

Wpłynęło 06.03.2012 r.
Zrecenzowano 18.06.2012 r.
Zaakceptowano 05.07.2012 r.
A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

SINICE (*Cyanobacteria*) W ŚRODOWISKU SŁODKOWODNYM

Monika PAC^{ABCDEF}

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, Małopolski Ośrodek Badawczy w Krakowie

Streszczenie

Sinice są organizmami najczęściej tworzącymi zakwity, pojawiające się niekiedy na powierzchni zbiorników wodnych. Duża zdolność przystosowania się do różnych warunków sprawia, że są one bardzo trudne do wyeliminowania. Warunki panujące obecnie w polskich akwenach sprzyjają ich masowemu występowaniu. Czynnikiem szczególnie przyczyniającym się do nadmiernego rozwoju sinic jest postępująca eutrofizacja zbiorników wodnych, gdyż organizmy te wymagają do wzrostu obecności dużej ilości substancji biogennych (zwłaszcza fosforu) w wodzie. Zakwity są niekorzystnym zjawiskiem, zwłaszcza w przypadku zbiorników zaporowych, służących do magazynowania wód. Stwarzają także inne zagrożenia, w tym możliwość zanieczyszczenia wody szkodliwymi toksynami. Istnieje wiele metod umożliwiających eliminację sinic ze zbiornika wodnego, jednak żadna nie jest w pełni efektywna.

Słowa kluczowe: eutrofizacja, sinice, toksyny sinicowe, zbiorniki przepływowe

WSTĘP

Zielone „kożuchy”, pojawiające się niekiedy na powierzchni zbiorników wodnych, znacznie utrudniają zarówno rekreacyjne, jak i gospodarcze korzystanie z ich zasobów. Organizmami tworzącymi tego rodzaju zakwity są głównie sinice (*Cyanobacteria*). W minionych latach organizmy te klasyfikowane były jako glony (*Algae*), które nie stanowią już oddzielnej jednostki systematycznej, a organizmy należące do tej umownej grupy są przedstawicielami różnych królestw, w tym także królestwa roślin. Sinice jako odrębna gromada zostały natomiast zaliczone do królestwa bakterii (*Procarlyota*) [PINEVICH 2008].

Takie zamieszanie z klasyfikacją spowodowała stopniowa zmiana podejścia do systematyki. Niegdyś organizmy szeregowano na podstawie podobieństw w ich morfologii, obecnie natomiast klasyfikacja opiera się na rzeczywistym pokrewieństwie między gatunkami, co stało się możliwe dzięki obserwowanemu w ostatnich latach rozwojowi genetyki i metod badań. Jakkolwiek sinice obecnie zaliczane są do bakterii, jako organizmy nieposiadające otoczonego błoną jądra komórkowego i innych organelli, nieprzypadkowo klasyfikowane były wcześniej jako glony. Mają one mianowicie wiele cech stawiających je na pograniczu królestw. Jedną z nich jest obecność w ich komórkach barwników fotosyntetycznych, które umożliwiają im samożywność. Co więcej, jednym z nich jest tzw. chlorofil *a*, charakterystyczny dla roślin, a nie dla przeprowadzających fotosyntezę bakterii. Badania umożliwiły wysunięcie funkcjonującej do dziś teorii, że chloroplasty, czyli struktury odpowiadające za proces fotosyntezy u roślin, pochodzą od sinic, które zostały niegdyś „wchłonięte” do wnętrza komórek roślinnych [MERESCHKOWSKY 1905].

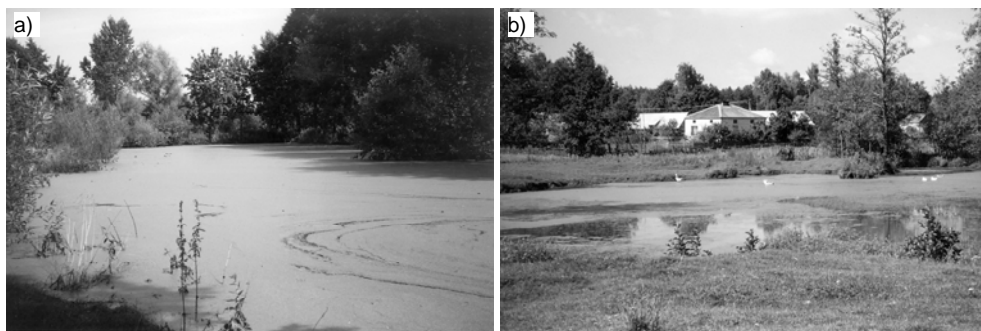
Celem niniejszej pracy jest uporządkowanie wiadomości, dotyczących warunków występowania oraz rozmnażania sinic. Lepsze poznanie tej problematyki pozostaje w ścisłym związku z prognozami na temat ocieplania się klimatu, a także z problemem eutrofizacji zbiorników wodnych i jego konsekwencjami. Istotne staje się wobec tego rozpoznanie związanych z występowaniem sinic zagrożeń dla środowiska wód powierzchniowych, gromadzonych w zbiornikach przepływowych, na czym skupiono się w niniejszej pracy.

ZDOLNOŚCI PRZYSTOSOWAWCZE I ROZMNAŻANIE SINIC

Sinice mogą mieć budowę zarówno jednokomórkową, jak i wielokomórkową lub też kolonijną. Z uwagi na dużą zdolność przystosowania się organizmy te radzą sobie dobrze w różnych warunkach. Dzięki obecności w ich komórkach wakuoli gazowych, mogą zmieniać swój ciężar właściwy, co pozwala im na pionowe przemieszczanie się w zbiorniku, a tym samym dostosowanie głębokości zanurzenia do konkretnych warunków świetlnych i tlenowych. Sinice mają zdolność wykorzystywania szerokiego spektrum światła; są także odporne na gorsze warunki tlenowe. Ich rozmnażanie może przebiegać tylko na drodze wegetatywnej – przez podział komórki lub rozerwanie nici utworzonej przez zespół komórek; możliwe jest też wytwarzanie specjalnych tworów służących rozmnażaniu, takich jak endospory, powstające wewnątrz komórki macierzystej i uwalniane po jej rozpadzie. Wiele gatunków sinic znosi długotrwałe zamarzanie i wysychanie, zachowując przy tym zdolność do życia. Stwierdzono, że optymalne dla ich wzrostu jest środowisko o odczynie zasadowym, choć istnieją rodzaje mogące żyć i w kwaśnym. Sinice, dzięki umiejętności wiązania azotu z powietrza w warunkach niedoboru soli azotanowych i amonowych, mogą też rozwijać się w warunkach niskiego stosunku azotu do fosforu w wodzie. Tempo namnażania się sinic ściśle wiąże się z temperaturą

oraz długością dnia. Optymalne są krótsze dni z wysoką temperaturą [PLIŃSKI 2009]. Niski stosunek azotu do fosforu ($N_{og.} : P_{og.} < 29$) jest korzystny dla rozwoju sinic [SMITH 1983], nie jest to jednak prosta zależność, o czym świadczą fakt, że zakwitę tworzą także gatunki nieposiadające zdolności wiązania azotu atmosferycznego. Tak więc czynnikami wpływającymi na pojawianie się zakwitów sinicowych jest wzrost zawartości substancji biogenych w zbiorniku oraz dłuższy okres ciepłej słonecznej pogody.

Sinice spotyka się nie tylko w środowiskach wód słodkich, gdzie są najbardziej rozpowszechnione, ale też w bardzo wielu innych miejscach, takich jak wody słone, gleba, powierzchnia śniegu czy gorące źródła. Obecne są na korzeniach roślin, w osadach dennych, w planktonie, na roślinach wodnych. Jednak najbardziej zauważalne pozostają, pojawiając się w postaci masowych zakwitów, także w naszych rodzimych zbiornikach wodnych. Przyczyną tego są w dużej mierze procesy eutrofizacji, które to pojęcie opisuje stan wzbogacania wód powierzchniowych w związki biogenne. Takie warunki doskonale odpowiadają sinicom, które w obecności dużej ilości substancji odżywczych rozwijają się przede wszystkim na powierzchni zbiornika wodnego, gdzie są najkorzystniejsze dla nich warunki tlenowe i świetlne (fot. 1). Co więcej, rozmiary sinic są na tyle duże, że niemożliwe jest ich zjedanie przez zooplankton, nie mają one więc naturalnych wrogów.



Fot. 1. Zakwit wody a) w zbiorniku naturalnym, b) w pobliżu gospodarstwa (fot. S. Twardy)

Fig. 1. Water blooms: a) in a natural reservoir b) close to a farm (photo S. Twardy)

SINICE W PRZEPLYWOWYCH ZBIORNIKACH KARPACKICH

Dogodnym miejscem rozwoju sinic są zbiorniki przepływowe, które powstały na skutek przegrodzenia dolin rzecznych. Trofia takich zbiorników jest warunkowana czynnikami przyrodniczymi i antropogenicznymi, decydującymi o stężeniu mineralnych form fosforu i azotu. Ich nadmiar, towarzyszący zjawisku eutrofizacji, powoduje zmiany w funkcjonowaniu całego ekosystemu. Zbiorniki tego rodzaju wykazują dużą podatność na eutrofizację, ze względu na dużo mniejszą niż

w przypadku rzek wymianę wody i ograniczone zdolności samooczyszczania. Jest w nich gromadzona, często w nadmiarze, materia organiczna, co może być szczególnie uciążliwe w przypadku zbiorników będących rezerwuarami wody pitnej, jak na przykład Zbiornik Dobczycki, utworzony na Rabie. Głównymi źródłami związków mineralnych w tym zbiorniku są doprowadzane do rzeki Raba zanieczyszczenia komunalne oraz rolnicze. Akwen ten można zaklasyfikować jako zbiornik mezotroficzny [CIEŚLA i in. 2003]. Wskazuje to na konieczność ochrony jego zlewni, a zwłaszcza uporządkowania gospodarki wodno-ściekowej na tym obszarze. Organizmem najpowszechniej występującym w Zbiorniku Dobczyckim jest należąca do sinic *W. naegeliana*, pojawiająca się w dużych ilościach zwłaszcza jesienią [POCIECHA, WILK-WOŹNIAK 2005]. Jest to jeden z trzech gatunków rodzaju *Woronichinia*, posiadających wakuole gazowe. Organizm ten występuje powszechnie w umiarkowanym klimacie Europy i Ameryki Północnej [WILK-WOŹNIAK i in. 2003].

Innym przykładem może być położony na Dunajcu Zbiornik Czorsztyński, skutecznie pełniący funkcję przeciwpowodziową, retencyjną i rekreacyjną. Badania tego zbiornika również wykazały wzrost trofii. Wzmoczony rozwój fito- i zooplanktonu, powodowany przez to zjawisko (szczególnie wiosną i latem), był charakterystyczny dla podgórskich zbiorników przepływowych. Wody Zbiornika Czorsztyńskiego również określono jako mezotroficzne [WILK-WOŹNIAK i in. 2010]. Dominującą grupą organizmów w tym zbiorniku okazały się być okrzemki, organizmy mające duże możliwości adaptacyjne, a co za tym idzie, mogące żyć w zmiennych warunkach środowiskowych i namnażające się w krótkim czasie [POCIECHA, WILK-WOŹNIAK 2005].

Innym zbiornikiem powstałym w wyniku spiętrzenia wód Dunajca jest Zbiornik Rożnowski. Jest on najbardziej zamulany zbiornikiem spośród wszystkich przepływowych zbiorników karpaccich w Polsce. Występują w nim typowe dla zbiorników eutroficznych gatunki sinic. Jakkolwiek badania pokazują duże podobieństwo zbiorników w Dobczycach i Czorsztynie, Zbiornik Rożnowski wyróżnia się na ich tle ze względu na dużo bardziej zaawansowany proces eutrofizacji [POCIECHA, WILK-WOŹNIAK 2005].

W opisanych zbiornikach występują niekorzystne warunki magazynowania wód, powodujące pojawianie się zakwitów sinicowych. Potencjalnie toksyczne gatunki sinic, występujące w wybranych zbiornikach zaporowych w Polsce, podano w tabeli 1. Niestety, wciąż mało jest opracowań, dotyczących przepływowych zbiorników karpaccich, a kompleksowe badania prowadzono dotychczas jedynie w Zbiorniku Dobczyckim.

Tabela 1. Potencjalnie toksyczne gatunki sinic w wybranych zbiornikach zaporowych w Polsce**Table 1.** Potentially toxic cyanobacterial species in selected reservoirs in Poland

Gatunek Species	Zbiornik Reservoir
<i>Microcystis</i> spp.	Biała Rawska Dobromierz Siemianówka Sulejów
<i>M. aeruginosa</i>	
<i>M. flos-aquae</i>	
<i>M. viridis</i>	
<i>M. wesenbergii</i>	
<i>Worochinia naegeliana</i>	zbiorniki południowej Polski southern Poland reservoirs
<i>Dolichospermum</i> spp.	Siemianówka Zembrzycki
<i>D. flos-aquae</i>	
<i>D. spiroides</i>	
<i>D. lemmermannii</i>	
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	Goczałkowice Siemianówka Zemborzycki zbiornik w Toruniu reservoir in Toruń

Źródło: opracowanie własne na podstawie: BŁASZCZYK i in. [2010].

Source: own studies based on: BŁASZCZYK *et al.* [2010].

ZAGROŻENIE EKSPANSJĄ SINIC

Występowanie zakwitów sinic jest uciążliwe dla środowiska i gospodarki. Nadmierny rozwój sinic pogarsza warunki świetlne głębszych warstw wodnych, co skutkuje m.in. ustępowaniem roślinności ze strefy przybrzeżnej. Przebudowaniu ulega flora zbiornika. Z niedoborem niezbędnego dla roślin wodnych światła wiąże się problem braku odpowiedniej ilości tlenu, a także pojawiania się siarkowodoru, zwłaszcza w warstwie przydennej zbiorników. W wyniku tego zwiększa się śmiertelność fauny (śnięcie ryb). W konsekwencji zaburzeniu ulega naturalna równowaga ekologiczna. Zagrożeniem dla człowieka jest fakt, że niektóre szczepy sinic są zdolne do wydzielania toksyn. Toksyny sinicowe wytwarzane są głównie przez rodzaje: *Microcystis*, *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Aphanizomenon*, *Cylindrospermopsis*, *Phormidium*, *Nostoc*, *Anabaenopsis*, *Nodularia*. Cyjanotoksyny, ze względu na specyfikę działania, można podzielić na:

- dermatotoksyny (oddziałują na skórę),
- neurotoksyny (oddziałują na układ nerwowy),
- hepatotoksyny (oddziałują na wątrobę) [KAEBERNICK, NEILAN 2001].

Nie wszystkie gatunki powodujące zakwity są toksyczne, a ich duża ilość na powierzchni wody nie zawsze świadczy o trujących właściwościach. Zdarza się, że woda nie wykazuje charakterystycznych cech zakwitu (zmieniony kolor, zapach), a toksyny są w niej obecne. Same toksyny są bezbarwne i bezwonne, niemożliwe jest więc ich bezpośrednio zaobserwowanie. Zwykle są one uwalniane do środowi-

ska dopiero po obumarciu i rozpadzie komórek sinic. W normalnych warunkach stężenie toksyn w wodzie jest niewielkie i niegroźne, zagrożenie pojawia się jednak, kiedy dochodzi do masowego obumierania komórek, czyli w fazie zamierania zakwitów. Do wzrostu zagrożenia dochodzi także, kiedy woda nie jest w wystarczającym stopniu mieszana wiatrem i prądami.

Najbardziej wrażliwe na działanie toksyn sinicowych są kręgowce stałocieplne, a wśród nich także człowiek i zwierzęta gospodarskie (konie, bydło, owce, psy, drób). Dużo większą odporność wykazują ryby i zwierzęta bezkręgowce. Toksyny sinicowe to jedne z bardziej toksycznych substancji produkowanych przez organizmy żywe. Dawki śmiertelne mieszczą się zwykle w granicach 9–200 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ masy ciała; stężenie cyjanotoksyn w próbkach pobieranych ze zbiorników wodnych w czasie zakwitów waha się zwykle w granicach 0,1–10 $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ [JONES, SIVONEN 1999]. Norma Światowej Organizacji Zdrowia (WHO), określająca wartość stężenia toksyn sinicowych w kąpieliskach, wynosi 5 $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$; w wodzie pitnej dopuszczalne stężenie mikrocystyny-LR, najczęściej występującej toksyny sinicowej, wynosi 1 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ [WHO 1998]. W Polsce ich stężenia nie są jednak rutynowo oznaczane. Wiedza o działaniu cyjanotoksyn jest nadal niewielka, dlatego też wg dyrektywy 2006/7/WE z dnia 15 lutego 2006 r., przy ocenie jakości wody należy uwzględniać obecność sinic, a nie produkowanych przez nie toksyn [Dyrektywa... 2006]. Najczęściej na świecie w ocenie jakości wody pitnej bierze się mimo to pod uwagę zalecenie WHO, wskazujące na wartość 1 $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ jako najwyższe dopuszczalne stężenie mikrocystyny-LR.

Eutrofizacja jest główną przyczyną pojawów sinic w zbiornikach. Może być ona pochodzenia naturalnego lub antropogenicznego. Eutrofizacja naturalna jest wywoływana przede wszystkim zmianami klimatycznymi i przebiega bardzo powoli od momentu powstania zbiornika. Zbiornik, wypełniając się osadami dennymi, stopniowo zmniejsza swoją objętość, co prowadzi do wzrostu żyzności gromadzonych wód. Eutrofizacja naturalna nie odgrywa jednak znaczącej roli w środowisku i jest często niezauważalna. Dużo większe znaczenie ma eutrofizacja antropogeniczna, wiążąca się z działaniami gospodarczymi człowieka. W ostatnich dziesięcioleciach w wielu zbiornikach rejestrowano duży wzrost żyzności wód. Jest to wywołane m.in. zwiększonym obciążeniem zbiorników wodnych ściekami zawierającymi fosforany. Na proces użyźniania wód ma też wpływ erozja wodna gleb oraz intensyfikacja rolnictwa, w tym także stosowanie nawozów organicznych i mineralnych, będących źródłem azotu. Azot, w przeciwieństwie do fosforu, ma w glebie dużo większą mobilność, dlatego znaczenie nawożonej gleby jako jego źródła jest dużo większe. Przyczyną zwiększonego stężenia azotu w zbiornikach wodnych może być też wzrastająca emisja do atmosfery jego tlenków i podwyższona ich zawartość w opadach atmosferycznych. Spłukiwanie przez opady atmosferyczne pestycydów, nawozów sztucznych i ścieków jest dużym problemem z punktu widzenia środowisk wodnych. Wody, w których pojawiają się zakwitki, stają się niezdatne do picia ze względu na potencjalną zawartość toksyn sinico-

wych; niemożliwe jest też ich wykorzystanie w celach rekreacyjnych. Wymusza to konieczność oczyszczania wód zarówno z organizmów tworzących zakwity, jak i z ewentualnych toksyn sinicowych.

METODY ELIMINACJI SINIC ZE ZBIORNIKA WODNEGO

Eliminacja sinic z biocenozy zbiornika wodnego nie jest łatwa, ze względu na wcześniej wymienioną właściwość przystosowania się tych organizmów do życia w zróżnicowanych, często skrajnych warunkach środowiskowych. Ponadto komórki cyjanobakterii mogą produkować formy przetrwalnikowe, które umożliwiają im przeżycie w trudnych warunkach. Mogą one przetrwać w osadach dennych wiele miesięcy, a nawet lat.

Podstawowe działania, mające na celu usunięcie sinic ze zbiornika wodnego, sprowadzają się do napowietrzania i destratyfikacji. Wadą tych metod są ich wysokie koszty i częściowa tylko skuteczność, zwłaszcza w przypadku dużych zbiorników, sprowadzająca się do likwidacji z powierzchni wody kożucha tworzonego przez sinice oraz piany zakwitowej. Poza metodami technicznymi istnieje grupa metod opartych na biomanipulacji, czyli wprowadzaniu do środowiska życia sinic organizmów, będących ich konkurentami lub konsumentami. Badania nad tego rodzaju metodami prowadzone są od wielu lat, lecz jak do tej pory z niezbyt zadowalającymi rezultatami. Wprowadzanymi organizmami mogą być niektóre gatunki ryb, żywiące się sinicami (*Hypophthalmichthys molitrix*, *Ctenopharyngodon idellus*, *Aristichthys nobilis*, *Telapia nilotica*, *T. mossambica*) [ROGALSKA-KUPIEC, BOCHNIA 1998] oraz takie organizmy, jak wypierające je pierwotniaki, czy powodujące rozpad ich komórek bakterie lub pasożyty grzybowe. Z kolei pewne makrofagi (*Ceratophyllum* sp., *Myriophyllum* sp., *Lemna minor*) oraz glony nitkowate (*Cladophora* sp., *Pitophora oedogonium*) mogą produkować substancje hamujące wzrost niektórych gatunków sinic [PLIŃSKI 2009]. Rezultat stosowania większości tych metod jest jednak taki, że zmniejsza się liczebność populacji sinic, ale nie poziom toksyn. Metody biomanipulacji są jeszcze w dużej mierze w fazie badań i wymagają dalszego dopracowania. Najbardziej efektywnymi metodami, jednocześnie też budzącymi największe kontrowersje, są metody polegające na użyciu związków chemicznych, będących algicydami (takich, jak: siarczan miedzi, nadmanganian potasu, reglone A, simazyne) lub koagulantami (np. wapno, aluny). Zastosowanie tych technik skutkuje liż komórek glonów i umożliwia prawie całkowitą eliminację sinic ze zbiornika wodnego. Najczęściej w zbiornikach wody pitnej wykorzystuje się sole miedzi (np. CuSO_4) oraz aluny żelazowo-glinowe, hamujące wzrost i rozmnażanie sinic z rodzaju *Microcystis*, co jednak powoduje uwalnianie do wody toksyn, a tym samym uniemożliwia korzystanie z niej przez kilka tygodni [ROGALSKA-KUPIEC, BOCHNIA 1998]. Ponadto działanie tymi związkami powoduje powrót do obiegu dużych ilości biogenów, pochodzących z rozpadających się

komórek sinic. Wprowadzono jednocześnie szczegółowe przepisy, dotyczące ilości wprowadzanych soli. Metody te nie powinny być zatem zalecane. Inne podejście polega na eliminacji przyczyn powstawania zakwitów sinicowych przez kontrolę zawartości fosforanu, czyli jednego z ważniejszych czynników wzrostowych sinic. Łatwym sposobem na pozbycie się nadmiaru fosforu jest dodawanie do wody wapna, który wiąże łatwo przyswajalne formy fosforu nie powodując jednocześnie rozpadu komórek sinic. Eliminacja czynnika niezbędnego do ich rozwoju powoduje ograniczenie ich wzrostu. W takiej sytuacji nie uwalniają się też w dużych ilościach toksyny [PLIŃSKI 2009].

PODSUMOWANIE

Z dotychczasowych badań oraz obserwacji wynika, że w zbiornikach wodnych występują liczne zagrożenia spowodowane obecnością zakwitów sinic. Dotyczy to zwłaszcza akwenów wody pitnej lub służących rekreacji. Jednocześnie stan wiedzy o mechanizmach wytwarzania i działania toksyn sinicowych jest niepełny, zwłaszcza wobec obecnie stawianych wysokich wymagań środowiskowych. Nie ma też skutecznego i niepowodującego ubocznych zagrożeń sposobu umożliwiającego usuwanie sinic ze zbiorników wodnych. Obecnie trwają badania nad opracowaniem i wdrożeniem takiej metody. Duże nadzieje budzi podejście biotechnologiczne, uwzględniające m.in. wykorzystanie białek wytwarzanych przez niektóre bakterie, a mogących w skuteczny sposób powodować degradację toksyn produkowanych przez sinice. Są one jednak dopiero w fazie badań i pozostaje jedynie oczekiwać na rezultaty, śledząc najnowsze doniesienia. Powinno się podjąć szerszej zakrojone badania dotyczące zakwitów sinicowych, tym bardziej, że wielu specjalistów realizuje swoje badania w obrębie zbiorników przepływowych, jak to ma np. miejsce w Małopolskim Ośrodku Badawczym w Krakowie. Badania takie mogłyby przynieść korzyść dla środowiska i wpłynąć na poprawę warunków retencjonowania wód.

LITERATURA

- BŁASZCZYK A., TORUŃSKA A., KOBOS J., BROWARCZYK-MATUSIAK G., MAZUR-MARZEC H. 2010. Ekologia toksycznych sinic. Kosmos. Problemy Nauk Biologicznych. T. 59. Nr 1–2 s. 173–198.
- CIEŚLA G., GŁÓWKA A., GOŁĘBIOWSKA K., RECZEK T., SYNOWIEC K. 2003. Zanieczyszczenie wód zbiorników zaporowych. W: Raport o stanie środowiska w województwie małopolskim w 2002 roku. Pr. zbior. Red. K. Gołębiowska, B. Pająk. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Kraków. s. 106–113.
- Dyrektywa 2006/7/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 15 lutego 2006 dotycząca zarządzania jakością wody w kąpieliskach i uchylająca dyrektywę 76/160/EWG. Dz.U. UE L 64/37.

- JONES G., SIVONEN K. 1999. Cyanobacterial toxins. W: Toxic cyanobacteria in water: A guide to their public health consequences, monitoring and management. Pr. zbior. Red. I. Chorus, J. Bartram. London. E & FN Spon s. 41–111.
- KAEBERNICK M., NEILAN B.A. 2001. Ecological and molecular investigations of cyanotoxin production. *FEMS Microbiology Ecology*. Vol. 35 s. 1–9.
- MERESCHKOWSKY C. 1905. Über Natur und Ursprung der Chromatophoren im Pflanzenreich. *European Journal of Phycology*. Vol. 34 s. 287–295.
- PINEVICH A.V. 2008. Paradoxes of biodiversity, phylogeny and taxonomy of Cyanobacteria. Moscow University. *Biological Sciences Bulletin*. Vol. 63. No. 1 s. 21–24.
- PLIŃSKI M. 2009. Przyczyny i skutki zakwitów sinicowych. IV Ogólnopolskie Warsztaty Sinicowe „Toksyczne zakwity sinic w wodach słodkich i słonawych”. Gdynia. Uniwersytet Gdański, Instytut Oceanografii, Regionalne Centrum Sinicowe, Polskie Towarzystwo Hydrobiologiczne s. 4–8.
- POCIECHA A., WILK-WOŹNIAK E. 2005. Dynamics of phyto- and zooplankton in the submountane dam reservoirs with different trophic status. *Limnological Review*. Vol. 5 s. 215–221.
- ROGALSKA-KUPIEC M., BOCHNIA T. 1998. Toksyny syntetyzowane przez sinice. *Wiadomości Botaniczne*. Nr 42(1) s. 11–19.
- SMITH V.H. 1983. Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue-green algae in lake phytoplankton. *Science*. Vol. 221 s. 669–671.
- WHO 1998. Guidelines for drinking-water quality (WHO/EOS/98.1). Genewa s. 1–127.
- WILK-WOŹNIAK E., BUCKA H., MROZIŃSKA T. 2003. Contribution to a broadening of taxonomical and ecological knowledge on *Woronichinia naegeliana* (UNGER) ELENKIN. *Algalological Studies*. Vol. 109 s. 609–615.
- WILK-WOŹNIAK E., POCIECHA A., MAZURKIEWICZ-BOROŃ G. 2010. Porównanie wybranych parametrów fizyczno-chemicznych i biologicznych wód Zbiornika Czorsztyńskiego w latach 1998 i 2005. *Pieniny–Zapora–Zmiany – Monografie Pienińskie*. Nr 2 s. 107–121.

Monika PAC

Cyanobacteria IN FRESHWATER ENVIRONMENT

Key words: *cyanobacteria, cyanotoxins, dam reservoirs, eutrophication*

S u m m a r y

Cyanobacteria are the organisms that often form blooms, sometimes on the surface of water bodies. High ability of adaptation to different conditions makes them very difficult to eliminate. Conditions prevailing in Polish waters support their massive occurrence. The factor that especially contributes to the expansion of cyanobacteria is progressive eutrophication of water reservoirs, due to the high cyanobacterial demand for nutrients (especially phosphorus) in waters. Blooms are the unfavorable phenomenon especially in dam reservoirs. They also pose other risks, including the possibility of water pollution with harmful toxins. There are many methods of limiting cyanobacteria in waters but none of them is fully effective.

Do cytowania For citation: Pac M. 2012. *Sinice (Cyanobacteria) w środowisku słodkowodnym*. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 12. Z. 3 (39) s. 187–195.