

## **Magdalena DOMAŃSKA, Paweł WIERCIK**

Katedra Budownictwa i Infrastruktury, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
Department of Building and Infrastructure, Wrocław University of Environmental and Life Science

## **Rafał IDZIKOWSKI**

Instytut Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
Institute of Environmental Engineering, Wrocław University of Environmental and Life Science

## **Problemy z uzdatnianiem wód zeutrofizowanych Problems with eutrophicated water treatment**

**Słowa kluczowe:** eutrofizacja, uzdatnianie wody

**Key words:** eutrophication, water treatment

### **Wprowadzenie**

Eutrofizacja (z języka greckiego *eutrophos* – dobrze odżywiony), polega na zwiększaniu się w zbiornikach wodnych zawartości substancji pokarmowych, głównie azotu i fosforu, przy jednoczesnym aktywnym wzroście roślin wodnych. W wyniku ich rozwoju następuje przyrost masy organicznej, nazywany produkcją pierwotną. Na szybkość rozwoju wpływa wiele czynników, ale najważniejszym jest stężenie fosforu całkowitego w wodzie, będącego czynnikiem limitującym ten proces. Produkcją wtórną nazywana jest natomiast różnica między ładunkiem substancji organicznych pobranych i wydalonych przez organi-

zmy zamieszkujące środowisko wodne. Zależność między produkcją pierwotną a produkcją wtórną pozwala określić trofię danego zbiornika wodnego i tym samym jakość wody. Jeśli produkcja pierwotna jest większa od wtórnej, wtedy wody mają charakter eutroficzny – są mętne i bogate w materię organiczną, jeśli równa, to wody mają charakter oligotroficzny i charakteryzują się wysoką przezroczystością. Zjawisko, gdy produkcja wtórna jest większa od pierwotnej, zachodzi w strefach poli i  $\alpha$ -mezosaprobowej (Łomotowski i Szpinodor 2002). Dlatego, aby w zbiornikach wodnych nie dochodziło do intensyfikacji produkcji pierwotnej, powodującej niekorzystne zmiany w jakości wody wykorzystywanej na cele bytowo-gospodarcze, należy przede wszystkim ograniczać dopływ związków biogenicznych, szczególnie fosforu.

Początki antropogenicznego wzbogacania wód w substancje biogeniczne związane są z rozwojem urbanistyki, przemysłu i gospodarki komunalnej. Do wód powierzchniowych odprowadzano coraz to większe ilości ścieków oraz spływy z powierzchni terenu, głównie z obszarów rolniczych o intensywnych uprawach, wzbogacone w substancje biogeniczne, a także inne substancje pokarmowe, jak węglowodany, aminokwasy i witaminy. Nadmierny rozwój roślinności prowadzi do wzrostu ilości materii organicznej, co z kolei przyczynia się do poważnych zanieczyszczeń wód powierzchniowych (Kawecka i Eloranta 1994).

Oprócz antropogenicznych źródeł materii organicznej istnieją także naturalne źródła. Jak wykazały badania Górniaka i innych (1998), głównym czynnikiem eutrofizującym wody zbiornika Siemianówka są substancje humusowe, wynoszone z gleb torfowiskowych i leśnych, które po poddaniu promieniowaniu UV stają się źródłem biogenów dla autotrofów. Również mieszanie osadów dennych przez ryby oraz wydalanie biogenów w odchodach (ryby, ptaki) przyczynia się do wzrostu trofii jezior, jak ma to miejsce m.in. w zbiorniku Goczałkowice, którego okolice licznie zasiedla około 30 gatunków ptaków lęgowych o liczbie ponad 10 000 par (Czaplicka-Kotas i in. 2005).

W wodach bogatych w substancje biogeniczne nadmierny rozwój fitoplanktonu, zwany również „zakwitom wody”, całkowicie zmienia cechy wody – dochodzi do jej zmętnienia, zmian w smaku, zapachu i kolorze – zwykle jest ona zielona, ale również czerwona czy pomarańczowa, w zależno-

ści od dominującego gatunku glonów. W przypadku niektórych gatunków fitoplanktonu zwiększa się także produkcja substancji toksycznych, na przykład obecność sinic może prowadzić do silnych zatruć, a nawet śmierci zwierząt lub ludzi (Kawecka i Eloranta 1994). Glony mają także destrukcyjny wpływ na niektóre urządzenia hydrotechniczne oraz pracę zakładów uzdatniania wody. Zakwity wody pogarszają jej właściwości, czyniąc ją niezdatną do picia.

Obecnie mówimy o wzroście eutrofizacji w wodach stojących i wolno płynących. Wcześniej uważano, że proces eutrofizacji przebiega jedynie w wodach stojących, ze względu na mały ruch wody i niewielką wymianę materii, jaka sprzyja szybkiemu zwiększaniu ilości substancji pokarmowych, które dostają się do jezior na drodze dopływu ze zlewni (Kawecka i Eloranta 1994).

W wodach płynących następuje ciągle „wymywanie” biomasy. Niemniej jednak proces eutrofizacji istnieje i zależy od wielu warunków morfologicznych, edaficznych, klimatycznych i hydrologicznych.

### **Zagrożenia wynikające z zakwitu wody**

Do zakwitu wody dochodzi zazwyczaj latem i jesienią przy sprzyjających dla rozwoju sinic i okrzemek warunkach fizycznych (temperatura, naświetlenie), chemicznych (ilość i rodzaj składników odżywczych) i biologicznych (występowanie gatunków powodujących zakwity).

Na liczebność glonów duży wpływ ma obecność zooplanktonu, który żywiąc się nimi, przyczynia się do spadku

ich populacji. Wyjątek stanowią sinice, które są eliminowane w mniejszym stopniu, a produkowane przez nie toksyny prowadzą do obumierania zooplanktonu. W związku z tym, że zooplankton stanowi główne pożywienie ryb, spadek jego ilości wpływa na pogorszenie procesu usuwania glonów (Czaplicka-Kotas i in. 2005).

Rozwijające się masowo glony stanowią konkurencję dla innych organizmów w wyniku produkcji toksyn oraz zmniejszenia zawartości składników biogenicznych w wodzie (jony amonowe, azotany, azotyny, fosforany). Wraz ze wzrostem liczebności glonów w zbiorniku wodnym dochodzi do zmniejszenia przenikalności światła w głąb toni wodnej, czego skutkiem jest obniżenie wydajności procesu fotosyntezy i w efekcie obumieranie zanurzonych makrofitów. To z kolei prowadzi do obumierania towarzyszącej makrofitom fauny – proces ten związany jest również z pojawiającym się deficytem tlenu rozpuszczonego w wodzie, niezbędnego do życia organizmów wodnych. Brak tlenu w warstwie przydennej prowadzi do zubożenia składu fauny głębinowej, a tarło niektórych ryb pelagicznych (Coregonidae) nie dochodzi do skutku (Kawecka i Eloranta 1994, Lampert i Sommer 1996). Obumierające glony powodują wtórne zanieczyszczenie wody na skutek zwiększenia zawartości substancji organicznej. Dochodzi do wzrostu BZT<sub>5</sub> i większego zużycia tlenu (Dojlido 1995).

Intensywne zakwity wody wpływają na zużywanie dwutlenku węgla w procesie fotosyntezy. W wyniku wyczerpania jego zasobów dochodzi do wzrostu odczynu wody do pH 9. Wraz ze wzrostem pH zachodzi zmiana stanu równowagi

w układzie jony amonowe – niezdyso-cjowany amoniak. W wodzie zaczyna dominować forma niezdyso-cjowana, trująca dla organizmów wodnych, powodująca masową śmiertelność ryb (Lampert i Sommer 1996).

Pojawiający się kożuch i piana na powierzchni zbiorników wodnych, zmiana barwy wody oraz nieprzyjemny zapach, towarzyszący zakwitom wody, stanowią ważny czynnik ekonomiczny, wpływający na zmniejszenie dochodów pochodzących z turystyki.

Masowy rozwój sinic stanowi zagrożenie zarówno dla stałocieplnych kręgowców (w tym człowieka), jak i zwierząt gospodarskich, przede wszystkim ze względu na produkcję toksyn przez niektóre gatunki. Często woda w zbiorniku wodnym niewykazującym cech zakwitu, takich jak barwa czy zapach, może być skażona toksynami, które są bezbarwne i bezwonne. Toksyny nie są wydzielane do środowiska, trafiają do niego po obumarciu sinicy i rozpadzie komórki (Gałczyński i Ociepa 2008).

Wśród toksyn produkowanych przez sinice można wyróżnić neurotoksyny (porażające układ nerwowy), hepatotoksyny (uszkadzające wątrobę), cytotoxyny (uszkadzające różne komórki organizmu), dermatoksyny (powodujące zmiany skórne) i inne o nie do końca poznanym mechanizmie oddziaływania toksycznego. Wiele z nich wykazuje działanie kancerogenne, powodując uszkodzenia narządów wewnętrznych (Kawecka i Eloranta 1994, Kabziński i Grabowska 2003, Gałczyński i Ociepa 2008).

Fitoplankton powoduje zatykanie urządzeń do uzdatniania wody (filtrów powolnych) i zakłócenia w obiegach

chłodniczych (zwiększona korozja przewodów, zatykanie rur, osłabienie przenikania ciepła) – Dojlido (1995).

Wykrycie obecności toksyn sinicowych w wodach wykorzystywanych do celów pitnych stanowi dodatkowy problem dla stacji uzdatniania wody, a ich obecność wymaga zastosowania o wiele bardziej złożonych technik w procesie uzdatniania wody.

### **Metody usuwania glonów z wody przeznaczonej do picia i na potrzeby gospodarcze**

Usuwanie glonów z wody jest nadal dużym problemem eksploatatorów systemów uzdatniania wody powierzchniowej pochodzącej głównie z jezior czy zbiorników zaporowych. Zwiększone nagromadzenie glonów w wodzie ujmowanej dla wodociągu wpływa na przebieg procesów uzdatniania wody, a w rezultacie na jej jakość. Objawia się to przede wszystkim zwiększonym zapotrzebowaniem na chlor, większą częstotliwością płukania filtrów oraz pogorszeniem smaku, zapachu, barwy i mętności uzdatnianej wody (Markowski i in. 1996).

Jak dotąd przeprowadzono wiele badań nad opracowaniem metody skutecznej, a zarazem taniej i łatwej w eksploatacji. Aktualnie stosowane są metody chemiczne oraz mechaniczne.

Ważnym elementem na etapie wstępnym jest ocena stopnia trofizmu, czyli wyniku tworzenia i rozpadu substancji organicznych w zbiornikach. Konieczne jest opracowywanie regionalnych i lokalnych normatywów, gdyż wody eutroficzne pod względem chemicznym i biologicznym różnią się w poszczegól-

nych zbiornikach wodnych. Opracowany przez Aleksiejewa i innych (1991) wskaźnik ilościowy może być wykorzystany do oceny kryterium równowagi ekologicznej autotroficznych i heterotroficznych procesów w zbiornikach wodnych, a także do oceny rezerwy ekologicznej tych zbiorników.

Przed procesem usuwania glonów z wody pobieranej bezpośrednio ze zbiornika powinniśmy wziąć pod uwagę możliwość zastosowania infiltracji naturalnej lub sztucznej. Budowa stawów infiltracyjnych lub wstępnych zbiorników pozwala w przypadku pogorszenia jakości wody na zamknięcie dopływu i okresowe korzystanie z wody zgromadzonej wcześniej. Infiltracja naturalna dzięki przemianom fizyczno-chemicznym i biochemicznym zachodzącym w gruncie oraz rozcieńczeniu wody prowadzi do wyrównania stężeń poszczególnych składników i znacznie poprawia jakość wody pobieranej na potrzeby SUW (Kowal A.L. 1991).

Najbardziej rozpowszechnioną metodą mechaniczną są mikrosita, których zasada działania polega na oddzieleniu mikroorganizmów od wody poprzez zastosowanie siatki filtracyjnej o odpowiedniej średnicy oczek, których wielkość powinna być dobierana na podstawie badań z okresu kilkunastu miesięcy. W pracy Markowskiego i innych (1996) stwierdzono, że skuteczność usuwania mikroorganizmów za pomocą mikrosit jest bardzo duża i wynosi około 80%. Istniała jednak zmienność przy usuwaniu poszczególnych gatunków glonów. Najlepiej usuwane były okrzemki – w ilości 86,2%, następnie zielenice – 80,9%, i sinice – 67,8%. Dzięki zastosowaniu mikrosit osiągnięto dodatkowe korzyści

w postaci zmniejszonej ilości ujmowanej wody o 26,3%, 2,5-krotnego zmniejszenia liczby spustów osadu z akceleratorów oraz zmniejszonej o 33% ilości ścieków technologicznych. Dodatkowo zmniejszyła się częstotliwość płukania filtrów i zapotrzebowanie na chlor.

Mimo wielu zalet mikrosita nie stanowią wystarczającej blokady dla mikroorganizmów, gdyż część z nich przedostaje się do wody. Badania Stachowicz i Czernoch (1982) wykazały, że istnieje zależność między koagulacją a budową glonów. Stwierdzono, że glony jednokomórkowe o małej średnicy i kształcie zbliżonym do kulistego koagulują się dużo trudniej niż glony wielokomórkowe z tendencją do tworzenia skupisk. Ponadto celowe jest zastosowanie wstępnego chlorowania dla poprawy efektu koagulacji jedynie w przypadku glonów jednokomórkowych.

W pracach Jodłowskiego (1991, 1994, 1997) nad badaniem wpływu procesu utleniania, koagulacji i flotacji na skuteczność usuwania glonów wykazano, że na efektywność flotacji ciśnieniowej ma wpływ przygotowanie zawiesin podczas destabilizacji i flokulacji. Istotne jest zachowanie odpowiedniego pH przy prowadzeniu procesu destabilizacji, a dawki koagulantów mogą być mniejsze ze względu na potrzebę tworzenia aglomeratów o niewielkich rozmiarach. Wykazano również, że odpowiedni dobór dawki utleniaczy zapobiega flotacji osadu pokoagulacyjnego oraz wpływa na poprawę podstawowych parametrów jakościowych uzdatnianej wody. Z uwagi na fakt tworzenia się niebezpiecznych dla zdrowia ubocznych produktów utleniania wody chlorem za-

sugerowano zamianę tego utleniacza na ozon.

W pracy Falkus i Handzlik (1998) opisano eksperyment nad skutecznością ozonu przy wstępnym utlenianiu wody zawierającej znaczne ilości planktonu. Okazało się, że aby wyeliminować negatywny wpływ ozonu na przebieg procesu koagulacji należy zminimalizować wielkość dawki oraz czas kontaktu wody z utleniaczem. Najbardziej korzystne były dawki ozonu z przedziału 0,8–1,0  $O_3 \cdot dm^{-3}$ , przy których osiągnięto zmniejszenie ilości mikroorganizmów fitoplanktonowych o 20%. Ponadto w celu usunięcia z wody wszelkich organizmów planktonowych i mikrozanieczyszczeń najlepszy efekt uzyskano, stosując dawki ozonu 0,5–1,5  $g O_3 \cdot dm^{-3}$  przy utlenianiu wstępnym, dawki 2–3  $g O_3 \cdot dm^{-3}$  przy ozonowaniu pośrednim oraz sorpcję na węglu aktywnym.

Balcerzak i Zymon (1993) w swojej pracy podkreślają, że proces koagulacji w niedostatecznym stopniu usuwa organizmy planktonowe, które przedostają się na filtry, a następnie do filtratu. Zwracając uwagę na zasadność wprowadzenia ozonowania wstępnego, lecz proponują system dwustopniowy. Pierwszy stopień polega na wprowadzeniu mieszaniny wodno-powietrznej z minimalną dawką ozonu, a po nasyceniu wody tlenem – spowodowaniu wstępnej flotacji i usunięciu powstałego kożucha. Drugi stopień to intensywny proces flotacji poprzedzony koagulacją w celu destabilizacji układu koloidalnego. W kolejnej pracy proponują rozwiązanie polegające na odprowadzeniu wody ze zbiornika Dobczyce za pomocą upustów dennych. Spowoduje to usunięcie wód odtle-



nionych i bogatych w związki fosforu. Zwracają także uwagę, że bardzo ważną rolę w sieci troficznej ekosystemu zbiornika odgrywa racjonalnie prowadzona gospodarka rybacka (Balcerzak i Wisz 1991). Kolejnym rozwiązaniem może być wybudowanie osadnika wstępnego przed zbiornikami zaporowymi oraz obsadzenie go roślinami usuwającymi substancje biogeniczne (Abraham i in. 1991). Istotnym przeciwwskazaniem jest lokalizacja ujęć wody poniżej elektrowni wodnych. Utrudnia to znacznie proces uzdatniania ze względu na częstą zmienność natężenia przepływów, a co za tym idzie – zmieniającą się jakość wody w ciągu dnia (Rybicki 1991a).

W kraju i za granicą cały czas prowadzone są zaawansowane eksperymenty nad skutecznym usuwaniem glonów oraz ich toksyn z wody. Wiele z nich przyniosło obiecujące wyniki. Do takich metod można zaliczyć: naświetlanie wody promieniami UV, metodę fotokatalityczną i procesy membranowe.

Metoda UV może być stosowana jako alternatywa dla metod chemicznych, wykorzystujących algicydy do niszczenia glonów, takie jak siarczan miedzi, mogących powodować gwałtowne uwalnianie toksyn z komórek glonów do wody oraz negatywnie wpływać na organizmy wodne. Promieniowanie UV zatrzymuje wzrost glonów na skutek zmniejszenia zdolności fotosyntetycznej i/lub niszczenia DNA komórek (Sakai i in. 2007a). Lampy UV wykorzystywane są również do niszczenia toksyn produkowanych przez sinice. Badania nad stabilnością mikrocytyn przy zastosowaniu promieniowania UV zostały przedstawione między innymi w pracy Tsuji i innych

(1995). Odpowiednia intensywność światła z dodatkiem pigmentu obecnego w komórkach sinic, a także długości fal bliskie maksimum absorpcji toksyn powodują łatwy rozkład mikrocytyn, a przy słabszym naświetlaniu UV – ich izomeryzację do związków nietoksycznych (Tsuji i in. 1995). Promieniowanie UV prowadzi również do redukcji zawartości wewnątrzkomórkowej mikrocytyny, zmniejszając w ten sposób jej ilość uwalnianą do wody po obumarciu komórek glonów (Sakai i in. 2007b).

Chemiczne utlenianie, a zwłaszcza zaawansowane metody utleniania, w których wykorzystuje się wolne rodniki, są szeroko stosowane w eliminacji sinic, detoksykacji wydzielanych przez nie toksyn i usuwaniu lotnych substancji wydzielanych przez glony. Robertson i inni (1997) wykazali, że użycie  $TiO_2$  jako katalizatora podczas naświetlania mikrocytyny lampą ksenonową spowodowało całkowity jej rozkład za sprawą powstających na powierzchni  $TiO_2$  rodników hydroksylowych o bardzo wysokim potencjale utleniającym. Jednak obecność barwnika fikocyjaniny wydajnie spowalnia proces fotokatalitycznego rozkładu mikrocytyny (Robertson i in. 1999).

Techniki membranowe znajdują coraz szersze zastosowanie w przemyśle. Dzięki wykorzystaniu membrany o odpowiedniej średnicy porów możemy usunąć z wody komórki glonów zanim uwolnią one toksyny. W praktyce jednak część toksyn przedostaje się do wody, lecz jest to niewielka ilość w porównaniu z innymi metodami, które skupiają się przede wszystkim na inaktywacji glonów. W pracy Drikas i innych (2002)

przeprowadzono badania na membranach do mikrofiltracji i ultrafiltracji. Obie membrany wykazały się dużą efektywnością, lecz komórki *Microcystis aeruginosa* były lepiej usuwane za pomocą ultrafiltracji. Autorzy zalecają stosowanie utleniania chemicznego dopiero po mechanicznym usunięciu glonów za pomocą membran. Przestrzegają także przed zawracaniem sklarowanej wody z płukania filtrów na początek układu, aby wyeliminować niebezpieczeństwo przedostania się toksyn do wody. Zagadnienie to zostało także opisane w pracach Chow i innych (1997) i Teixeira i Rosa (2005). Dzięki skutecznej eliminacji komórek sinicowych z wód metody membranowe znalazły się w czołówce metod oczyszczania wód zawierających znaczne ilości planktonu.

W Polsce opisane metody nie znalazły jak na razie szerszego zastosowania w praktyce ze względu na wysokie koszty eksploatacji. W przypadku metody UV i metody fotokatalitycznej pojawiają się także trudności związane z ich stosowaniem w skali technicznej.

## Podsumowanie

W wielu pracach eutrofizacja jest przedstawiana jako zjawisko negatywne bądź niekorzystne. Należy pamiętać, że jest to proces naturalnie występujący w środowisku a nadmierny zakwit jest uciążliwy głównie w przypadku ujmowania wody na cele bytowo-gospodarcze i przemysłowe.

Problem ochrony wód przed zanieczyszczeniami poruszany jest w wielu publikacjach (Kowal 1991, Stachowicz

i Czernoch 1991, Rybicki 1991b), lecz aby ograniczyć skutki eutrofizacji, niezbędne jest przeprowadzanie regularnych badań i monitoringu oraz przestrzeganie przepisów prawnych dotyczących wprowadzania zanieczyszczeń do wód. Jednak głównym celem ochrony zbiorników jest zmniejszanie ładunków zanieczyszczeń na dopływach do zbiornika. Przy opracowywaniu metody usuwania glonów z wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi wskazane jest, aby każdy zbiornik traktować indywidualnie i dobierać rozwiązania, kierując się doświadczeniem specjalistów.

## Literatura

- ABRAHAM F.F., LINCZE A., LICSKÓ I. 1991: Wpływ zmian jakości wody w zbiornikach zaporowych na technologię jej uzdatniania. *Ochrona Środowiska* 1: 17–21.
- ALEKSIEJEW M.I., CWIETKOWA L.I., MISZUKOW B.G., KOPINA G.I. 1991: Eutrofizacja w zbiornikach wodnych o niskiej mineralizacji. *Ochrona Środowiska* 1: 53–55.
- BALCERZAK W., WISZ A. 1991: Zagrożenie eutrofizacją wód zbiornika zaporowego Dobczyce. 1: *Ochrona Środowiska* 27–29.
- BALCERZAK W., ZYMON W. 1993: Wstępne ozonowanie w uzdatnianiu wód zeutrofizowanych. *Ochrona Środowiska* 4: 55–58.
- CHOW C., PANGLISH S., MOLE J., DRIKA M., BURCH M., GIMBEL R.A. 1997: A Study membran filtration for removal of cyanobacterial cells. *J. Water SRT-Aqua* 46: 324–333.
- CZAPLICKA-KOTAS A., SZOSTAK A., KOCWA-HALUCH R. 2005: Eutrofizacja wód goczalkowickiego zbiornika wodnego. *Gospodarka Wodna* 12: 490–495.
- DOJLIDO J.R. 1995: Chemia wód powierzchniowych. Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok.
- DRIKAS M., NEWCOMBE G., NICHOLSON B. 2002: Blue-green algae: their significance and management within water supplies.

- Occasional Paper 4: Blue-Green Algae. Published by the CRC for Water Quality and Treatment. Salisbury, Australia.
- FALKUSB., HANDZLIK A. 1998: Wpływ wstępnego ozonowania na liczebność planktonu w wodzie ujmowanej dla wodociągu „Dziewkowice”. *Ochrona Środowiska* 2: 41–44.
- GALCZYŃSKI Ł. 2008: Eutrofizacja wód – problem cywilizacji. *GWiTS* 12: 34–37.
- GALCZYŃSKI Ł., OCIEPA A. 2008: Charakterystyka toksyn produkowanych przez sinice. *Proceedings of EC Opole* 1: 177–179.
- GÓRNIAK A., ZIELIŃSKI P., GRABOWSKA M., JEKATIERYNCZUK-RUDCZYK E. 1998: Jakość wód zbiornika Siemianówka na górnej Narwi w siódmym roku funkcjonowania. *Gospodarka Wodna* 7: 258–261.
- JODŁOWSKI A. 1991: Usuwanie fitoplanktonu z wody w procesie utleniania i koagulacji. *Ochrona Środowiska* 1: 49–52.
- JODŁOWSKI A. 1994: Badania nad usuwaniem glonów z wody w procesie koagulacji – flotacji ciśnieniowej. *Ochrona Środowiska* 3–4: 19–23.
- JODŁOWSKI A. 1997: Wpływ wybranych parametrów technologicznych na usuwanie glonów w procesie flotacji. *Ochrona Środowiska* 4: 41–45.
- KABZIŃSKI A.K.M., GRABOWSKA H. 2003: Badanie efektywności toksyn sinicowych w procesie uzdatniania wody na przykładzie systemu produkcyjno-przesyłowego Sulejów – Łódź. *Gospodarka Wodna* 3: 109–118.
- KAWECKA B., ELORANTA P.V. 1994: Zarys ekologii glonów wód słodkich i środowisk lądowych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- KOWAL A. 1991a: Uzdatnianie wody ze zbiornika zaporowego Dobromierz. *Ochrona Środowiska* 1: 35–38.
- KOWAL A.L. 1991b: Oczyszczanie wody: chemiczne czy biologiczne? *Ochrona Środowiska* 1: 3–5.
- LAMPERT W., SOMMER U. 1996: Ekologia wód śródlądowych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- LOMOTOWSKI J., SZPINDOR A. 2002: Nowoczesne systemy oczyszczania ścieków. Arkady, Warszawa
- MARKOWSKI J., SYMONOWICZ C., STANISŁAWIAK R. 1996: Eksploatacja mikrosit w Stacji Uzdatniania Wody w Zawadzie pod Zieloną Górą. *Ochrona Środowiska* 1: 35–38.
- ROBERTSON P.K.J., LAWTON L.A., MUNICH B., ROUZADE J. 1997: Destruction of cyanobacterial toxins by semiconductor photocatalysis. *Journal of the Chemical Society, Chemical Communications* 4: 393–394.
- ROBERTSON P.K.J., LAWTON L.A., MUNICH B., CORNISH B.J.P.A. 1999: The involvement of phycocyanin pigment in the photodecomposition of the cyanobacterial toxin, microcystin-LR. *Journal of Porphyrins and Phthalocyanines* 3: 544–551.
- RYBICKI S.A. 1991a: Wybrane zagadnienia projektowania i eksploatacji zakładów oczyszczania wody z rzek podgórskich i zbiorników zaporowych. *Ochrona Środowiska* 1: 7–11.
- RYBICKI S.A. 1991b: Ochrona zbiorników zaporowych przed zanieczyszczeniem. *Ochrona Środowiska* 1: 13–16.
- SAKAI H., OGUMA K., KATAYAMA H., OHGAKI S. 2007a: Effects of low or medium-pressure ultraviolet lamp irradiation on *Microcystis aeruginosa* and *Anabaena variabilis*. *Water Research* 41: 11–18.
- SAKAI H., OGUMA K., KATAYAMA H., OHGAKI S. 2007b: Effects of low or medium-pressure UV irradiation on the release of intracellular microcystin. *Water Research* 41: 3458–3464.
- STACHOWICZ K., CZERNOCH M. 1982: Próba ustalenia związku między morfologią glonów a ich podatnością na koagulację. *GWiTS* 6: 84–85.
- STACHOWICZ K., CZERNOCH M. 1991: Jakość wody oraz produkcja w zbiorniku Dzieńkowice. *Ochrona Środowiska* 1: 39–42.
- TEIXEIRA M.R., ROSA M.J. 2005: Microcystins removal by nanofiltration membranes. *Separation and Purification Technology* 46: 192–201.
- TSUJI K. i in. 1995: Stability of microcystins from Cyanobacteria-II. Effect of UV light on decomposition and isomerization. *Toxicon* 33: 1619–1631.



## Summary

**Problems with eutrophicated water treatment.** This article concerns problems with the eutrophicated water treatment process. The main thread of the article is dedicated to some causes and risks which are associated especially with many organisms living in polluted reservoirs. The main threat in particular comes from the toxic substances produced by *Cyanophyta* that is directly connected with its living processes which complicates the whole water treatment process. The presence of *Cyanophyta* in water is a source of organic carbon and contributes to

disinfection by-products. This work provides the examples of improving water treatment technology for water with excessive number of phytoplankton.

### Authors' addresses:

Magdalena Domańska, Paweł Wiercik  
Katedra Budownictwa i Infrastruktury  
Rafał Idzikowski  
Instytut Inżynierii Środowiska  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
plac Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław  
Poland  
e-mail: magdalena.domanska@up.wroc.pl  
pawel.wiercik@up.wroc.pl  
rafal.idzikowski@up.wroc.pl