

Zasady oceny zagrożeń zdrowotnych związanych z zakwitami sinic w kąpieliskach

Health risk assessment standards of cyanobacteria bloom occurrence in bathing sites

Agnieszka Stankiewicz¹, Małgorzata Jamsheer-Bratkowska¹, Dorota Maziarka¹, Krzysztof Skotak²

Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego – Państwowy Zakład Higieny

Zakład Higieny Komunalnej. Kierownik Zakładu Higieny Komunalnej: dr Bożena Krogulska

¹ Pracownia Higieny Środowiska

² Pracownia Monitoringu Środowiska

Streszczenie

Zagrożenie dla zdrowia ludzi występuje w sytuacji masowego pojawienia się sinic wytwarzających toksyny w wodach ujmowanych do celów zaopatrzenia ludności lub w akwenach wykorzystywanych do celów rekreacyjnych. W pracy przedstawiono możliwości oceny zagrożenia dla zdrowia ludzi oraz zasady postępowania służb sanitarnych w Polsce w zakresie:

- oceny zagrożenia wystąpieniem zakwitów sinic w danym kąpielisku / zbiorniku wodnym;
- postępowania w przypadku stwierdzonego zakwitów sinic, w tym oceny zagrożenia, jakie stwarza on dla zdrowia ludzi oraz podejmowania decyzji, mających chronić zdrowie użytkowników kąpielisk;
- podejmowania działań, mających przeciwdziałać zakwitom sinic w kąpieliskach i w akwenach, na których obiekty takie są zlokalizowane.

Słowa kluczowe: sinice, toksyny sinicowe, kąpieliska, ryzyko zdrowotne

Summary

Threat for human health appears during a massive cyanobacteria bloom in potable water used for human consumption or in basins used for recreational purposes.

General health risk assessment standards and preventive measures to be taken by sanitation service were presented in scope of:

- evaluation of cyanobacteria bloom occurrence in bathing sites / water bodies,
- procedures in case of cyanobacteria bloom, including health risk assessment and decision making process to protect users' health at bathing sites,
- preventive measures, to be taken in case of cyanobacteria bloom occurrence in bathing sites and basins, where bathing sites are located.

Key words: cyanobacteria, cyanotoxins, bathing sites, health risk

Wstęp

Sinice są mikroorganizmami powszechnie występującymi w wodach powierzchniowych, wykazującymi cechy morfologiczne zarówno bakterii, jak i glonów (wielkość komórek, zdolność do fotosyntezy, zawartość chlorofilu-a). Ich wzrost uzależniony jest od dostępu światła, dwutlenku węgla oraz sub-

stancji odżywczych, wśród których szczególnie ważną rolę odgrywa fosfor. Poszczególne komórki mogą występować w koloniach i większych skupieniach, które w przypadku masowego pojawienia się sinic mogą tworzyć widoczne w wodzie smugi, gęstą pianę lub kożuch. Zakwity takie powstają w powierzchniowych warstwach akwenów wodnych,

Nadesłano: 23.9.2010

Zatwierdzono do druku: 05.10.2010

nawet w znacznej odległości od brzegu i charakteryzują się zmiennością nasilenia. Jednym z powodów tego zjawiska jest wpływ wiatru oraz fal, które przemieszczając powierzchniowe warstwy wody wraz z obecnymi w nich sinicami mogą w ciągu kilku godzin prowadzić zarówno do ich nagromadzenia się w części akwenu i znacznego nasilenia zakwitów na tym obszarze, jak również do ich fragmentacji lub rozproszenia. Znaczenie zdrowotne sinic wynika przede wszystkim z ich zdolności do wytwarzania substancji o silnych właściwościach toksycznych (toksyny sinicowe) oraz występujących niezależnie właściwości drażniących i alergogennych, mogących być przyczyną reakcji uczuleniowych.

W literaturze opisano liczne przypadki zatruc zwierząt dzikich i domowych, w tym bydła, trzody chlewnej i psów w następstwie spożywania przez nie wody ze zbiorników, w których nastąpiło masowe pojawienie się sinic [1]. Toksycznie mogą oddziaływać również artykuły spożywcze (ryby, skorupiaki) pochodzące z wód, w których doszło do zakwitów sinic.

Zagrożenie dla zdrowia ludzi dotyczy przede wszystkim sytuacji, gdy masowo występujące sinice pojawiają się w wodach ujmowanych na zaopatrzenie ludności a wytwarzane przez nie toksyny mogą przenikać do wody przeznaczonej do spożycia lub gdy do zakwitów sinic dochodzi w akwenach wykorzystywanych do celów rekreacyjnych.

Zagrożenie zdrowotne związane z występowaniem sinic w zbiornikach wodnych wykorzystywanych do celów rekreacyjnych dotyczy nie tylko osób zażywających w nich kąpiele, ale także korzystających z innych form odpoczynku nad wodą lub uprawiających sporty wodne, szczególnie wiążących się z możliwością wdychania aerozolu wodno-powietrznego, jak narty wodne lub żeglowanie. Szkodliwe następstwa zdrowotne mogą być wynikiem bezpośredniego działania toksyn sinicowych lub reakcji na zawarte w komórkach sinic alergeny przy różnych drogach ekspozycji – przy narażeniu poprzez skórę i bezpośredni kontakt z komórkami sinic lub toksynami sinicowymi. Pojawienie się zmian skórnych zwykle poprzedzone jest uczuciem świądu i pieczenia, pojawiającym się po upływie kilku minut do kilku godzin po kąpiele w wodzie, w której obecne były skupienia sinic. Zmiany skórne o typie rumienia lub rumieniowo-grudkowe pojawiają się po 3–8 godzinach po kąpiele. Często obserwowaną cechą jest ich największe nasilenie na skórze części ciała pokrytych strojem kąpielowym, co jest wynikiem zatrzymywania i nagromadzenia sinic przez tkaninę kostiumu, działającą w tym przypadku jak filtr oraz uwalniania toksyn sinicowych w następstwie mechanicznego uszkodzenia komórek sinic. Opisywano także przypadki zmian skórnych o cha-

rakterze alergicznym, identyfikując jako jeden z odpowiedzialnych za nie czynników zawarty w sinicach barwnik – fikocyjaninę [2]. Częstość takich zmian jest zdecydowanie większa u osób wykazujących objawy innych chorób alergicznych, w tym alergii układu oddechowego. Podrażnienie skóry w następstwie kąpieli w wodach, w których nastąpił zakwit sinic opisywane jest jako często występująca reakcja. W jednym z doniesień podkreślono, że częstość występowania takich zmian koreluje z ilością komórek sinicowych w jednostce objętości wody i czasem trwania narażenia, nie stwierdzono natomiast takiej zależności w odniesieniu do stężenia mikrocystyny w wodzie. Wskazuje to na udział w patogeniezie zmian skórnych albo niezidentyfikowanych dotychczas toksyn sinicowych, albo innych substancji lub antygenów [3] – przy narażeniu drogą doustną poprzez połykanie wody podczas pływania, nurkowania lub kąpieli. Ilość wody, spożywana w takich warunkach przez poszczególne osoby różni się znacznie w zależności między innymi od wieku i umiejętności pływania i wynosi przeciętnie u osób dorosłych ok. 100 ml, u dzieci 250 ml, okazjonalnie jednak może być większa, zwłaszcza przy dłuższym czasie kąpieli. Narażenie drogą doustną jest przyczyną większości przypadków zachorowań wywołanych przez sinice. Podstawową rolę w ich patogeniezie odgrywają toksyny sinicowe. Ryzyko zachorowania można ocenić na podstawie danych dotyczących gęstości komórek sinicowych w wodzie, uwzględniając zawartość toksyn w komórkach sinic oraz mechanizm działania tych substancji - przy narażeniu drogą wziewną poprzez wdychanie aerozolu wodno-powietrznego lub w wyniku zachłyśnięcia. Efekty toksyczne przy tej drodze narażenia poznane są najslabiej, ponadto ta forma ekspozycji zwykle współlistnieje z narażeniem drogą doustną. Opisywano jednak przypadki zmian w płucach oraz zmian analogicznych jak w wyniku narażenia doustnego u osób uprawiających windsurfing, żeglowanie lub wioślarstwo. Wiodącą rolę w ich patogeniezie również przypisuje się toksynom sinicowym.

Do najbardziej znanych i najlepiej udokumentowanych przypadków zbiorowych zachorowań w następstwie korzystania z rekreacji w zbiornikach wodnych [1, 2], w których masowo pojawiły się sinice i ekspozycji na toksyny sinicowe należą:

1. Saskatchewan, Kanada, 1959. Objawy choroby wystąpiły u 13 osób po pływaniu w jeziorze, w którym pojawił się zakwit sinic. Do zdarzenia tego doszło mimo wcześniejszych ostrzeżeń przed kąpielą w tym akwenu, rozpowszechnionych na skutek przypadków padania bydła, pojonego wodą z jeziora. W obrazie klinicznym dominowały bóle głowy, bóle mięśniowe, nudności, biegunka i bóle brzucha. Od jednego z chorych, który przypadkowo

napił się wody z jeziora w czasie kąpieli, izolowano z kału liczne komórki *Microcystis ssp.* i *Anabaena circinalis* [4];

2. Wielka Brytania, 1989: Zachorowania wystąpiły w grupie 10 z 20 żołnierzy po ćwiczeniach obejmujących pływanie i trening kajakarstwa w wodzie z masywnym zakwitem *Microcystis ssp.* U dwóch osób wystąpiło zapalenie płuc o ciężkim przebiegu, z powodu którego wymagały one hospitalizacji i leczenia w oddziale intensywnej opieki medycznej. Zmiany w płucach uznano za wynik inhalacji mikrocystyny [5];

3. Australia, 1995: W prospektywnym badaniu, którym objęto 852 uczestników, odnotowano zwiększoną częstość występowania biegunki, wymiotów, objawów przeziębienia, wysypek skórnych, owrzodzeń śluzówek jamy ustnej, gorączki, podrażnienia spojówek w ciągu 2–7 dni po kąpieli w wodzie, w której były obecne sinice. Nasilenie objawów znacząco wzrastało tym bardziej, im dłuższy był czas ekspozycji i im większa była gęstość komórek sinic w wodzie, nie było ono natomiast zależne od stężenia znanych toksyn sinicowych [3].

W patogenezie zachorowań, wywołanych przez sinice obecne w wodzie kąpielisk wiodąca rola przypada wytwarzanym przez te mikroorganizmy toksynom. Ogólna liczba zidentyfikowanych dotychczas toksyn sinicowych jest bardzo duża i znacznie przekracza sto [1]. Pod względem struktury chemicznej, wszystkie zidentyfikowane dotychczas toksyny sinicowe zaliczane są do jednej z trzech grup: cyklicznych peptydów, alkaloidów lub lipopolisacharydów. Bardziej rozpowszechniona jest klasyfikacja, której podstawą jest mechanizm działania toksyn sinicowych, zgodnie z którym wyróżnia się wśród nich cztery grupy:

1. Hepatotoksyny – najczęściej występujące toksyny sinicowe, głównym efektem ich działania jest uszkodzenie wątroby. Mechanizm ich działania polega na blokowaniu fosfataz białkowych. Toksyny te są rozpuszczalne w wodzie i nie przenikają samoistnie przez błony komórkowe, mogą natomiast dostawać się do wnętrza komórek jedynie wtedy, gdy są aktywnie wychwytywane i transportowane analogicznie jak niektóre substancje odżywcze [1]. Najprawdopodobniej dzięki temu mechanizmowi ich efekt toksyczny ograniczony jest do wątroby. Toksyny te wytwarzane są głównie przez sinice z rodzaju *Microcystis*, *Planktothrix*, *Anabaena*, *Nostoc* i *Nodularia*. Do tej grupy toksyn należą najbardziej rozpowszechnione i silnie toksyczne mikrocystyny i nodularyny, wśród nich mikrocystyna LR.

2. Neurotoksyny – mające strukturę alkaloidową, powodują zaburzenie przewodnictwa nerwowo-mięśniowego, prowadząc do zgonu poprzez porażenie

mięśni oddechowych. Blokowanie przewodnictwa nerwowo-mięśniowego dokonuje się w różnym mechanizmie – w przypadku anatoksyny-a jest wynikiem zaburzenia postsynaptycznej depolaryzacji, saksitoksyna i jej strukturalne analogi działają poprzez blokowanie szybkiego kanału sodowego znosząc możliwość przenoszenia impulsów, anatoksyna-(a)S powoduje inhibicję acetylocholin esterazy. Toksyny te wytwarzane są przez sinice z rodzaju *Anabaena*, *Planktothrix*, *Aphanizomenon*, *Lyngbya*, *Cylindrospermopsis*.

3. Cytotoksyny – również o strukturze alkaloidu, blokujące syntezę białek. Do tej grupy zaliczane są cylindrospermopsyny, wytwarzane przez sinice z rodzaju *Aphanizomenon*, *Umezakia*.

4. Dermatotoksyny – powodują zmiany skórne, działają drażniąco. Obejmują one aplysiatoksyny i lyngbyatoksyny, produkowane przez morskie sinice występujące głównie w tropikalnych wodach morskich z rodzaju *Lyngbya*, *Planktothrix*, *Schizothrix* (w Polsce bez większego znaczenia).

Dla oceny ryzyka zdrowotnego związanego z pojawieniem się zakwitów sinic w akwenach wodnych istotne jest, że nie wszystkie szczepy danego gatunku wytwarzają toksyny. W zestawieniu badań doświadczalnych częstość występowania szczepów mających zdolność produkowania toksyn oceniana jest w zależności od gatunku na 10–92% (średnio 59%, tabela 1). Na ogół jednak jest to ponad połowa izolowanych szczepów [2]. W tej sytuacji przyjęcie założenia, że przy każdym zakwicie sinic należy postępować tak, jak w przypadku szczepu toksycznego, zapewnia należyty poziom ochrony użytkownikom kąpieliska. Istotne jest również, że toksyny sinicowe zawarte są we wnętrzu komórek tych organizmów i mogą przenikać do wody po ich uprzednim rozpadzie.

Zakwity sinic w zbiornikach wodnych

W warunkach europejskich ok. 50% zbiorników słodkowodnych wykazuje cechy eutrofizacji [6]. W większości krajów Europy nie prowadzi się systematycznych badań ogółu kąpielisk, pozwalających na dokładne określenie częstości występowania zakwitów sinic, czasu trwania zakwitów, identyfikacji rodzajowej sinic będących powodem zakwitu i określenia ich toksyczności, rodzaju wykrytych toksyn sinicowych, wreszcie częstości zachorowań, do których dochodzi w następstwie ekspozycji. Opierając się na dostępnych danych z obszaru naszego kraju, a także innych państw sąsiadujących z Polską (Czechy, Niemcy), można przyjąć, że najczęstszą formą zakwitów sinic w Polsce jest rodzaj *Microcystis*, z nieco mniejszą częstością występuje *Anabaena* [7]. Spośród toksyn sinicowych największe znaczenie mają najbardziej rozpowszechnione, a zarazem silnie toksyczne mikrocystyny.

Tabela I. Częstość występowania masowych zakwitów sinic wytwarzających toksyny w wodach powierzchniowych wybranych krajów świata [6].

Table I. Frequencies of mass occurrences of toxic cyanobacteria in freshwaters.

Kraj	Liczba badanych próbek	Procent próbek toksycznych	Typ toksyny	Źródło informacji
Australia	231	42	Hepatotoxic Neurotoxic	Baker and Humpage, 1994
Australia	31	84	Neurotoxic	Negri et al., 1997
Brazylia	16	75	Hepatotoxic	Costa and Azevedo, 1994
Kanada (Alberta)	24	66	Hepatotoxic	Gorham, 1962
Kanada (Alberta)	39	95	Hepatotoxic	Kotak et al., 1993
Kanada (Alberta)	226	74	Hepatotoxic	Kotak et al., 1995
Kanada (Saskatchewan)	50	10	Hepatotoxic Neurotoxic	Hammer, 1968
Chiny	26	73	Hepatotoxic	Carmichael et al., 1988b
Republika Czeska i Słowacka	63	82	Hepatotoxic	Maršálek et al., 1996
Dania	296	82	Hepatotoxic Neurotoxic SDF	Henriksen et al., 1996b
Niemcy	533	72	Hepatotoxic	Fastner, 1998
Niemcy	393	22	Neurotoxic	Bumke-Vogt, 1998
Grecja	18	?	Hepatotoxic	Lanaras et al., 1989
Finlandia	215	44	Hepatotoxic Neurotoxic	Sivonen, 1990a
Francja (Brittany)	22	73	Hepatotoxic	Vezie et al., 1997
Węgry	50	66	Hepatotoxic	Törökné, 1991
Japonia	23	39	Hepatotoxic	Watanabe and Oishi, 1980
Holandia	10	90	Hepatotoxic	Leeuwangh et al., 1983
Norwegia	64	92	Hepatotoxic Neurotoxic SDF	Skulberg et al., 1994
Portugalia	30	60	Hepatotoxic	Vasconcelos, 1994
Szwecja	331	47	Hepatotoxic Neurotoxic	Willén and Mattsson, 1997
Wielka Brytania	50	48, 28	Hepatotoxic	Codd and Bell, 1996
USA (Minnesota)	92	53	Unspecified Neurotoxic	Olson, 1960
USA (Wisconsin)	102	25	Hepatotoxic Neurotoxic	Repavich et al., 1990
Średnio		59		

Zasady oceny zagrożenia dla zdrowia ludzi, wynikającego z zakwitów sinic w kąpieliskach

Przypadki zachorowań ludzi, do których dochodzi w następstwie kąpieli w zbiornikach wodnych z zakwitami sinic są przede wszystkim wynikiem oddziaływania toksyn sinicowych, spośród których w warunkach polskich największe znaczenie z uwagi na częstość występowania i silne działanie toksyczne mają mikrocyliny. Substancje te zawarte są

wewnątrz komórek sinic i uwalniane są dopiero po ich rozpadzie, stąd duże znaczenie ma ustalenie, przy jakiej gęstości komórek sinicowych w wodzie (ilość komórek w jednostce objętości wody) można oczekiwać efektów toksycznych. W ustaleniu tej zależności pomocne okazało się wspomniane poniżej badanie, przeprowadzone przez Pilotto [3]. Przeprowadzał on badania 852 ochotników w dniu, w którym korzystali oni z kąpielisk, w których występowały zakwitki sinic, zbierając dane na temat ich sta-

nu zdrowia i rodzaju rekreacji nad wodą. Ankieta przeprowadzona dwa dni po kąpielach nie wykazała zależności między częstością objawów chorobowych u użytkowników kąpielisk a ilością komórek sinic w jednostce objętości wody, ale różnicę taką stwierdzono w badaniu wykonanym 7 dnia po wizycie w kąpielisku. Wzrost częstości wszystkich badanych objawów i dolegliwości odnotowywano przy gęstości komórek sinicowych w wodzie kąpieliska w zakresie 5000–80.000 komórek/ml wody.

Powyższa analiza posłużyła ekspertom Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) do ustalenia wartości zalecanych. Uznali oni poziom 20.000 komórek/ml wody za graniczną wartość, przy której przekroczeniu użytkowników kąpieliska należy poinformować o możliwym ryzyku dla zdrowia, wynikającym z kąpeli w danym miejscu. [2]. Poziom 5000 komórek/ml wody pominięto jako nazbyt restrykcyjny, biorąc pod uwagę, że objawy występujące przy tym narażeniu miały bez wyjątku łagodny przebieg, a ponadto pojawiały się u nielicznych spośród narażonych osób.

Istotnym kryterium oceny ryzyka zdrowotnego jest ocena toksyczności mikrocytyny. Fawell w 1994 r. dokonał takiej oceny w przeprowadzonym 13-tygodniowym badaniu toksyczności doustnej u myszy. Przyjmując za podstawę oceny efektów toksycznych zmiany histopatologiczne w wątrobie oraz zmiany aktywności wybranych enzymów w surowicy stwierdził, że dawka dzienna 40 µg/kg m.c. nie powoduje negatywnych skutków zdrowotnych i odpowiada wartości NOAEL (*No Observed Adverse Effect Level*). Odnosząc powyższą wartość do organizmu człowieka, eksperci WHO zastosowali współczynnik niepewności wynoszący 1000, uzyskując w ten sposób wartość TDI (*tolerable daily intake*) równą 0,04 µg/kg m.c. Dawka ta oznacza ilość substancji, która może być spożywana codziennie przez całe życie bez uchwytnej szkody dla zdrowia. Przyjmując następnie przeciętną ilość spożywanej podczas kąpeli wody jako 100 ml dla osoby dorosłej, o masie ciała równej 60 kg i odpowiednio 250 ml w przypadku dziecka o masie ciała 15 kg uznano, że przy stężeniu mikrocytyny w wodzie wynoszącym 1 µg/l narażenie będzie praktycznie równe TDI u osoby dorosłej, będzie je natomiast dziesięciokrotnie przewyższać u dziecka. Należy także pamiętać o większym ryzyku w przypadku osób z chorobami wątroby. Biorąc pod uwagę bardzo ostrożne założenia, przyjęte przy określaniu TDI oraz specyfikę narażenia w warunkach rekreacji nad wodą, wartość zalecaną (odpowiadającą maksymalnej wartości dopuszczalnej stężenia mikrocytyny w wodzie) określono jako 20 µg/l.

Dla celów praktycznych istotne znaczenie ma ustalenie korelacji między gęstością komórek sinic

w wodzie a poziomem toksyn sinicowych w wodzie. Zależność ta nie ma jednoznacznego charakteru, co wynika z nagłych zmian stężenia toksyn w wyniku obumierania i rozpadu komórek sinicowych. W przypadkach takich obserwuje się spadek liczby komórek sinic w jednostce objętości wody przy jednoczesnym wzroście stężenia toksyn. Ogólnie biorąc, w przypadku gdy gęstość komórek sinic w wodzie kąpieliska wynosi 20.000 komórek/ml, można oczekiwać, że stężenie mikrocytyny w wodzie w razie jej uwolnienia z komórek będzie wahało się w granicach 2–4 µg/l. Jest to poziom niewiele wyższy od uznanego za dopuszczalny w wodzie przeznaczonej do spożycia (1 µg/l), który był określony przy założeniu, że nie będzie on wiązał się z jakimkolwiek zagrożeniem zdrowotnym mimo narażenia trwającego przez całe życie [2]. Można więc założyć, że w wodach wykorzystywanych do rekreacji, gdzie narażenie ludzi jest niewspółmiernie mniejsze, powyższe wartości tym bardziej nie będą stanowiły zagrożenia dla użytkowników kąpielisk. W miarę jednak zwiększania się gęstości komórek sinic w wodzie kąpieliska, można oczekiwać wzrastających wartości stężeń mikrocytyny w wodzie. Badania doświadczalne wskazują, że z chwilą gdy liczba komórek sinic w jednostce objętości wody wynosi 100.000/ml, co odpowiada zwykle stężeniu chlorofilu a wynoszącemu 50 µg/l maksymalne stężenia mikrocytyny w wodzie mogą osiągać poziom ok. 20 µg/l. Wartość ta 20-krotnie przewyższa maksymalny poziom dopuszczalny w wodzie przeznaczonej do spożycia i jest zbliżona do TDI, wyliczonego standardowo dla osoby dorosłej o masie ciała wynoszącej 60 kg, przy założeniu, że podczas kąpeli spożywa ona ok. 100 ml wody (zamiast 2 litrów dziennie, jak w przypadku wody przeznaczonej do spożycia). Stąd też nasilenie zakwitów sinic, przy którym ich zagęszczenie w wodzie osiąga poziom 100.000 komórek/ml należy uznać za poziom graniczny, wymagający wprowadzenia czasowego zakazu kąpeli.

System nadzoru nad występowaniem zakwitów sinic w kąpieliskach – monitoring, kontrola, ocena ryzyka

Dla zapewnienia właściwej ochrony zdrowia ludzi ważną rolę spełnia monitoring i kontrola zakwitów sinic w kąpieliskach. Podstawą nadzoru nad występowaniem zakwitów sinic i przeciwdziałania ich następstwom zdrowotnym jest systematyczna wzrokowa ocena wody w kąpielisku. Szczególnego nadzoru wymagają zwłaszcza kąpieliska, w których zakwitów sinic były stwierdzane w minionym sezonie kąpieliskowym i w latach wcześniejszych. Znajomość lokalnych warunków, panujących w akwenu i lokalizacja zakwitów sinic w latach ubiegłych może

mieć duży wpływ na wykrywanie zakwitów na wczesnym etapie ich formowania się.

Należy tu wyraźnie zaznaczyć, że z uwagi na znaczną zmienność nasilenia zakwitów sinic i warunków, które je modyfikują, wizualna ocena wody w kąpieliskach w celu wczesnego wykrycia tych mikroorganizmów powinna być przeprowadzana możliwie często. Obowiązujące obecnie przepisy prawne w Polsce (Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 16 października 2002 r. – Dz. U. Z 2002 r., Nr 187, poz. 1530) przewidują, że kontrola taka ma być dokonywana w trakcie trwania sezonu kąpieliskowego standardowo co dwa tygodnie, przy pobieraniu próbki wody do badań mikrobiologicznych oraz fizykochemicznych. W przypadku kąpielisk zlokalizowanych nad akwenami, które nie są zagrożone eutrofizacją, częstość taka jest wystarczająca, jednak dla obiektów, w których występuje takie zagrożenie, a w przeszłości odnotowywano zakwity sinic, może być to za mało, zwłaszcza w drugiej połowie sezonu, kiedy ryzyko zakwitów jest większe i kiedy kontrolę należałoby przeprowadzać co tydzień. Szczególnie starannej oceny wymagają kąpieliska najbardziej uczęszczane, które w ciągu doby odwiedza kilka lub kilkanaście tysięcy ludzi. Zbyt rzadka ocena i wykrywanie zakwitu sinic z opóźnieniem może sprawić, że środki zaradcze, mające zapewniać ochronę zdrowia ludzi, również będą spóźnione. W kontekście tych uwag pewien niepokój wzbudza zalecenia nowej dyrektywy 2006/7/WE, dotyczącej zarządzania jakością wody w kąpieliskach i uchylającej dyrektywę 75/160/EWG. Przewidują one ograniczenie ilości pobieranych w danym kąpielisku próbek wody do badań do 4 w ciągu sezonu, włączając w to próbkę pobraną przed sezonem. Ze względu na przeciętną długość trwania sezonu w Polsce (łącznie ok. 3–4 miesiące) oznacza to w praktyce wizyty próbkobiorcy na kąpielisku w odstępach czterotygodniowych. Jednocześnie z parametrów wymagających obligatoryjnej oceny wyłączono przejrzystość wody i pH, nie wspominając także wprost o oznaczaniu fosforanów w wodzie. W efekcie należy uznać, że dosłowne ograniczenie się do kontroli jakości wody w kąpieliskach w formie zalecanej przez wspomnianą dyrektywę, nie zapewni pełnej ochrony użytkowników kąpieliska przed zagrożeniem ze strony zakwitów sinic. Ze względu na specyfikę realizacji zadań ustawowych oraz dodatkowe koszty, wydaje się też nierealne, aby we wszystkich kąpieliskach, w których występuje znaczne ryzyko ich zakwitu, służby sanitarne przeprowadzały stale inspekcję z częstością dwukrotnie lub czterokrotnie większą niż wymagana przez regulacje prawne. W tej sytuacji za najprostsze rozwiązanie należy uznać ścisłą współpracę służb sanitarnych (państwowego terenowego inspektora sani-

tarnego) z administratorem kąpieliska lub jego przedstawicielem, przebywającym na kąpielisku codziennie. Dzięki temu, mogli by oni prowadzić częstą obserwację wody w kąpielisku, odnotowując ocenę co najmniej raz w tygodniu. Ważne jest również, aby w razie pojawienia się w wodzie smug lub kożucha, mogących świadczyć o zakwicie sinic, bezwzględnie o takim fakcie powiadamiali odpowiednie organy PIS.

Podstawowym elementem monitorowania zakwitów sinic jest wizualna ocena wody w kąpielisku. W razie stwierdzenia makroskopowo widocznych smug, gęstej piany lub kożucha, w szczególności obejmujących znaczny obszar kąpieliska, należy bezzwłocznie ostrzec użytkowników kąpieliska przed korzystaniem z kąpeli i wchodzeniem do wody. Zgodnie z zaleceniami WHO, każdy zakwit sinic należy traktować tak, jakby był spowodowany przez szczep wytwarzający toksyny [2]. Utworzenie przez szybko namnażające się sinice rozległych i wyraźnie widocznych skupień świadczy o znacznej gęstości, czyli dużej liczbie komórek sinic w jednostce objętości wody. Pośrednio wskazuje to na możliwość uwolnienia z nich znacznych ilości toksyn, co uzasadnia ostrzeżenie przed kąpielą i kontaktem z wodą w takim akwenu. Opisane wyżej zmiany świadczą o znacznym nasileniu zakwitu sinic. Z uwagi na możliwość szybkiego namnażania się tych mikroorganizmów należy dążyć do jak najwcześniejszego wykrycia zakwitu, aby szybko przeciwdziałać narażeniu ludności. W sytuacji, gdy powyższe zmiany w wodzie nie występują, należy poszukiwać zmiennej barwy wody oraz zwracać uwagę na jej zapach (geosmina), natomiast stałym elementem wzrokowej oceny wody w kąpielisku powinien być pomiar przezroczystości wody za pomocą dysku Secchiego. Test ten, prosty technicznie i tani, może być często powtarzany, dostarczając przy niewielkim nakładzie pracy stosunkowo dużo przydatnych informacji. W sytuacji, gdy przezroczystość wody jest mniejsza niż 1 m, osad z pobranej próbki wody należy poddać jakościowej ocenie mikroskopowej w celu weryfikacji przyczyny zmętnienia wody. Ocena ta ma wykazać, czy dominującym elementem w obrazie mikroskopowym są sinice, czy też inne organizmy, na przykład glony. Wystarczająca jest zatem identyfikacja sinic do szczebla rodzaju.

Niektóre ośrodki badawcze zalecają ponadto monitorowanie czynników, sprzyjających namnażaniu i gromadzeniu się sinic. Postępowanie takie może być przydatne w ustalaniu, które zbiorniki wodne są szczególnie zagrożone zakwitem sinic i z tego powodu wymagają wyjątkowo starannej kontroli. Parametrem o największym znaczeniu dla namnażania się sinic jest stężenie fosforu w wodzie. Ocenia się, że stężenie fosforu całkowitego przekraczające

20–40 µg/l świadczy o warunkach sprzyjających proliferacji tych mikroorganizmów. Dane dotyczące tego wskaźnika mogą być także wykorzystane przy planowaniu działań naprawczych, mających przeciwdziałać zakwitom i w ocenie ich skuteczności. Z uwagi na ograniczoną zmienność sezonową stężenia fosforu całkowitego nie wymaga on częstych oznaczeń i zwykle wystarczające jest jednorazowe badanie w sezonie. Inne parametry, w szczególności dane hydrologiczne, jak czas retencji, stratyfikacja termiczna, dostępność światła, wartość stężenia azotu rozpuszczonego (azot azotanowy i jon amonowy) mają znaczenie uzupełniające i mogą tłumaczyć przewagę określonego rodzaju lub gatunku wśród sinic występujących w danym akwenu.

Podstawą szacowania ryzyka zdrowotnego, związanego z występowaniem zakwitów sinic jest ocena ilościowa i jakościowa występowania sinic w kąpieliskach. Obecnie realizowana jest ocena wskaźników informujących o biomacie tych mikroorganizmów w akwenu. Ilościowa ocena występowania sinic zgodnie z zaleceniami WHO może być realizowana poprzez:

- określenie w badaniu mikroskopowym liczby komórek sinic, występujących w jednostce objętości wody,
- określenie stężenia chlorofilu-a w wodzie, po uprzedniej krótkiej jakościowej ocenie mikroskopowej, potwierdzającej przewagę występowania sinic w fitoplanktonie.

Oba badania mają kluczowe znaczenie dla oceny ekspozycji osób korzystających z kąpieliska. Ilościowa analiza toksyn sinicowych, mogących występować w wodzie kąpielisk, w warunkach polskich może dotyczyć praktycznie wyłącznie mikrocystyn z uwagi na częstość ich występowania i znaczące działanie hepatotoksyczne. Oznaczenie to można przeprowadzić, stosując metodę wysokosprawnej chromatografii cieczowej. Do badań można wykorzystać również biotesty inhibicji fosfataz białkowych oraz immunobiotest oparty na metodzie ELISA [5]. Wybór metody zależy od dostępności odpowiedniego sprzętu i od doświadczenia personelu. Oznaczenia z zastosowaniem biotestów preferowane są zwłaszcza w sytuacji, gdy potrzebne jest szybkie uzyskanie wyniku.

W ocenie ryzyka związanego z ekspozycją na zakwit sinic w zbiornikach wodnych wykorzystywanych do rekreacji badania specjalistyczne nie są niezbędne i mają raczej znaczenie uzupełniające. Znaczenie badania w wodzie stężeń produkowanych przez sinice toksyn i przydatność tego badania w ocenie zagrożeń zdrowia osób kąpiących się jest jednak dyskusyjne. W niektórych państwach europejskich przyjęto, że oznaczenia takie mogą być zasadne w sytuacji, gdy liczba komórek sinic w jedno-

ste objętości wody przekracza poziom graniczny niskiego ryzyka. Z punktu widzenia służb sanitarnych i działań mających na celu ochronę zdrowia użytkowników kąpielisk, identyfikacja i określenie stężenia toksyn sinicowych w wodzie w kąpieliskach jest mało przydatne i znajduje ograniczone zastosowanie. Powodem tego jest:

- duża liczba istniejących toksyn sinicowych, o zróżnicowanej strukturze chemicznej i toksyczności. Wiele z nich nie zostało dotychczas zidentyfikowanych. Ponadto szkodliwy wpływ sinic na zdrowie ludzi nie jest wynikiem wyłącznie oddziaływania cyjanotoksyn – mogą one być także powodem reakcji alergicznych. Dotyczy to przede wszystkim zmian skórnych i zmian na błonach śluzowych;
- toksyny wytwarzane przez sinice wymagają z reguły czasochłonnych, skomplikowanych i kosztownych metod oznaczania. Znajdują one zastosowanie w specjalistycznych badaniach naukowych, są jednak nieprzydatne dla rutynowego monitoringu jakości wody w kąpieliskach;
- toksyny zawarte są we wnętrzu komórek sinic, z których są uwalniane tylko w wyniku ich rozpadu. Stąd przyjęcie za podstawę szacowania ryzyka samego stężenia toksyn może prowadzić do mylnych wniosków i niedoceniań zagrożenia dla użytkowników kąpielisk;
- stężenie toksyn sinicowych w wodzie może ulegać szybkiej lub niekiedy nawet bardzo szybkiej zmianie zależnie od pogody, kierunku wiatru, rozpadu komórek sinic itd.;
- pojawienia się toksyn sinicowych w wodzie można oczekiwać tylko tam, gdzie aktualnie występują lub występowały sinice, stąd działania ukierunkowane na zarządzanie ryzykiem zapewniają wystarczającą ochronę, jeśli opierają się na analizie gęstości komórek sinic i wartości stężeń chlorofilu-a w wodzie.

Do zapewnienia skutecznej ochrony zdrowia ludzi niezbędna jest wizualna inspekcja wody w kąpielisku, z ewentualnym uwzględnieniem danych ekologicznych i hydrologicznych oraz ocena ilościowa i jakościowa występowania sinic. Znaczenie badania mikrocystyn (najczęściej występujących toksyn sinicowych) polega głównie na tym, że umożliwia ono uniknięcie nadmiernych restrykcji przy podejmowaniu decyzji o udostępnianiu kąpieliska użytkownikom.

Zapobieganie zakwitom sinic – działania długofalowe

Ważnym czynnikiem w ochronie zdrowia ludzi poza bieżącym monitoringiem jakości wody w kąpieliskach, jest ograniczanie wszelkimi możliwymi

metodami przyczyn powstawania zakwitów sinicowych. Działania zapobiegawcze w dłuższej perspektywie czasowej sprowadzają się do przeciwdziałania eutrofizacji zbiorników wodnych. Jest to jednak zadanie złożone o charakterze interdyscyplinarnym, angażujące nie tylko służby sanitarne, ale również instytucje z obszaru ochrony środowiska, rolnictwa czy gospodarki komunalnej. Wszystkie instytucje uczestniczące w tym procesie powinny być świadome istniejących zagrożeń i sygnalizować lokalnym władzom samorządowym i organom Inspekcji Ochrony Środowiska znaczenie problemu, wskazując akweny, w których zakwity sinic stwarzają szczególne zagrożenie dla osób kąpiących się i korzystających z rekreacji nad wodą. Tego typu obszary powinny być obiektem priorytetowych działań naprawczych.

Podstawowe znaczenie ma ograniczenie dopływu substancji odżywczych do wody, głównie fosforanów i azotanów, poprzez:

1. Rozbudowę systemów kanalizacji i oczyszczania ścieków, z uwzględnieniem posesji położonych w bezpośrednim sąsiedztwie zbiorników wodnych oraz miejscowości położonych nad ciekami wodnymi, zasilającymi zbiorniki wodne. Działania te są tym bardziej istotne, że mogą przyczynić się jednocześnie do zmniejszenia znaczącej poprawy jakości wód powierzchniowych pod względem mikrobiologicznym. Należy pamiętać, że w Polsce nadal zaledwie 58% ludności ma dostęp do sieci kanalizacyjnej, a na wsi odsetek ten jest jeszcze niższy i wynosi 35%.
2. Budowę płyt gnojowych oraz zbiorników na gnojówkę i gnojowicę w gospodarstwach, w których prowadzony jest chów zwierząt.
3. Rozważne stosowanie nawozów naturalnych i sztucznych, szczególnie w bezpośrednim sąsiedztwie zbiorników wodnych. Specjaliści Światowej Organizacji Zdrowia zalecają, aby wokół akwenów, w szczególności wykorzystywanych do celów rekreacyjnych tworzyć rodzaj stref ochronnych szerokości ok. 20 m, w których nie prowadzi się upraw rolnych i nie stosuje nawożenia, a w zamian sadi się krzewy, ograniczając w ten sposób erozję gleby i spływ wody deszczowej do zbiornika, zawierającej wypłukane z gleby substancje odżywcze.
4. Ograniczanie zawartości fosforanów w środkach piorących. Wyroby te zawierają znaczne ich ilości (5–15%).

Podsumowanie

Zagrożenia dla zdrowia ludzi wynikające z zakwitów sinicowych skłania nadzorujące służby sanitarne, do szczegółowej kontroli wodnych obiektów rekreacyjnych zwłaszcza w okresie sezonowym. Wczesne wykrycie potencjalnego zagrożenia pozwoli na

szybkie przeciwdziałanie narażeniu ludności i w konsekwencji uniknięcie ewentualnych następstw negatywnych skutków zdrowotnych. Podstawową sprawą jest objęcie szczegółowym nadzorem tych kąpielisk, w którym zakwity stwierdzono już wcześniej i prowadzenie tam badań z większą częstotliwością, zwłaszcza w drugiej połowie sezonu, kiedy ryzyko zakwitu jest potencjalnie największe.

Jednym z istotnych elementów ochrony zdrowia jest podejmowanie szeregu działań o charakterze prewencyjnym. Kluczem do sukcesu tych działań, poza samym ograniczaniem przyczyn powstawania zakwitów sinicowych, wydaje się być sukcesywne zwiększanie świadomości społeczeństwa m. in. poprzez edukację i zapewnienie dostępu do informacji w zakresie zagrożeń związanych z zakwitami sinic, ich rozpoznawania i postępowania w przypadku wykrycia. Skuteczność tych działań zależy w wielu przypadkach od poziomu wiedzy ludzi, możliwości jej weryfikacji dzięki dostarczeniu na czas wiarygodnych i rzetelnych informacji, sposobu prezentacji tych informacji, szczególnie w zakresie realnego zagrożenia zdrowotnego oraz aktywności i efektywności działań podejmowanych w celu jego obniżenia.

Wykaz piśmiennictwa

1. Chorus I., Bertram J. ed.: Toxic cyanobacteria in water. A guide to their public health consequences, monitoring and management. Published by E. & F. N. Spon on behalf of the World Health Organization, 1999,
2. Algae and cyanobacteria in fresh waters. In: Guidelines for safe recreational water environments. Vol. 1: Coastal and fresh waters, 136-158. World Health Organization, Genewa, 2003.
3. Pilotto L. S. et al.: Health effects of exposure to cyanobacteria (blue-green algae) due to recreational water related activities. Australian and New Zeland Journal of Public Health, 1997, 21: 562-6.
4. Dillenberg HO, Dehnel MK (1960): Toxic waterbloom in Saskatchewan, 1959. Canadian Medical Association Journal, 83:1151-1154.
5. Turner PC, Gammie AJ, Hollinrake K, Codd GA (1990): Pneumonia associated with cyanobacteria. British Medical Journal, 300: 1440-1441.
6. Sivonen K., Jones J.: Cyanobacterial toxins. In: Chorus I., Bertram J. ed.: Toxic cyanobacteria in water. A guide to their public health consequences, monitoring and management. Published by E. & F. N. Spon on behalf of the World Health Organization, 1999.
7. Tarczyńska M., Romanowska-Duda Z., Jurczak T., Zalewski M.: Toxic cyanobacteria blooms in a drinking water reservoirs – causes, consequences and management strategy. Water Science Technology, 2001, 1, 237-246

Adres do korespondencji:

*Agnieszka Stankiewicz
Zakład Higieny Komunalnej
Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego – PZH
ul. Chocimska 24
00-791 Warszawa
tel. 22 5421322, fax. 22 5421287
e-mail: astankiewicz@pzh.gov.pl*