

Ewa Szmecchtig-Gauden, Barbara Dejewska, Roman Buczkowski

Badania pilotowe nad skutecznością usuwania glonów na ujęciu wody w Lubiczu koło Torunia

Obecność glonów w wodach ujmowanych do celów komunalnych znacznie komplikuje procesy oczyszczania, przy czym szczególnie wiele problemów sprawia masowy rozwój fitoplanktonu. Konsekwencją intensywnego rozwoju glonów może być np. zatykanie sit na ujęciach wody, a także konieczność stosowania wysokich dawek chemikaliów podczas koagulacji, przy czym powstający osad pokoagulacyjny słabo sedymentuje oraz utrudnia eksploatację osadników z osadem zawieszonym. Zastosowanie konwencjonalnych układów oczyszczania nie zapewnia całkowitej eliminacji glonów z wody, a część z nich może się przedostać nawet do zbiorników wody czystej [1]. Glony są odporne na dezynfekujące działanie chloru, w wyniku czego mogą przenosić bakterie chorobotwórcze i wirusy przez układ oczyszczania do sieci wodociągowej. Zastosowanie skutecznej koagulacji i sedymentacji może wprawdzie zmniejszyć liczbę glonów o 90+95%, lecz dopiero użycie tych procesów łącznie z ozonowaniem i filtracją na węglu aktywnym pozwala na uzyskanie wody o wymaganej jakości [2].

zaopatrującego Toruń) w celu oceny stopnia jej zagrożenia zakwitami fitoplanktonu, a także określono skuteczność zmodyfikowanej technologii uzdatniania wody w usuwaniu glonów.

Materiał i metodyka badań

Badania przeprowadzono w skali pilotowej na Stacji Uzdatniania Wody w Lubiczu koło Torunia. Na potrzeby tej stacji utworzono na Drwęcy zatokę, w której obficie rozwija się fitoplankton przedostający się wraz z wodą do układu uzdatniania.

Badania uzdatniania wody na stacji pilotowej obejmowały następujące procesy: utlenianie wstępne, koagulacja wraz z sedymentacją w osadniku pionowym, filtracja przez złożo antracytowo-piaskowe, ozonowanie wtórne oraz filtracja na trzech pracujących równolegle kolumnach sorpcyjnych, wypełnionych węglami aktywnymi typu F300, F400 i Supra 0,8. Na etapie wstępnego utleniania zastosowano trzy różne

Tabela 1. Charakterystyka koagulantów stosowanych na stacji pilotowej w Lubiczu

Parametr, jednostka	Symbol koagulantu					
	PAC-16	PAC-10-WA	PAX-XL-1	PAX-XL-9	PAX-16	PAX-18a
Glin, %	8,2 ±0,2	5,3 ±0,3	5,3 ±0,3	5,4 ±0,2	8,2 ±0,2	7,0 ±0,3
Chlorki, %	20 ±0,5	13,0 ±1,0	13,0 ±2,0	10,0 ±1,0	ok. 21	23,0 ±1,5
Siarczany, %	maks. 0,5	0,5 ±0,3	<0,1	1,5 ±0,3	0,5 ±0,3	–
Sód, %	–	3,5 ±0,5	–	–	–	–
Żelazo, %	maks. 0,01	0,01+0,02	<0,01	<0,01	<0,01	–
Wapń, %	–	–	3,3 ±0,3	–	–	–
pH, –	1,2 ±0,5	2,8 (20 °C)	ok. 2,7	3,0 ±0,6	ok. 1,0	0,5 ±0,2
Gęstość, g/cm ³	1,35 ±0,01 (20 °C)	1,24 ±0,05 (20 °C)	1,24 (25 °C)	1,21 ±0,02 (20 °C)	1,33 (25 °C)	1,33 ±0,01
Temperatura krzepnięcia, °C	ok. –20	<–12	ok. –15	ok. –15	ok. –15	ok. –15
Zasadowość, %	35	65 ±5	70 ±5	70 ±5	37 ±5	13 ±5

Jednym ze sposobów usprawnienia procesu uzdatniania wody zeutrofizowanej jest wstępne utlenianie, które umożliwia ograniczenie aktywności życiowej planktonu i jego efektywne usunięcie w procesach koagulacji i filtracji, przy czym w miejsce wcześniej powszechnie stosowanego chloru – ze względu na powstawanie podczas chlorowania szkodliwych dla zdrowia związków, nieusuwalnych w dalszych etapach konwencjonalnego uzdatniania wody – obecnie coraz częściej wprowadza się ozon [3].

W niniejszej pracy omówiono zmiany jakości wody (pobieranej z zatoki Drwęcy na potrzeby zakładu wodociągowego

utleniające, tj. chlor, chloran (I) sodu i ozon. W procesie koagulacji zastosowano sześć koagulantów glinowych, których charakterystykę podano w tabeli 1. W okresie od stycznia 1999 r. do listopada 2000 r. pobrano próbki wody ujmowanej z zatoki Drwęcy oraz próbki wody po kolejnych etapach uzdatniania na stacji pilotowej, w których oznaczono liczebność glonów oraz dodatkowo w próbkach wody surowej – ich biomasa. Ponadto w próbkach wody oznaczano pH, temperaturę, utlenialność, zawartość fosforanów, azotanów (III) i (V), azotu amonowego oraz stężenie chlorofilu. Oznaczenia wykonano według polskich norm. Do celów porównawczych wykorzystano wyniki uzyskane w 1998 r. na stacji pilotowej pracującej z jednym filtrem sorpcyjnym wypełnionym węglem typu Picabiol.

Liczenie fitoplanktonu wykonano metodą Utermöhla za pomocą mikroskopu odwróconego (Telaval), z zastosowaniem komór osadowych o pojemności 25 cm³. Całkowitą objętość biomasy obliczono mnożąc liczebność każdego gatunku przez średnią objętość komórki [4] i następnie sumując uzyskane dane. Całkowita objętość komórek na jednostkę objętości wody odpowiada ich biomase przy założeniu, że 1 cm³ glonów odpowiada 1 g świeżej biomasy [5].

Dyskusja wyników

Charakterystyka ujmowanej wody

Zarejestrowane wartości wskaźników fizyczno-chemicznych wody w miejscu jej poboru wykazały zróżnicowanie w latach 1999 i 2000. Stężenia fosforanów i azotu azotanowego (III) oraz utlenialność wskazują na występowanie sprzyjających warunków do utrzymywania się wysokich stężeń biogenów w badanej wodzie, co jest korzystne dla rozwoju glonów. Prawdopodobnie jest to wynik spowolnienia biegu rzeki w tym rejonie. Zatoka bowiem, podobnie jak zbiorniki zaporowe, jest ekosystemem podatnym na procesy eutrofizacji na skutek wzmożonego procesu sedymentacji materii organicznej i nieorganicznej wnoszonej przez dopływy.

Utlenialność, charakteryzująca zawartość związków organicznych w wodzie, kształtowała się w granicach od 5,9 gO₂/m³

(wrzesień 1999 r.) do 13,7 gO₂/m³ (maj 1999 r.). W roku 2000 zarejestrowano niższe wartości, kwalifikujące wodę do I klasy czystości [6], natomiast utlenialność w porze wiosenno-letniej w 1999 r. (od kwietnia do lipca) wykazała wartości powyżej 10 gO₂/m³, co pozwoliło zaliczyć wodę do II klasy czystości (tab. 2).

W wodach zanieczyszczonych, a zwłaszcza płynących przez zlewnie rolnicze (jak to ma miejsce w wypadku Drwęcy), na których stosuje się intensywne nawożenie gleby, występują duże ilości fosforanów. Ich zawartość w wodzie z zatoki Drwęcy w badanym okresie wahała się od 0,16 gPO₄³⁻/m³ (marzec 2000 r.) do 0,89 gPO₄³⁻/m³ (czerwiec 1999 r.). Również okresowo wysoka zawartość azotu azotanowego (III), w zakresie od 0,004 gN/m³ (sierpień 1999 r.) do 0,040 gN/m³ (marzec 1999 r.), kwalifikowała wodę do II, a nawet III klasy czystości [6]. Nie stwierdzono znacznych wahań pH wody. Najwyższą wartość (8,15) zanotowano w marcu 2000 r., a najniższą (7,92) we wrześniu 1999 r. W wodach o takim pH związki azotu, fosforu oraz krzemionka są znacznie bardziej dostępne dla fitoplanktonu niż w wodach o niższym pH, co może mieć wpływ na jego rozwój w wodach zatoki [5].

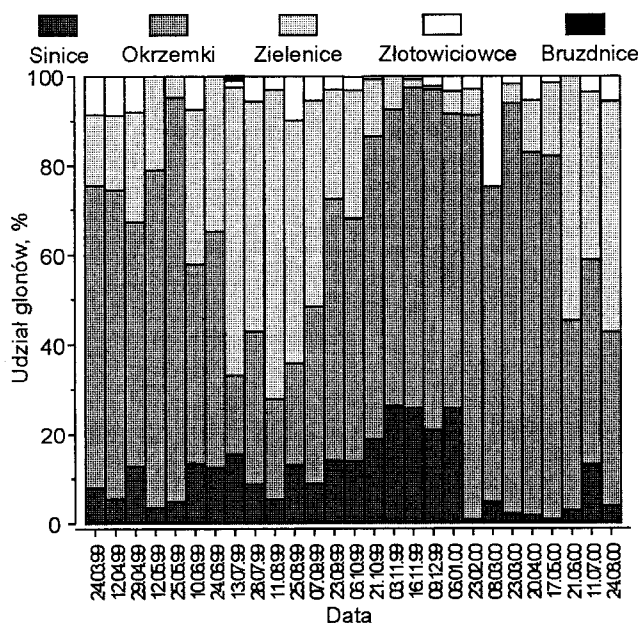
Analizując stan fitoplanktonu w wodzie z zatoki Drwęcy stwierdzono, że w 2000 r. liczebność fitoplanktonu była wyższa niż w 1999 r., przy czym najwyższe wartości zanotowano w kwietniu i maju 2000 r. (odpowiednio 4697 i 4913 organizmów w 1 cm³ wody). Taka liczebność glonów wskazywała na wystąpienie zakwitów w porze wiosennej, co potwierdziły

Tabela 2. Wybrane wskaźniki fizyczno-chemiczne wody z zatoki Drwęcy w latach 1999–2000

Data	Temperatura °C	pH	Utlenialność gO ₂ /m ³	Azot amonowy gN/m ³	Azot azotynowy gN/m ³	Azot azotanowy gN/m ³	Fosforany gPO ₄ ³⁻ /m ³
29-02-99	4	8,09	8,04	0,12	0,015	1,00	–
09-03-99	5	7,98	7,94	0,12	0,040	3,00	0,19
24-03-99	6	8,09	8,48	0,12	0,030	3,15	0,17
12-04-99	12	7,97	10,00	0,16	0,022	2,30	–
29-04-99	14	7,96	12,30	0,20	0,011	1,00	0,31
12-05-99	15	8,00	13,70	0,16	0,014	0,80	0,34
25-05-99	17	7,98	13,60	0,20	0,013	0,62	0,45
10-06-99	19	7,92	10,23	0,20	0,038	0,89	0,63
24-06-99	17	7,95	12,70	0,20	0,024	0,68	0,89
13-07-99	22	8,01	13,78	0,20	0,012	0,46	–
28-07-99	20	7,93	13,40	0,20	0,023	1,15	–
11-08-99	21	7,89	7,86	0,16	0,007	0,91	–
25-08-99	18	8,07	7,47	0,10	0,004	0,67	0,58
07-09-99	17	7,99	6,57	0,10	0,005	1,23	0,50
23-09-99	17	7,92	5,95	0,12	0,004	0,97	0,40
06-10-99	15	8,13	6,90	0,12	0,005	0,65	0,38
21-10-99	8	8,12	7,40	0,12	0,020	1,12	0,46
03-11-99	9	8,03	7,64	0,12	0,018	1,34	–
16-11-99	5	8,06	7,49	0,12	0,018	1,34	0,53
09-12-99	6	8,06	7,88	0,12	0,018	1,85	0,38
06-01-00	4	8,08	8,15	0,16	0,008	1,25	0,43
23-02-00	4	8,01	8,64	0,20	0,007	1,14	–
08-03-00	5	8,05	8,76	0,24	0,007	1,51	0,24
23-03-00	6	8,15	8,76	0,32	0,008	1,85	0,16
20-04-00	14	7,98	9,98	0,36	0,013	0,94	–
17-05-00	20	7,99	7,30	0,39	0,027	1,02	0,27
21-06-00	18	7,94	6,80	0,30	0,020	1,47	0,49
11-07-00	18	7,95	6,52	0,20	0,020	1,21	0,44
24-08-00	18	7,96	7,72	0,36	0,019	1,19	0,66

również wyniki badań stężenia chlorofilu i biomasy w tym okresie (tab. 3). O zakwicie decyduje nie tylko liczebność, ale również rozmiar osobników wywołujących zakwit, przy czym o zakwicie można mówić wówczas, gdy liczebność fitoplanktonu przekracza 1000 organizmów w 1 cm³ wody oraz gdy rozmiary poszczególnych osobników glonów przekraczają 30 μm [7]. Dotyczy to prawie wszystkich okrzemek, które zazwyczaj stanowią 66% wszystkich glonów.

W wyniku analizy ilościowej fitoplanktonu w wodzie z zatoki Drwęcy stwierdzono, że wpływ na ogólną liczebność fitoplanktonu miały tylko gatunki glonów należące do sinic, okrzemek i zielenic. Udział pozostałych grup taksonomicznych był bardzo niewielki. Ponadto przez cały czas badań dominowały na zmianę okrzemki i zielenice (rys. 1). Największy udział okrzemek (>60%) przypadają na próbki z okresu jesieni, zimy i wiosny (od września do maja), podczas gdy w całym badanym okresie ten udział kształtował się w granicach 18÷92%. Przeważały one zdecydowanie w próbkach z maja 1999 r. oraz lutego i marca 2000 r., w których odnotowano najwyższe wartości (ok. 90%), natomiast gatunki należące do zielenic miały największy udział procentowy (54÷69%) w próbkach wody z miesięcy letnich (lipiec–sierpień 1999 r.). Sinice w okresie badań nigdy nie dominowały, a ich największy udział (20÷30%) odnotowywano w okresie od listopada 1999 r. do stycznia 2000 r. W momencie szczytu liczebności glonów – kwiecień–maj 2000 r. – dominowały okrzemki (ok. 80%), natomiast udział sinic wynosił w granicach 1÷2%, a zielenic nie przekroczył 16%. Można zatem wnioskować, że w okresie kwiecień–maj 2000 r. wystąpił zakwit okrzemek.



Rys. 1. Udział grup glonów w wodzie z zatoki Drwęcy w latach 1999–2000

Porównując uzyskane wyniki z badaniami przeprowadzonymi w 1986 r. [8], stwierdzono mniejszy udział sinic w latach 1999–2000. W pierwszej połowie września 1986 r. zaobserwowano bardzo niebezpieczny wzrost liczebności glonów, z przeważającym udziałem sinic (70÷80%). Wiedząc, że zakwity sinic obserwuje się najczęściej późnym latem lub wczesną jesienią [9] można wnioskować, że obserwowano wówczas zakwit *Microcystis sp.* – sinicy, która należy do rodziny znanej z wytwarzania silnej hepatotoksyny (mikrocystyny), natomiast w latach 1999–2000 masowych pojawów sinic w zatoce Drwęcy nie stwierdzono. Jednak brak zakwitów

sinic, nawet przez kilka lat, nie jest oznaką wyeliminowania tej grupy fitoplanktonu. Wytwarzane przez nie komórki przetrwalnikowe, a nawet komórki wegetatywne, mogą przeżyć w osadach dennych przez wiele miesięcy, a nawet lat [10]. W porze letniej 1986 r., podobnie jak w całym okresie badań, dominowały gatunki z grupy zielenic, natomiast wiosną dominowały okrzemki, lecz ich liczebność była mniejsza niż w latach 1999–2000 i stanowiła około 50% ogólnej liczby glonów.

Potwierdzeniem zróżnicowania liczebności glonów w badanym okresie były wyniki badań ich biomasy, która wahała się w granicach od 0,24 g/m³ do 6,87 g/m³. Podobnie jak w wypadku liczebności glonów, wyższe wartości biomasy uzyskano w próbkach z 2000 r. niż 1999 r. (tab. 3). W drugiej połowie marca 2000 r. biomasa przekroczyła 3 g/m³, czyli wartość progową wskazującą według [5] na zakwit i wyniosła 3,07 g/m³. Przez kolejne dwa miesiące zawartość biomasy jeszcze wzrosła (20 kwietnia 3,39 g/m³, 18 maja 6,87 g/m³). Ten wyraźny szczyt rozwoju biomasy skończył się z początkiem lata, bo już 21 czerwca ilość biomasy wynosiła tylko 0,37 g/m³ i była to najniższa wartość, jaką stwierdzono w 2000 r.

Zarówno liczebność jak i zawartość biomasy wykazywały w tym samym czasie (lato 1999 r. i wiosna 2000 r.) wartości maksymalne, co było związane w dużej mierze z optymalną temperaturą do rozwoju glonów, która w 1999 r. wystąpiła dopiero w sierpniu, zaś w 2000 r. już w kwietniu (tab. 3).

Tabela 3. Liczebność glonów, biomasa i stężenie chlorofilu w wodzie z zatoki Drwęcy w latach 1999–2000

Data	Liczebność org./cm ³	Biomasa g/m ³	Chlorofil mg/m ³
24-03-99	989	0,431	5,60
12-04-99	971	0,838	–
29-04-99	518	0,438	–
12-05-99	343	0,300	5,74
25-05-99	373	0,275	4,19
10-06-99	802	0,572	10,80
24-06-99	434	0,237	1,35
13-07-99	964	0,357	4,07
28-07-99	1176	0,770	–
11-08-99	2004	2,016	–
25-08-99	2200	1,911	8,51
07-09-99	1097	1,089	4,94
23-09-99	1206	1,152	10,40
06-10-99	778	1,378	8,35
21-10-99	802	0,812	7,55
03-11-99	1290	2,039	–
16-11-99	1640	1,088	0,40
09-12-99	808	0,498	7,15
06-01-00	706	0,812	3,60
23-02-00	820	0,604	–
08-03-00	392	0,398	–
23-03-00	1477	3,067	6,54
20-04-00	4697	3,391	30,41
17-05-00	4913	6,872	47,35
21-06-00	814	0,372	–
11-07-00	1833	1,252	3,47
24-08-00	947	0,776	–

Maksymalne wartości zarówno biomasy jak i liczebności glonów w 2000 r. wskazywały na zakwit. W 1999 r. nie przekroczyły one jednak wartości progowych dla tego typu zjawiska, czyli 3 g/m^3 całkowitej biomasy fitoplanktonu. Według [9] zakwitem glonów nazywa się masowe powawy fitoplanktonu przyczyniające się do zmiany zabarwienia wody. Do ich powstania przyczyniają się takie warunki, jak temperatura wody w zakresie $15\text{--}30 \text{ }^\circ\text{C}$, wysokie stężenie biogenów, czy też pH w przedziale $6,0\text{--}9,0$, co właśnie miało miejsce na wiosnę 2000 r. w badanej wodzie.

W analizowanej zatoce Drwęcy rozkład stężenia chlorofilu w okresie badań przebiegał podobnie jak rozkład liczebności glonów i zawartości ich biomasy. Wysokie stężenie chlorofilu wystąpiło latem 1999 r. i wiosną 2000 r., lecz tylko trzykrotnie przekroczyło ono wartość 30 mg/m^3 , czyli według [5] wartość progową dla zakwitu. W badanym okresie pod względem stężenia chlorofilu wody zatoki należały okresowo do wszystkich trzech klas czystości, a w czasie zakwitu w 2000 r. (od 20 kwietnia do 18 maja) do wód pozaklasowych.

Usuwanie glonów

Wprowadzenie wstępnego utleniania na stacji pilotowej w Lubiczu spowodowało zmniejszenie liczebności fitoplanktonu średnio o 26% w stosunku do wody surowej (tab. 4). Spośród trzech zastosowanych utleniaczy najlepsze wyniki uzyskano dla chloranu (I) sodu, który spowodował eliminację glonów średnio o 22% w 2000 r. i 32% w 1998 r. Chlor umożliwił usunięcie około 18% glonów, natomiast po ozonowaniu uzyskano spadek liczebności glonów o 21% w 2000 r. i 34% w 1998 r. Chloran (I) sodu i chlor zastosowano tylko w porze zimowej, gdy liczebność fitoplanktonu była niska, co mogło wpłynąć na uzyskane wyniki. Niską efektywność wstępnego utleniania chlorem potwierdzono również w pracy [11], co było najprawdopodobniej spowodowane małą wrażliwością dominującego w wodzie surowej gatunku organizmów fitoplanktonowych na działanie tego utleniacza.

Porównując efektywność wstępnego utleniania domieszek wody (wszystkimi trzema utleniaczami) w latach 2000 i 1998 stwierdzono obniżenie stopnia usuwania fitoplanktonu o 7%. Z badań przeprowadzonych w 1998 r. na stacji pilotowej, pracującej z jednym złożem węglowym (Picabiol) wynika, że po ozonowaniu wstępnym zostało usunięte średnio 34% liczby glonów, tj. o 13% więcej niż w 2000 r. (tab. 4 i 5). Być może różnica ta wynikała z różnych dawek ozonu, gdyż w 1998 r. zastosowano zakres dawek $2,6\text{--}3,3 \text{ gO}_3/\text{m}^3$, natomiast w trakcie badań hydrobiologicznych w latach 1999–2000 zastosowano różne dawki ozonu we wstępnym utlenianiu, w zależności od pory roku i jakości fizyczno-chemicznej wody. W styczniu dawka ozonu wynosiła $1,0\text{--}2,0 \text{ gO}_3/\text{m}^3$, wiosną (od marca do maja) $3,0\text{--}4,0 \text{ gO}_3/\text{m}^3$, natomiast latem (od czerwca do września) $5,0\text{--}7,0 \text{ gO}_3/\text{m}^3$. Zatem w miesiącach o podwyższonej liczebności glonów w wodzie zastosowano około dwukrotnie wyższe dawki ozonu w 2000 r. niż w 1998 r. W badaniach opisanych w pracy [12] we wstępnym ozonowaniu zastosowano dawkę $0,8\text{--}1,0 \text{ gO}_3/\text{m}^3$, osiągając 20% zmniejszenie liczebności glonów, natomiast prowadząc badania nad skutecznością usuwania fitoplanktonu w pracy [13] stwierdzono, że zastosowanie dawki ozonu w wysokości $0,8 \text{ gO}_3/\text{m}^3$ poprawia znacząco efekt procesu filtracji. Z badań tych wynika, że zastosowanie ozonowania wstępnego w ciągu technologicznym stacji uzdatniania wody jeziornej w Zurychu spowodowało około 97% obniżenie liczebności glonów o rozmiarach $>20 \mu\text{m}$ po etapie filtracji, przy czym pominięcie ozonowania wstępnego w ciągu technologicznym dało po filtracji usunięcie glonów o tych rozmiarach w granicach $29\text{--}80\%$.

Ozon w różnym stopniu oddziałuje na różne gatunki fitoplanktonu. W wodzie z zatoki Drwęcy stwierdzono znaczny udział okrzemek. W pracy [12] wykazano, że niezwykle odporne na działanie ozonu są właśnie okrzemki (*Astrionella formosa*, *Fragillaria sp.*), które dominowały wśród fitoplanktonu w wodzie ujmowanej przez wodociąg Dzieńkowice. Pojawiają się również opinie, że efektywnym sposobem

Tabela 4. Skuteczność usuwania glonów z wody na stacji pilotowej w Lubiczu w latach 1999–2000

Data	Koagulant	Usuwanie glonów po kolejnych operacjach jednostkowych, %						
		utlenianie wstępne	koagulacja	filtracja	ozonowanie wtórne	sorpccja		
						F300	F400	Supra 0,8
15-11-99	PAX-16	20,99 ¹	81,01	96,12	98,04	97,75	99,71	99,84
18-11-99		25,93 ¹	84,12	97,80	99,57	97,48	99,64	99,53
29-11-99		37,49 ¹	77,49	98,20	97,28	99,29	99,46	99,50
03-02-00	PAX-XL-1	21,57 ²	85,71	96,21	99,42	100	100	99,42
20-02-00	PAX-XL-9	18,28 ³	45,52	100	98,13	100	100	98,51
01-03-00	PAX-XL-1	-16,95 ¹	84,98	98,92	98,15	99,15	99,69	99,54
14-03-00		32,89 ¹	95,81	98,66	99,16	99,55	99,78	98,21
18-04-00		20,79 ¹	83,02	98,96	99,35	99,88	100	97,23
22-05-00	PAC-10-WA	–	82,49	95,35	98,52	100	100	99,23
15-06-00		–	–	99,56	–	100	100	99,89
29-06-00		–	–	99,88	–	99,02	100	99,57
14-07-00	PAC-16	6,56 ¹	96,72	–	99,18	–	–	–
16-08-00		–	–	94,24	–	99,73	99,18	97,67
13-09-00	PAX-XL-1	46,87 ¹	83,13	98,17	99,04	99,30	100	99,65
24-10-00	PAX-18a	–	–	97,68	–	99,07	97,96	94,89
Średnia	–	26,09	80,75	97,94	98,71	99,30	99,67	98,76

Tabela 5. Skuteczność usuwania glonów z wody na stacji pilotowej w Lubiczu w 1998 r.

Data	Usuwanie glonów po kolejnych procesach jednostkowych, %			
	utlenianie wstępne	koagulacja	filtracja	sorpcja (Picabiol)
18-03-98	-16,63 ¹	61,46 ³	99,11	99,90
29-04-98	19,06 ¹	90,52 ⁴	98,30	99,61
26-06-98	-24,32 ¹	86,59 ⁵	98,75	100
20-07-98	30,44 ¹	95,09 ⁵	99,52	99,75
29-07-98	63,35 ¹	93,06 ⁵	99,72	100
19-08-98	40,82 ¹	84,32 ⁵	99,36	99,77
28-08-98	73,75 ¹	98,17 ⁵	99,92	100
17-09-98	30,07 ¹	97,39 ⁵	99,75	100
26-10-98	69,83 ¹	94,86 ⁵	99,89	100
06-11-98	63,88 ¹	96,54 ⁵	99,91	100
12-11-98	- ¹	87,26 ⁵	98,43	100
16-12-98	17,97 ²	78,17 ¹	97,85	99,11
18-12-98	53,26 ²	87,16 ¹	98,62	99,87
29-12-98	40,09 ²	83,36 ¹	97,81	99,71
20-01-99	15,22 ²	69,80 ¹	94,80	99,38
Średnia	36,11	89,22	99,13	99,89

1 – ozon, 2 – chloran (I) sodu, 3 – PAX-XL-1, 4 – Sachtoklar, 5 – PAX-16

uzdatniania wody jest usuwanie glonów przed wstępnym utlenianiem [14], gdyż obecność glonów i ich pozakomórkowej materii organicznej może być źródłem produktów ubocznych, np. podczas dezynfekcji chlorem. Stwierdzono, że po ozonowaniu wody zawierającej glony wzrosła z 10% do 30% potencjalna możliwość formowania się trihalometanów. Usuwanie glonów przed poddaniem wody uzdatnianiu jest jednak trudne w realizacji i kosztowne.

Najbardziej efektywnym procesem w usuwaniu glonów jest koagulacja, przy czym znacznie skuteczniej w tym procesie usuwane są organizmy tworzące skupiska wielokomórkowe niż glony jednokomórkowe [15]. W pracy [16] stwierdzono, że trudności przy koagulacji sprawiają także organizmy mające zdolność do samodzielnego poruszania się (wiciowce), mogące się odrywać od powstających kłaczków. Znaczący wpływ na parametry procesu ma również obecność pozakomórkowych substancji organicznych, które z reguły działają jak flokulanty [17]. Stwierdzono również, że optymalna dawka koagulantu zależy w dużej mierze od rodzaju glonów, a w szczególności od powierzchni komórek lub kolonii organizmów fitoplanktonowych i ich wzajemnego powinowactwa [11].

Na stacji pilotowej w Lubiczu dawki koagulantów ustalono na podstawie wartości wskaźników informujących o ogólnym stopniu zanieczyszczenia wody materia organiczną. Uzdatnianie wody w procesach utleniania i koagulacji w całym okresie badań spowodowało usunięcie fitoplanktonu średnio o 81%, przy czym najwyższą efektywność stwierdzono w próbkach wody z marca i lipca 2000 r., kiedy glony zostały wyeliminowane odpowiednio w 95,8% i 96,7% (tab. 4). W pozostałych próbkach stopień usuwania glonów wynosił powyżej 70% (wyjątkowo 45,5% w próbce wody z 20-02-2000).

Spośród zastosowanych koagulantów (tab. 1) najbardziej efektywny okazał się PAC-16, który spowodował obniżenie liczebności glonów o 96,5%. Wysoki stopień usuwania glonów umożliwił również PAC-10-WA, który zastosowano w okresie najwyższej liczebności glonów (marzec-maj 2000 r.). Podobną skuteczność (81%) wykazał koagulant

PAX-18a, natomiast PAX-16, stosowany w listopadzie 1999 r., czyli w początkowym okresie pracy stacji pilotowej, spowodował spadek liczebności fitoplanktonu o 74%. Ten sam koagulant wykazał lepszą skuteczność w usuwaniu glonów w 1998 r., tj. 87%. Niską skuteczność koagulantu PAX-XL-9, wynoszącą 33,3%, można wytłumaczyć tym, że w okresie jego stosowania wodę poddano wcześniej chlorowaniu, które nie sprzyjało koagulacji [18]. Prawdopodobnie dawka koagulantu w tym wypadku nie była odpowiednia lub nie zachodziła prawidłowo sedimentacja, na przykład ze względu na rodzaj glonów występujących w tym czasie w wodzie. Być może lepszym rozwiązaniem w tym wypadku byłoby zastosowanie flotacji. Często aglomeraty pokoagulacyjne, powstające podczas oczyszczania wód zawierających glony, charakteryzują się niewielką gęstością i wymagają długiego czasu sedimentacji, aby uniemocnić ich wynoszenie z osadników [19]. Dodatkowym czynnikiem utrudniającym separację glonów jest tlen powstający podczas fotosyntezy, powodujący flotację organizmów zglomeroanych w procesie koagulacji [20].

W okresie od 15 listopada 1999 r. do 15 listopada 2000 r. stopień zmniejszenia liczebności fitoplanktonu po etapie filtracji przez złoża antracytowo-piaskowe wynosił średnio 98%. W okresie występowania zakwitów fitoplanktonu (marzec-maj 2000 r.) stopień usuwania glonów po trzech głównych etapach procesu uzdatniania wody utrzymywał się powyżej 98%. W procesie filtracji glony były prawie całkowicie eliminowane, lecz powodowały równocześnie kolmatację złoża filtracyjnego, co w konsekwencji prowadziło do konieczności częstego i bardziej intensywnego płukania filtru. Ponieważ niewielka część glonów dobrze penetrujących złoża filtracyjne, takich jak nitkowate formy sinic, drobne okrzemki i niektóre zielenice, przechodziła do filtratu, dlatego też konieczne wydaje się zastosowanie dalszego uzdatniania wody na drodze filtracji przez złoża węglowe [15].

Po ozonowaniu wtórnym woda była kierowana na trzy równoległe pracujące filtry wypełnione węglami aktywnymi F300, F400 i Supra 0,8. Średni stopień usuwania fitoplanktonu na złożu F300 wyniósł 99%, przy czym najwyższy stopień usunięcia glonów (99,5%) uzyskano na złożu F400. W wypadku tego złoża aż w siedmiu próbkach otrzymano całkowite usunięcie glonów (100%). Najniższe wyniki usuwania fitoplanktonu stwierdzono w próbkach wody pobranych po złożu Supra 0,8 (śr. 98,7%).

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że w wypadku niedostatecznego stopnia usunięcia glonów w pierwszych trzech etapach uzdatniania wody, najskuteczniejsze było zastosowanie filtru ze złożem węglowym typu F400. Dla porównania, na stacji wodociągowej Dzieckowice uzdatnianie wody za pomocą ozonowania wstępnego i wtórnego oraz sorpcji na węglu aktywnym pozwoliło na efektywne usunięcie z wody organizmów planktonowych i mikrozanieczyszczeń [12]. Podobny rezultat uzyskano w badaniach przeprowadzonych w 1998 r. na stacji pilotowej w Lubiczu, osiągając praktycznie całkowite (99,9%) usunięcie fitoplanktonu z wody (tab. 5).

Wnioski

♦ Dominującymi glonami występującymi w wodzie z zakł. Drwęcy były okrzemki (od września do maja) i zielenice (od czerwca do sierpnia). Zawartość sinic w całym okresie badań stanowiła do 30% całkowitej liczby glonów. Maksymalne

wartości zarówno biomasy ($3,39 \pm 6,87 \text{ g/m}^3$) jak i liczebności glonów ($4697 \pm 4913 \text{ org./cm}^3$), zanotowane wiosną 2000 r., wskazują na wystąpienie zakwitów z dominacją okrzemek, przy czym w 1999 r. nie przekroczyły one wartości progowych dla tego typu zjawiska.

◆ Okresowo wartości utlenialności wody (od kwietnia do lipca 1999 r.) i stężenia azotanów (III) (od marca do lipca 1999 r. i w maju 2000 r.) pozwalają zaliczyć wodę z zatoki Drwęcy do II lub III klasy czystości śródlądowych wód powierzchniowych. Stężenia fosforanów w czasie badań zaliczały wodę do III klasy (czerwiec 1999 r. i sierpień 2000 r.), natomiast stężenie chlorofilu kwalifikowało wodę z zatoki Drwęcy do wszystkich trzech klas czystości ($1,35 \pm 18,30 \text{ mg/m}^3$), a w czasie zakwitów, tj. od 20 kwietnia do 17 maja 2000 r. – do wód pozaklasowych ($30,41 \pm 47,35 \text{ mg/m}^3$).

◆ Usuwanie glonów na etapie wstępnego utleniania było porównywalne w wypadku zastosowania chloranu (I) sodu (22% w 2000 r. i 32% w 1998 r.) i ozonu (21% w 2000 r. i 34% w 1998 r.).

◆ Najwyższy stopień usuwania glonów w procesie koagulacji osiągnięto przy zastosowaniu koagulantu PAC-16 (96%). Efektywność usuwania fitoplanktonu powyżej 80% stwierdzono również w wypadku koagulantów PAX-XL-1 (82%) i PAX-18a (81%).

◆ Najskuteczniejszym rozwiązaniem technologicznym w usuwaniu glonów było utlenianie ozonem, koagulacja PAC-16 oraz filtracja przez złożę węglowe typu F400.

LITERATURA

1. M. MARTYNELIS, B. RZERZYCKA: Wpływ organizmów planktonowych na uzdatnianie wody w wodociągu Sulejów–Łódź. *Ochrona Środowiska*, 1985, nr 2–3(24–25), ss. 71–73.
2. B. G. KOTAK: Occurrence and health significance of algal toxins in Alberta surface water. *Proceedings of the Alberta Lake Management Society*. Camrose, Alberta (Canada) 1991.
3. W. BALCERZAK, W. ZYMON: Wstępne ozonowanie w uzdatnianiu wód zeutrofizowanych. *Ochrona Środowiska*, 1993, nr 4(51), ss. 55–58.
4. J. PÓŁTORACKA: Wzorce do pomiarów i wyliczania objętości fitoplanktonu, 1970 (materiały nie publikowane).
5. B. KAWECKA, P. V. ELORANTA: Zarys ekologii glonów wód słodkich i środowisk lądowych. PWN, Warszawa 1994.

6. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z 5 listopada 1991 r. w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub do ziemi. Dz. U. nr 116, poz. 503, zał. 1.
7. T. J. SMAYDA: What is a bloom? A commentary. *Limnology and Oceanography*, 1997 Vol. 42, No. 5/2, pp. 1132–1136.
8. P. WIŚNIEWSKI, U. RACZYK-STANISŁAWIAK: Opracowanie koncepcji modernizacji stacji uzdatniania wody SUW Drwęca dla miasta Torunia. Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej, Poznań 1986 (praca nie publikowana).
9. M. TARCZYŃSKA, M. ZALEWSKI: Przyczyny i konsekwencje powstawania toksycznych zakwitów sinicowych w zbiornikach zaporowych. Toksyczność zakwitów sinic jako wynik eutrofizacji – mechanizm powstawania i możliwości kontroli. *Człowiek i Środowisko*, Zesz. Kom. Nauk. PAN, Warszawa 1997.
10. Z. KAJAK: Eutrofizacja jezior. PWN, Warszawa 1979.
11. W. SAWINIĄK, M. KŁOS: Badania nad uzdatnianiem wód z zakwitami fitoplanktonu w procesie koagulacji i flotacji. Mat. konf. „Uzdatnianie, odnowa i ochrona wód”, Politechnika Częstochowska, Częstochowa, 1998, ss. 103–113.
12. B. FALKUS, A. HANDZIK: Wpływ wstępnego ozonowania na liczebność planktonu w wodzie ujmowanej dla wodociągu „Dzieńkowice”. *Ochrona Środowiska*, 1998, nr 2(69), ss. 41–44.
13. J. AEPPLI: Introduction of double ozonation at the Lake Water Plant Lengg, Zürich. *Gas Wasser Abwasser*, 1991, Separate Edition No. 1207.
14. J. D. PLUMMER, J. K. EDZWALD: Effect of ozone on disinfection by-product formation of algae. *Water Science and Technology*, 1998, Vol. 37, No. 2, pp. 49–55.
15. A. L. KOWAL, M. ŚWIDERSKA-BRÓZ: Oczyszczanie wody. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa–Wrocław 1996.
16. K. STACHOWICZ: Próba ustalenia związku między morfologią glonów a ich podatnością na koagulację. *GWiTS*, 1982, nr 6 (56), ss. 84–85.
17. H. BERNHARDT, J. CLASEN: Flocculation of microorganisms. *SRT–Aqua*, 1991, No. 2, pp. 76.
18. E. SZMECHTIG-GAUDEM: Badania nad poprawą właściwości organoleptycznych i zdrowotnych wody pitnej dla regionu toruńskiego. *Wyd. nauk. UMK*, Toruń 2002.
19. T. ZABEL: The advantages of dissolved air flotation for water treatment. *Journal AWWA*, 1985, No. 5, pp. 42–46.
20. A. JODŁOWSKI: Usuwanie fitoplanktonu w procesach uzdatniania wód powierzchniowych. *Ochrona Środowiska*, 1991, nr 3(44), ss. 15–17.

Szmechtig-Gauden, E., Dejewski, B., Buczkowski, R. Pilot Plant Investigation into Algae Removal in Toruń Water Treatment Plant. *Ochrona Środowiska* 2002, Vol. 24, No. 4, pp. 33–38.

Abstract: The investigations were carried out at the Pilot Plant Drwęca in Lubicz near Toruń. The treatment train included the following unit processes: preozonation, coagulation, filtration on an anthracite-and-sand bed, indirect ozonation and sorption on three carbon beds (F300, F400, Supra 0.8). Preozonation was carried out with chlorine, ozone and sodium chlorate (I). The objective of the study was to describe the condition of the phytoplankton in the Drwęca River and the extent of algae removal owing to the application of a modified treatment train. The predominant algae groups in the riverine water included diatoms (September–May) and green algae (June–August). The

number of blue-green algae in the entire period of the study was not high (up to 30%). The highest values of both the biomass (3.39 to 6.87 g/m^3) and the algae number (4697 to $4913 \text{ organisms/cm}^3$), which were recorded in the spring of 2000 (April/May), indicated the occurrence of blooming, with domination of diatoms. In 1999, these values did not exceed the limit levels for this phenomenon. Preozonation was the most efficient with sodium chlorate (I) (32% in 1998 and 47% in 2000) and ozone (34% in 1998 and 21% in 2000). The highest reduction in the number of phytoplankton (96%) was achieved with PAC-16 as a coagulant. An over 80% reduction of algae was obtained using PAX-XL-1 (82%) and PAX-18a (81%). The most effective treatment train for the removal of algae includes ozonation, coagulation with PAC-16 as flocculant and filtration on the F400 carbon bed.