absorbancja UV_{254} (przed i po filtracji) oraz stężenie $ChZT_{Cr}$ zostały przedstawione w tabeli 1. W przypadku pH odnotowano pewne wahania wartości tego wskaźnika w wodzie podczas procesów uzdatniania. W wodzie uzdatnionej zaobserwowano niższą wartość pH w porównaniu do wody surowej (próbki 1 i 5). Niższą mętność zaobserwowano w wodzie surowej przekazywanej do drugiego ciągu technologicznego (4,92 NTU). W przypadku wody surowej kierowanej do uzdatniania w pierwszym ciągu technologicznym mętność była na poziomie 5,60 NTU. Największą skuteczność (82%) w usuwaniu tego wskaźnika uzyskano w linii produkcyjnej 1, tzn. po klasycznej koagulacji i sedymentacji (próbka 3). W wodzie uzdatnionej mętność wynosiła 0,43 NTU. Wartość graniczna mętności w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi wynosi natomiast 1 NTU [19]. Zatem woda uzdatniona w opróbowanym zakładzie uzdatniania wody spełnia te wymagania.

Tabela 1. Średnie wartości wybranych wskaźników jakości wody

Table 1. Average values of selected water quality parameters

Nr próbki	pH -	Mętność NTU	Absorbancja UV_{254} , -		$ChZT_{Cr}$ $mg\ O_2/dm^3$
			przed filtracją	po filtracji	
1	7,17	5,60	0,090	0,078	19,7
2	6,72	5,39	0,077	0,062	6,6
3	6,95	0,97	0,032	0,030	11,8
4	6,97	0,69	0,028	0,025	19,6
5	6,59	4,92	0,049	0,044	8,2
6	6,98	3,82	0,033	0,029	4,9
7	6,87	1,41	0,010	0,008	9,8
8	6,97	0,50	0,018	0,014	17,6
9	7,02	1,45	0,016	0,010	27,4
10	7,01	0,87	0,014	0,008	15,7
11	6,99	0,82	0,005	0,003	11,7
12	7,00	0,43	0,005	0,003	7,8

Próbki: 1-4 - pierwsza linia produkcyjna; 5-8 - druga linia produkcyjna; 9-12 - procesy wspólne

W przypadku absorbancji w UV_{254} , zarówno w próbkach niesączonych, jak i sączonych, zaobserwowano obniżenie stężenia w wodzie uzdatnionej w porównaniu do wody surowej (próbki 1 i 5). Podobnie jak w przypadku mętności, mniejsze wartości tych wskaźników odnotowano w wodzie surowej przekazywanej do drugiej linii produkcyjnej. Może to wskazywać na mniejsze zanieczyszczenie substancjami organicznymi wód przekazywanych do uzdatniania w tej linii. Największą

skuteczność w usuwaniu zanieczyszczeń organicznych, wyrażonych wskaźnikiem UV_{254} (po filtracji), uzyskano w procesie adsorpcji na węglu aktywnym (próbka 11 - 72%), procesie koagulacji kontaktowej (próbka 7 - 62%) oraz koagulacji objętościowej (próbka 3 - 52%).

Mniejsze stężenie $ChZT_{Cr}$ uzyskano dla wody surowej przekazywanej do drugiej linii produkcyjnej niż do pierwszej linii. W kolejnych procesach uzdatniania obserwowano wahania stężenia tego parametru. Po procesie uzdatniania wartość wskaźnika $ChZT_{Cr}$ została obniżona o 60% w porównaniu do wody surowej przekazywanej do pierwszej linii produkcyjnej. W porównaniu z wodą surową kierowaną do uzdatniania w drugiej linii produkcyjnej nie odnotowano znaczących zmian $ChZT_{Cr}$ po procesie uzdatniania.

Oznaczone wartości średnie wskaźnika AOX w próbkach wody po poszczególnych procesach uzdatniania zostały przedstawione w tabeli 2.

Tabela 2. Stężenie AOX w próbkach wody po kolejnych etapach uzdatniania

Table 2. AOX concentration in water samples after subsequent stages of treatment

Nr próbki	AOX, mg Cl ⁻ /dm ³				Odchylenie standardowe
	I próba	II próba	III próba	średnia	
1	0,140	0,129	0,139	0,136	± 0,006
2	0,108	0,119	0,127	0,118	± 0,010
3	0,119	0,108	0,115	0,114	± 0,006
4	0,096	0,090	0,102	0,096	± 0,006
5	0,104	0,115	0,108	0,109	± 0,006
6	0,140	0,129	0,130	0,133	± 0,006
7	0,120	0,120	0,120	0,120	± 0,000
8	0,110	0,102	0,100	0,104	± 0,005
9	0,110	0,105	0,103	0,106	± 0,004
10	0,140	0,133	0,138	0,137	± 0,004
11	0,091	0,083	0,087	0,087	± 0,004
12	0,153	0,149	0,142	0,148	± 0,006
13	0,156	0,156	0,156	0,156	± 0,000

Próbki: 1-4 - pierwsza linia produkcyjna; 5-8 - druga linia produkcyjna; 9-12 - procesy wspólne; 13 - poddana działaniu promieni UV

Podobnie jak w przypadku: mętności, UV_{254} i $ChZT_{Cr}$, mniejsze stężenie AOX zanotowano w wodzie surowej przekazywanej do drugiej linii produkcyjnej (0,109 mg Cl⁻/dm³) niż w wodzie surowej kierowanej do pierwszego ciągu technologicznego (0,136 mg Cl⁻/dm³). W wodzie uzdatnianej w 1 linii produkcyjnej zaobserwowano obniżanie stężenia AOX w kolejnych procesach. W wodzie preparowanej w linii 2 odnotowano wahania tego wskaźnika. Największy spadek stężenia AOX uzyskano po procesie adsorpcji na węglu aktywnym (o 36%). Stężenie AOX w wodzie uzdatnionej było większe (0,148 mg Cl⁻/dm³) niż w wodzie surowej w obu liniach produkcyjnych. Wyniki badań wpływu promieniowania UV wskazu-

ją, że w przyjętych warunkach nie uzyskano spadku stężenia AOX ($0,156 \text{ mg Cl}^-/\text{dm}^3$) w wodzie przeznaczonej do spożycia i dodatkowo naświetlanej.

Istotność zmian stężenia AOX pod względem statystycznym w dwóch ciągach technologicznych porównywano poprzez analizę stężenia tych związków w próbkach przed procesem koagulacji i po procesie (próbka 3 - koagulacja klasyczna i sedymentacja oraz próbka 7 - koagulacja kontaktowa w pulsatorach) i po filtracji na filtrach piaskowych (próbka 4 - w pierwszym ciągu i próbka 8 - w drugim ciągu). Wyniki zostały przedstawione w tabeli 3.

Tabela 3. Wartości rozkładu t-Studenta (t_d) przy $t_t = 2,776$

Table 3. Values of Student-t distribution (t_d) with $t_t = 2.776$

Porównywane procesy	Wartość testu t-Studenta t_d
Koagulacja objętościowa i sedymentacja vs. koagulacja kontaktowa	1,867
Filtracja na filtrach piaskowych 1 vs. filtracja na filtrach piaskowych 2	1,732

Wyniki analizy statystycznej wskazują, że sposób prowadzenia zarówno procesu koagulacji, jak i filtracji nie był statystycznie istotny w stosunku do zmian stężenia AOX w wodzie. W obu przypadkach wyliczone wartości rozkładu t-Studenta t_d były niższe niż wartość krytyczna t_t . Obliczenia statystyczne zostały również wykonane dla stężenia AOX w próbkach wody przed procesem (próbki 1 i 5) i po procesie uzdatniania (próbka 12). Policzone wartości rozkładu t-Studenta zostały przedstawione w tabeli 4.

Tabela 4. Wartości rozkładu t-Studenta (t_d) przy $t_t = 4,303$

Table 4. Values of Student-t distribution (t_d) with $t_t = 4,303$

Prowadzone procesy uzdatniania	Wartość testu t-Studenta t_d
Ciąg technologiczny 1	2,433
Ciąg technologiczny 2	7,800

Na podstawie analizy statystycznej można stwierdzić, że zmiany stężenia AOX w wodzie nie były statystycznie istotne w procesach uzdatniania prowadzonych w pierwszej linii produkcyjnej ($t_d < t_t$). Istotny statystycznie wpływ na stężenie AOX w wodzie miały procesy uzdatniania prowadzone w drugiej linii produkcyjnej ($t_d > t_t$).

Wnioski

W badanych próbkach wody, pobranych po poszczególnych procesach uzdatniania, odnotowano wahania stężenia związków chlorowcoorganicznych oznaczanych jako AOX. W pierwszym ciągu technologicznym zaobserwowano mniejsze stężenia AOX w miarę kolejnych procesów uzdatniania. Takiej zależności nie odnotowano natomiast w drugim ciągu technologicznym. Największą skuteczność usunięcia związków chlorowcoorganicznych uzyskano po procesie adsorpcji na

węgłu aktywnym (36%). W przypadku obu linii produkcyjnych stężenie AOX w wodzie uzdatnionej było wyższe niż wyjściowe (w wodzie surowej 1 - o 8% i 2 - o 26%).

Zastosowanie dodatkowego promieniowania UV, w przyjętych warunkach, nie wpłynęło na zmniejszenie stężenia AOX w analizowanej wodzie uzdatnionej. Konieczne są dodatkowe badania (przy innych czasach ekspozycji) w celu sprawdzenia, czy proponowany dodatkowy proces może wpłynąć na usunięcie związków chlorowcoorganicznych.

Uzyskane wyniki badań wskazują, że podczas procesów technologicznych w przykładowym zakładzie uzdatniania wody procentowe obniżenie stężenia wybranych wskaźników jakości wody było w granicach:

- a) mętność - 91÷92%,
- b) absorbancja w UV_{254} - 93÷96% i 98÷99% (odpowiednio przed filtracją i po filtracji),
- c) $ChZT_{Cr}$ - 60% (pierwsza linia produkcyjna).

Spadek wartości ogólnych wskaźników zanieczyszczeń organicznych (absorbancji, $ChZT$) w nadfiolecie jest związany ze zmniejszeniem stężenia AOX. Potwierdza to możliwość powstawania adsorbowanych jako AOX w procesach uzdatniania wody.

Podziękowanie

Pracę zrealizowano w ramach badań BS/MN-402-304/12.

Literatura

- [1] Bezak-Mazur E., Dąbek L., Ozimina E., Ługowanie związków chlorowcoorganicznych z osadów ściekowych do fazy wodnej w warunkach modelowych, *Rocznik Ochrona Środowiska* 2008, 10, 351-366.
- [2] Juszczyk D., Bebek M., Mitko K., Oznaczanie adsorbowlanych organicznie związanych chlorowców (AOX) w wodzie i ściekach, *Przegląd Geologiczny* 2010, 58, 1, 65-68.
- [3] Shomar B., Sources of adsorbable organic halogens (AOX) in sludge of Gaza, *Chemosphere* 2007, 69, 1130-1135.
- [4] Figna E., Olsińska U., The influence of surface water treatment processes on adsorbable organic halogens (AOX) formation, *Polish Journal of Environmental Studies* 2009, 18, 2B, 17-23.
- [5] Włodyka-Bergier A., Bergier T., The influence of organic matter quality on the potential of volatile organic water chlorination products formation, *Archives of Environmental Protection*, 2011, 37, 4, 25-35.
- [6] Kowal A.L., Świdorska-Bróż M., *Oczyszczanie wody*, WN PWN, Warszawa 2009.
- [7] Jancewicz A., Dmitruk U., Kwiatkowska A., Badania zawartości wybranych substancji halogenoorganicznych (AOX) w wodzie i ściekach, *Ochrona Środowiska* 2011, 33, 1, 25-29.
- [8] Kowalska M., Dudziak M., Bohdziewicz J., Usuwanie kwasów halogenooctowych z wody w bioreaktorze z enzymatyczną membraną ultrafiltracyjną, *Nauka Przyroda Technologie* 2011, 5, 4, 1-9.

- [9] Nawrocki J., Uboczne produkty utleniania i dezynfekcji wody-doświadczenia ostatnich 30 lat, *Ochrona Środowiska* 2005, 27, 4, 3-12.
- [10] Nawrocki J., Biłozar S., Ilecki W., Kasprzyk-Hordern B., Utlenianie w technologii uzdatniania wody, [w:] *Uzdatnianie wody, Część 1*, red. J. Nawrocki, WN PWN, Warszawa 2010, 218-361.
- [11] Dojlido J., *Ekologia i ochrona środowiska*, Wyd. Politechniki Radomskiej, Radom 1997.
- [12] Rosińska A., Badania zawartości polichlorowanych bifenyli w wodzie i osadach dennych Warty na wysokości Częstochowy, *Ochrona Środowiska* 2010, 32, 1, 15-20.
- [13] Bezak-Mazur E., Dąbek L., Ozimina E., Assessing the migration of organic halogen compounds from sewage sludge to a liquid phase, *Environment Protection Engineering* 2007, 33, 2, 45-51.
- [14] Noma Y., Yamane S., Kida A., Adsorbable organic halides (AOX), AOX formation potential, and PCDDs/DFs in landfill leachate and their removal in water treatment processes, *J. Mater. Cycles Waste Manag.* 2001, 3, 126-134.
- [15] Piaścik M., Parametr AOX jako wskaźnik zanieczyszczenia środowiska związkami chloroorganicznymi, *Analityka: Nauka i Praktyka* 2006, 4, 23-27.
- [16] Olsińska U., Figna E., Monitoring adsorbowalnych chlorowcopochodnych związków organicznych (AOX) w wodach powierzchniowych i podziemnych ujmowanych dla celów wodociągowych, cz. I, *Ochrona Środowiska* 2007, 29, 1, 16-20.
- [17] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 28 stycznia 2009 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego, DzU Nr 72, poz. 46.
- [18] Rozporządzenie Ministra Środowiska z 23 lipca 2008 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny wód podziemnych, DzU Nr 143, poz. 896.
- [19] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, DzU Nr 72, poz. 466.
- [20] Nowacka A., Włodarczyk-Makula M., Sperczyńska E., Turek A., Zmiany stężenia ogólnego węgla organicznego w wodzie podczas procesów uzdatniania, *Technologia Wody* 2013, 1, 14-17+23.
- [21] Dąbek L., Ozimina E., Oznaczenie stężenia związków chlorowcoorganicznych w próbkach środowiskowych z wykorzystaniem parametru AOX, *Aparatura Badawcza i Dydaktyczna* 2006, XI, 3, 186-195.

Organic Substances Determined as AOX in Treated Water

The paper presents research results concerning changes in the total concentration of organic substances during water treatment processes. The water samples were collected in the spring season in the selected water treatment plant. In this WTP water treatment processes are carried out simultaneously in two independent production lines. Water for treatment is collected from two independent water supply sources. Raw water transferred to the first line is derived from dam reservoir. In case of the second line, water is taken from two independent surface water intakes. Samples for analysis were taken after successive stages of treatment. The subject of analysis were: raw water, water after pre-ozonation, classical coagulation and sedimentation, water after coagulation using pulsators, filtration through sand filters, water after intermediate ozonation, adsorption on activated carbon and water after final chlorine-disinfection. In addition, treated water was exposed to ultraviolet radiation in the laboratory conditions. Water quality was characterized by performing selected indicators of water quality, such as: pH, turbidity, chemical oxygen demand (COD_{Cr}) and UV absorbance at 254 nm (before and after filtration through 0.45 μm membrane filters). The value of the turbidity in the raw water was in the range of 4.92÷5.60 NTU. In the case of absorbance at 254 nm value (after filtration) and COD_{Cr} concentration were ranged between 0.044±0.078 and 8.2±19.7 mg O₂/dm³, respectively. After the final treatment stage removal of

compounds causing the turbidity, in relation to raw water was 91÷92%. In the case of COD_{Cr} concentration there was a decline of 60% in the first production line, while on the second line the value of COD_{Cr} was on the initial level (5% lower). In the case of UV absorbance at 254 nm before and after filtration there was a decrease in a range of 93÷96% and 98÷99%, respectively. The concentration of halogenated organic substances was expressed by determining AOX indicator (adsorbable organic halogens). This indicator is used to designate a group of organic halogen derivatives adsorbed on activated carbon. The concentration of AOX in water taken from surface intake introduced into the treatment was in the range of 0.104÷0.140 mg Cl⁻/dm³, whereas in the treated water ranged between 0.142÷0.153 mg Cl⁻/dm³.

Keywords: water treatment, organic substances, adsorbable organic halogens on activated carbon (AOX)