

Teodora Małgorzata Traczewska

## Wpływ bioróżnorodności środowiska wodnego na właściwości organoleptyczne wody

Woda jako znakomity rozpuszczalnik dla większości substancji, nie występuje w przyrodzie w stanie czystym. W ujęciu przyrodniczym w pojęciu tym mieszczą się substancje nieorganiczne i organiczne, zarówno w formie rozpuszczonej, jak też w postaci koloidów i zawiesin oraz żywe organizmy przystosowane do życia w tym środowisku. Do powierzchniowych wód śródlądowych należą wody płynące i stojące, tworzące biotopy słodkowodne. Biotopy lotyczne (rzeki, potoki, strumienie) charakteryzują się mniej lub bardziej wyraźnym prądem wody i są zamieszkiwane przez stosunkowo nieliczne, ale bardzo charakterystyczne gatunki roślin i zwierząt (tzw. reofile), natomiast biotopy lenityczne (jeziora, stawy) charakteryzując się słabym i powolnym prądem wody i stanowią doskonałe środowisko życia dla większości roślin i zwierząt słodkowodnych.

W ekosystemach wód śródlądowych zróżnicowane warunki abiotyczne w zbiornikach naturalnych czy sztucznych stwarzają dużą różnorodność siedlisk, czego rezultatem jest wykształcenie zespołów organizmów charakterystycznych dla nich (tab. 1).

Tabela 1. Charakterystyka czynników biotycznych

Producenci (organizmy autotroficzne)		Konsumenci i reducenty (organizmy heterotroficzne)		Formy bezkomórkowe
chemo-autotrofy	foto-autotrofy	saprophyty	paszożyty	
bakterie	bakterie sinice glony rośliny naczyniowe	bakterie grzyby zwierzęta	bakterie grzyby pierwotniaki robaki płaskie oblenice inne paszożyty	wirusy priony

W biocenozie wodnej przepływ energii i krążenie materii odbywa się przy udziale organizmów należących do wszystkich poziomów organizacji biologicznej tworzących sieci troficzne. Bioróżnorodność i liczebność organizmów mają istotny wpływ na jakość ujmowanej wody. Czynniki te mogą także powodować zaburzenia w procesach oczyszczania wody, a także podczas jej transportu w sieci wodociągowej.

### Główne zespoły ekologiczne w wodach

♦ Plankton (bioseston) – zespół organizmów biernie unoszonych w toni wodnej, które nie są w stanie przeciwstawić się ruchom mas wody, jest zbiorem różnorodnym, w którym można wyróżnić cztery kategorie:

– Plankton wirusowy, który stanowią wirusy zawieszone w toni wodnej. Na przełomie lat 80. i 90. stwierdzono obecność bardzo wielu wirusów w różnych środowiskach słodkowodnych ( $10^8$  jtk w  $1\text{ cm}^3$ ).

– Bakterioplankton, który tworzą bakterie unoszone w toni wodnej. Liczebność bakterii w otwartej toni wodnej waha się w zakresie  $10^5$ – $10^7$  jtk w  $1\text{ cm}^3$  wody.

– Plankton roślinny (fitoplankton), na który składają się mikroskopijne glony i sinice unoszące się w toni wodnej. Zdecydowana większość organizmów to formy drobne o rozmiarach poniżej  $50\ \mu\text{m}$ , tworzące bardzo zróżnicowane zbiorowisko pod względem systematycznym. W wodach słodkich dominują sinice, złotowiciowce, okrzemki, kryptofity, bruzdnice i zielenice. Skład jakościowy i ilościowy planktonu roślinnego podlega bardzo szybkim i dużym wahaniom sezonowym. Znaczna różnorodność rozmiarów i kształtów pojedynczych komórek czy kolonii wynika z konieczności przeciwdziałania opadaniu, wiązaniu bardzo rozcieńczonych substancji pokarmowych i obrony przed glonożercami.

– Plankton zwierzęcy (zooplankton), który stanowią drobne organizmy zwierzęce występujące stale lub okresowo w planktonie. Zooplankton zbiorników słodkowodnych tworzą wrotki, wioślarki, widłonogi oraz plankton pierwotniakowy.

W odróżnieniu od planktonu jeziornego, wyróżnia się potamoplankton – charakterystyczny dla wód rzecznych. Jest on z reguły znacznie bardziej ubogi. Charakteryzuje się przewagą gatunków przypadkowych nad gatunkami typowo planktonowymi, ponadto przewagą planktonu roślinnego nad zwierzęcym oraz dominacją okrzemek nad innymi glonami i wrotków nad skorupiakami.

♦ Nekton – zwierzęta zamieszkujące otwartą toni wodną. W wodach śródlądowych są to głównie ryby.

♦ Peryfiton – zbiorem drobnych organizmów roślinnych i zwierzęcych osiedlających się na powierzchni zanurzonych przedmiotów, a także na podwodnych roślinach oraz na zanurzonych łodygach i liściach makrofitów. Peryfiton ma charakter złożony. Jego głównymi składnikami są glony (w tym osiadłe okrzemki i glony nitkowate) i bakterie oraz szereg osiadłych pierwotniaków, nicieni, skąposzczetów, a nawet skorupiaków i wodopójek.

♦ Bentos – ogół organizmów zamieszkujących dno zbiorników wodnych lub porastających twarde podłoża. Do bentosu zalicza się tylko organizmy osiadłe lub poruszające się po dnie. Wśród przedstawicieli bentosu spotyka się przedstawicieli wszystkich typów zwierząt, występują też liczne organizmy prokariotyczne, grzyby, glony jednokomórkowe i glony plechowe oraz rośliny naczyniowe, a więc fito- i zoobentos.

♦ Neuston – zespół drobnych wyspecjalizowanych organizmów związanych z błoną powierzchniową wody i utrzymujących się w tym środowisku dzięki jej napięciu powierzchniowemu. Wyróżnia się w nim epineuston, obejmujący organizmy żyjące na powierzchni wody oraz hiponeuston, do którego należą organizmy związane z błoną powierzchniową, ale od strony masy wodnej. W skład typowego neuston, zwanego euneustonem, wchodzi bakterie, grzyby (głównie glonowce i workowce), okrzemki, zielenice, bezbarwne wiciowce, orzęski, wrotki, skorupiaki i owady.

♦ Pleuston – zgrupowanie organizmów mających przystosowania do unoszenia się na powierzchni wody. Tworzą go prawie wyłącznie rośliny wyższe, takie jak rzęsa wodna, salwinia czy hiacynt wodny.

♦ Makrofity – rośliny wodne ukorzenione, rosnące w strefie przybrzeżnej jezior i wolno płynących rzek, wynurzone lub pozostające całe pod wodą. Należą do nich rośliny naczyniowe, ramienice i mszaki. Stanowią podłoże dla peryfitonu.

♦ Psammon – zbiorowisko organizmów zamieszkujących wilgotne i okresowo zalewane plaże oraz przybrzeżne piaski. Tworzą go organizmy o różnej przynależności systematycznej, które wykształciły liczne morfologiczne i fizjologiczne przystosowania do życia w niewielkich, wypełnionych wodą przestrzeniach między ziarenkami piasku. Jego typowymi przedstawicielami są drobne organizmy takie jak, niektóre orzęski, korzenionózki, wrotki, wirki, skąposzczety, nicienie, larwy niektórych owadów (ważek) i kielże.

Zakres zmian zawartości naturalnych substancji organicznych w wodzie zależy od składu gatunkowego występujących w niej organizmów oraz ich liczebności, a te z kolei wynikają z warunków środowiskowych panujących w wodzie, które są m.in. zależne od pory roku, rodzaju zbiornika i jego zlewni, zakresu oddziaływań antropopresyjnych itp.

Dzięki doskonałym zdolnościom wody, jako rozpuszczalnika, większość substancji organicznych wydalanych przez organizmy, uwalnianych w rezultacie autolizy, produktów mikrobiologicznych przemian oraz metabolitów wtórnych lub pośrednich, znajduje się w roztworze. Dlatego też organizmy występujące w wodach w bardzo istotny sposób wpływają na jakość wody ujmowanej do celów wodociągowych i skuteczność procesów jej oczyszczania, w skrajnych przypadkach czyniąc wodę niezdatną do spożycia. Przyczynami niezdatności wody do spożycia są – obok jakości sanitarnej – zmieniony smak i zapach wody oraz obecność substancji toksycznych. Nieliczne informacje dotyczą lotnych związków aromatycznych, które już w nieznacznej ilości zmieniają smak i zapach wody. Należy nadmienić, iż wiele z tych mikrozanieczyszczeń – bezpośrednio lub po wstępnym utlenieniu – stanowi grupę prekursorów THM.

### Pochodzenie związków organicznych naturalnie obecnych w wodzie

Z punktu widzenia walorów użytkowych wody do naturalnych czynników decydujących o jej jakości zaliczana jest obecność i rozwój mikroorganizmów, ponieważ mikrozanieczyszczenia organiczne pochodzenia naturalnego stanowią szczególną, nie do końca zidentyfikowaną, grupę związków o bardzo zróżnicowanej strukturze chemicznej. Zawartość rozpuszczonych substancji organicznych w wodzie jest kilkakrotnie większa od ilości związków organicznych budujących zasiedlającą ją organizmy i zależy od przebiegu uwarunkowanych

genetycznie procesów metabolicznych. Waha się ona w zależności od stopnia zeutrofizowania zbiornika od  $n$  do  $100n \text{ g/m}^3$ . Obecność substancji organicznych w wodzie jest skutkiem:

- wydalania przez rośliny i bakterie podczas fotosyntezy i chemosyntezy (bakterie) (do 90% węgla związanego w tych procesach),
- wydalania produktów przemian metabolicznych organizmów heterotroficznych,
- uwalniania w wyniku autolizy komórek,
- uwalniania związków organicznych przez zwierzęta bezkręgowce,
- rozkładu obumarłych organizmów roślinnych i zwierzęcych przez bakterie i grzyby.

Do najważniejszych grup naturalnych związków organicznych spotykanych w wodach powierzchniowych należą (tab. 2):

- węglowodany (celuloza, skrobia, hemiceluloza itp.),
- białka, peptydy i aminokwasy,
- lipidy (tłuszcze, woski, oleje),
- kwasy organiczne i kwasy nukleinowe,
- porfiryny i pigmenty roślinne (chlorofil, hemina, karoteny, ksantofile),
- substancje kompleksujące, powstałe z pośrednich produktów rozkładu,
- produkty specyficznych przemian metabolicznych (sterole, terpeny, toksyny, antybiotyki, egzopolisacharydy, hormony),
- pośrednie i końcowe produkty rozkładu ww. związków.

Obok produktów metabolizmu podstawowego, w rezultacie metabolizmu specyficznego powstają metabolity specjalne, tzw. idiolity. Są to produkty o drugorzędnej lub nie znanej roli fizjologicznej, których biosynteza zależy od przemian metabolizmu centralnego i szlaku specyficznego. Należą do nich: związki niskocząsteczkowe (antybiotyki), polimery wielkocząsteczkowe (dekstrany), hormony płciowe bakterii i grzybów, czynniki morfogenetyczne (*Streptomyces*), siderofory, substancje ochronne i ofensywne, substancje polifenolowe u grzybów i bakterii oraz toksyny i biostatyki wytwarzane przez różne drobnoustroje. Wpływają one na wiele cech jakości wody w tym na: zapach, barwę, pH, zawartość materii organicznej i stężenie toksycznych związków organicznych, zawiesin, zawartości rozpuszczonego tlenu i dwutlenku węgla.

Tabela 2. Związki organiczne pochodzenia naturalnego w wodach śródlądowych [9, zmienione]

Związek organiczny	Zawartość naturalnych związków organicznych $\text{mg/m}^3$		
	rzeki	zbiorniki zaporowe	jeziora
Wolne aminokwasy	2+30	3+53	bd.
Aminokwasy związane	20+370	20+460	bd.
Aminy	4+90	3+24	3+15
Mocznik	30+150	40+250	30+70
Wolne cukry red.	75+1900	40+900	80+1600
Cukry związane	220+1000	80+1200	140+1900
Estry	10+200	4+120	2+110
Kwasy humusowe	20+4450	20+1400	20+8000

W wodach naturalnych zidentyfikowano 2211 związków organicznych, z tego 765 w wodach przeznaczonych do picia. Obecnie znane metody analityczne pozwalają na identyfikację ok. 20% ogólnej liczby związków organicznych występujących w wodach, głównie związków sztucznie syntetyzowanych [5].

### Organoleptyczna ocena jakości wody

Zdolność do odbierania informacji o obecności w środowisku (wodzie, powietrzu) niektórych związków chemicznych określa się mianem zmysłu chemicznego. U człowieka i zwierząt wyższych występują wyspecjalizowane w tym celu grupy komórek zmysłowych, chemoreceptorów, tworzące zmysł smaku oraz zmysł węchu. Wrażenia smakowe i zapachowe rejestrowane przez nasz układ nerwowy związane są z obecnością w wodzie licznych związków chemicznych, głównie organicznych, a zatem dostarczają informacji o jej jakości. Wrażenia smakowe czy zapachowe mogą podlegać percepcji jako zjawiska negatywne, ostrzegające przed konsekwencjami zdrowotnymi np. w przypadku wody do picia, albo pozytywne, zwłaszcza w przypadku smaku pokarmów, zapachu kwiatów itp.

Chemoreceptory smakowe wrażliwe są na substancje rozpuszczone w wodzie i reagują przy zetknięciu z daną substancją chemiczną. Niektórym glonom przypisuje się powodowanie słodkiego, gorzkiego i kwaśnego smaku wody. Chemoreceptory węchowe wrażliwe są na związki rozproszone w powietrzu lub rozpuszczone w wodzie, których źródło wydzielania jest od nich oddalone. Najwięcej uwagi poświęca się rodzajowi zapachu nadawanego wodzie przez organizmy w niej występujące. Jego intensywność zależy od gatunku organizmu, od współwystępowania różnych gatunków często należących do różnych grup systematycznych, czy też dodatkowego zanieczyszczenia pochodzenia antropogenicznego. Wyróżnia się zapachy aromatyczne, trawiaste, muliste, rybne i rybno-tranowe oraz inne, trudne do określenia, pojawiające się po przekroczeniu tzw. zawartości krytycznej komórek lub kolonii organizmów w 1 cm<sup>3</sup> wody, bowiem zapach zmienia się w zależności m.in. od liczby komórek glonów w 1 cm<sup>3</sup> wody (tab. 3).

Tabela 3. Zapach wody w zależności od liczebności organizmów wodnych

Organizm	Liczebność org./cm <sup>3</sup>	Zapach wody
Sinice	500+1000 >1000 kilka tysięcy	trawiasty podobny do zapachu nasturcji, mulisty, bardzo ostry, gnilny
Okrzemki	500+1000 >1000 kilka tysięcy	słabo aromatyczny podobny do zapachu bodziszka, psujących się ryb
Złotowiciowce ( <i>Uroglena</i> )	500+1000 >1000	słabo rybny, tranowo-rybny

Za wrażenia zapachowe, związane z występowaniem w wodzie licznych organizmów, odpowiedzialne są przede wszystkim glony. Produkują one różnorodne potencjalnie zapachowe metabolity, z których około 200 zostało zidentyfikowanych [10]. Zapach trawiasty związany jest przede wszystkim z występowaniem sinic (*Cyanobacteria*) oraz niektórych zielenic (*Chlorophyta*), natomiast za zapach rybny odpowiedzialne są organizmy należące do różnych jednostek taksonomicznych. Za zmieniony zapach wody odpowiedzialne są również grzyby wodne, makrofitry, drobne (zooplankton) i większe zwierzęta wodne (makrobentos i ryby) (tab. 4).

Liczne związki organiczne, wydzielane do wody przez wiele gatunków mikroorganizmów, powstają z reguły jako metabolity wtórne. Związki te, produkowane przez glony prokariotyczne i eukariotyczne, są źródłem związków biologicznie czynnych [1]. Niektóre z nich są toksyczne dla ludzi, podczas gdy w różnorodny sposób oddziałują na inne organizmy. Toksyny są rozpuszczalne w wodzie, nie są lotne, a więc nie mają zapachu, stąd są niewyczuwalne organoleptycznie przez konsumentów [2]. Z kolei w większości lotne metabolity glonów zmieniają jakość estetyczną wody (smak i zapach), lecz wpływ tych substancji na zdrowie ludzi nie jest znany. Znana jest natomiast aktywność niektórych z nich w biocenozie wodnej, zwłaszcza w regulacji produktywności ekosystemu. Szeroko rozpowszechnione w planktonie terpeny stymulują formowanie biofilmu. Z kolei nienasycone kwasy tłuszczowe i ich pochodne wykazują aktywność biologiczną, w zależności od przebiegu i koordynacji lizy komórek oraz peroksydacji nasyconych kwasów tłuszczowych. Niewiele wiadomo na temat ekologicznej roli biogenicznych pochodnych siarkowych, jednakże przypuszczalnie pełnią one rolę związków allelopatycznych (tab. 5).

Szereg związków uwalnianych jest z komórek na skutek ich mechanicznego rozerwania, obumarcia i lizy oraz wysuszenia. W biocenozie wodnej, w rezultacie metabiozy, wydzielane do wody związki organiczne mogą podlegać przemianom mikrobiologicznym, których konsekwencją może być zmiana ich cech organoleptycznych. Szybkość tych przemian zależna jest przede wszystkim od rodzaju związków. Geosmina ulega przemianom przez *Bacillus cereus*, *B. subtilis*, *B. megaterium*, a czas jej połowicznego rozkładu w środowisku wodnym wynosi 2 doby. 2-metylo-izoborenel (MIB) biodegradowany jest przez bakterie z rodzaju *Pseudomonas* i *Flavobacterium* oraz drożdże *Candida*, czego rezultatem jest likwidacja przykrego zapachu wody. W rezultacie działania mikroorganizmów aldehydy alifatyczne i oktanal oraz grupy ketonowe mentonu i acetonu genarylu ulegają redukcji do odpowiednich alkoholi, czego wynikiem jest pojawienie się zapachu lub zmiana zapachu z przyjemnego na bardzo niemiły.

W wyniku przemian enzymatycznych związków organicznych przy udziale oksygenazy i lipooksygenaz, uaktywnionych po wydośnianiu się na zewnątrz treści komórkowej sinic i glonów, powstaje wiele substancji zapachowych. Głównie są to związki o niskiej masie cząsteczkowej powstające w rezultacie przemian kwasów tłuszczowych i karotenoidów. Niejednokrotnie powstają one w wysokich stężeniach. Dla przykładu,  $\beta$ -cyklocitral o zapachu dymu tytoniowego, powstaje w wyniku przemiany enzymatycznej karotenu przez oksydazę  $\beta$ -karotenową występującą u *Microcystis sp.* Z kolei w rezultacie działania lipooksygenaz, pochodzących z sinic i innych glonów, produktami przemian są związki o charakterze ketonów, aldehydów czy alkoholi o bardzo nieprzyjemnym zapachu, których przykładami są [8] 2t,4c- oraz 2t,4t-heptadienal, octa-1,5-dien-3-ol (*Anabaena osillarioides*), pent-1-en-3-ol, 2c- oraz 2t-pentanal (*Anabaena cylindrica*), 2t,6c-nonadienal (*Synura petersenii*), 2t,4c oraz 2t,4t-heptadienal (*Uroglena americana*), 2t,4c-heptadienal; 2t,4c-oktadienal, 2t,4c-dekadienal (*Fragillaria sp.*), 2t,4c-heptadienal, 2t,4c-oktadienal; 2,4,7-dekatrienal (*Melosira varians*), 1,3-oktadien; 1,3t,5c-oktatrien (*Asterionella formosa*), ektokarpen, diktiopteren A, diktiopteren C (*Gomphonema sp.*).

Podczas ujmowania wód powierzchniowych do celów wodociagowych lub też wykorzystywania zbiorników wodnych do celów rekreacyjnych lub hodowlanych, podstawowym

Tabela 4. Organizmy nadające wodzie zapach

Organizm	Zapach	Zawartość krytyczna org./cm <sup>3</sup>
grupa zapachów aromatycznych		
<i>Cryptomonas sp. (Cryptophyceae)</i>	intensywnie fiołkowy	1200
<i>Mallomonas sp. (Chrysophyceae)</i>	nieokreślony, fiołkowy lub rybny	450
<i>Asterionella sp. (Bacillariophyceae)</i>	nieokreślony, bodziszkowy, rybny	3000
<i>Cyclotella sp. (Bacillariophyceae)</i>	słaby	2200
<i>Diatoma sp. (Bacillariophyceae)</i>	słaby	bd.
<i>Meridion sp. (Bacillariophyceae)</i>	nieokreślony	bd.
<i>Tabellaria sp. (Bacillariophyceae)</i>	nieokreślony, bodziszkowy, rybny	750
<i>Synedra sp. (Bacillariophyceae)</i>	ziemisty	3000
grupa zapachów trawiastych		
<i>Anabaena sp. (Cyanobacteria)</i>	trawiasty, pleśni, nasturcji	5300 (200 kol./cm <sup>3</sup> )
<i>Aphanizomenon sp. (Cyanobacteria)</i>	trawiasty, nasturcji	6600 (200 kol./cm <sup>3</sup> )
<i>Coelosphaerium sp. (Cyanobacteria)</i>	słodkawy, trawiasty	bd.
<i>Cylindrospemum sp. (Cyanobacteria)</i>	trawiasty	bd.
<i>Microcystis sp. (Cyanobacteria)</i>	słodkawy, trawiasty	35000
<i>Rivularia sp. (Cyanobacteria)</i>	trawiasty, pleśni	bd.
<i>Osillatoria sp. (Cyanobacteria)</i>	trawiasty, pleśni	5300 (3000 kol./cm <sup>3</sup> )
<i>Dictyosphaerium sp. (Chlorophyceae)</i>	trawiasty, pleśni, nasturcji	bd.
grupa zapachów rybnych		
<i>Ceratium sp. (Dinophyceae)</i>	nieprzyjemny	200
<i>Glenodinium sp. (Dinophyceae)</i>	rybny	bd.
<i>Peridinium sp. (Dinophyceae)</i>	rybny	bd.
<i>Dinobryon sp. (Chrysophyceae)</i>	rybny	3000
<i>Mallomonas sp. (Chrysophyceae)</i>	rybny	450
<i>Synura sp. (Chrysophyceae)</i>	ogórków kiszonych	10
<i>Uroglenopsis sp. (Chrysophyceae)</i>	rybny, tranu	bd.
<i>Asterionella sp. (Bacillariophyceae)</i>	rybny	bd.
<i>Tabellaria sp. (Bacillariophyceae)</i>	rybny	bd.
<i>Dictyosphaerium sp. (Chlorophyceae)</i>	rybny po chlorowaniu	bd.
<i>Eudorina sp. (Chlorophyceae)</i>	słabo rybny	80
<i>Pandorina sp. (Chlorophyceae)</i>	słabo rybny	200
<i>Volvox sp. (Chlorophyceae)</i>	rybny	bd.

problemem są zakwity glonów toksynotwórczych (tab. 6). Wiele biotycznych i abiotycznych czynników przyczynia się do powstawania zakwitów sinic. Do najważniejszych należy czas retencji, który określa temperaturę wody i stabilność słupa wody oraz zawartość substancji biogennych. Masowe zakwity sinic pojawiają się w bardzo zaawansowanych stadiach eutrofizacji [11]. Toksyny sinicowe, produkowane jako metabolity wtórne, należą do trzech grup związków chemicznych, tj. cyklicznych peptydów, alkaloidów i lipopolisacharydów. Stanowią one szeroką grupę związków organicznych, często jeszcze nie zidentyfikowanych. Obecnie znanych jest około 70 rodzajów samej tylko mikrocyctyny [7]. Toksyny sinicowe charakteryzują się działaniem hepatotoksycznym, neurotoksycznym, dermatotoksycznym, cytotoxycznym i alergicznym [3]. Zdolność do produkcji toksyn jest cechą specyficzną rodzaju, gatunku lub szczepu, stąd wnioskowanie o zagrożeniu

toksycznym ze strony zakwitu sinicowego jedynie na podstawie obserwacji mikroskopowej może być błędne. Wiadomo, że 50÷70% zakwitów sinicowych jest toksycznych i genotoksycznych, i że hepatotoksyny, szczególnie mikrocyctyny, występują częściej niż neurotoksyny [4,6].

Za wrażenia zapachowe związane z występowaniem w wodzie licznych organizmów, odpowiedzialne są przede wszystkim glony silnie toksyczne. Przykładem może być saksitoksyna oraz pokrewna jej grupa związków zwanych gonyautoksynami, należącymi do neurotoksyn. Związki te produkowane są przez sinice *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena ciecinalis*, *Longbya wollei*, *Oscillatoria morigeotii* oraz niektóre bruzdnice (*Dinophyceae*), np. z rodzaju *Gonyaulax*, *Gymnodinium*, *Peridinium*. Wiele toksyn strukturalnie pokrewnych saksitoksynie, np. neosaksitoksyna i gonyautoksyna, zostało wyizolowanych również z innych gatunków bruzdnic.

Tabela 5. Związki organiczne odpowiedzialne za smak i zapach wody

Nazwa	Wzór chemiczny	Organizm	Zapach
terpeny i pochodne			
1,10-Dimetylo-9-dekalol (geosmina) najwyższa zawartość: 1050÷4000 ng/dm <sup>3</sup>	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O	promieniowce: <i>Streptomyces</i> , <i>Mirobispora</i> , <i>Micromonospora</i> , <i>Nocardia</i> sinice: <i>Aphanizomenon</i> , <i>Microcoleus</i> , <i>Phormidium</i> , <i>Schizothrix</i> , <i>Symploca</i> , <i>Hyella</i> oraz <i>Fischerella muscicola</i> , <i>Anabaena viguieri</i> , <i>A. macrospora</i> , <i>A. circinalis</i> , <i>Oscillatoria brevis</i> grzyby: <i>Basidiobolus ranarum</i> ( <i>Zygomycetes</i> )	ziemisty próg zapachu: 10÷20 ng/dm <sup>3</sup>
2-Metylo-izoborenoł (MIB) najwyższa zawartość: 78, 860, 870 ng/dm <sup>3</sup>	C <sub>11</sub> H <sub>20</sub> O	promieniowce: <i>Streptomyces</i> , <i>Microbispora</i> , <i>Micromonospora</i> , <i>Nocardia</i> Sinice: <i>Oscillatoria cortiana</i> , <i>O. geminata</i> , <i>O. limnetica</i> , <i>O. limosa</i> , <i>O. raciborski</i> , <i>O. tenuis</i> , <i>Lyngbya sp.</i>	pleśniowy próg zapachu: 5÷10 ng/dm <sup>3</sup>
Kadin-4-en-1-ol	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	<i>Streptomyces odorifer</i>	ziemisty
Selina-4(14),7(11)-dieno-9-ol	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	<i>Streptomyces fradiae</i>	zbutwiałego drewna
Germakren-D pokrewny – γ-kadinen	C <sub>15</sub> H <sub>30</sub> C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	promieniowce, <i>Oscillatoria splendida</i> , <i>O. amoena</i> , <i>Anabaena macrospora</i> , <i>O. splendida</i>	trawiasty próg zapachu: 5 g/dm <sup>3</sup> aromatyczny
Furfural	C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	<i>Streptomyces filipiensis</i>	otrąb
Trans-2-cis-6-nonadienal	–	<i>Synura uvella</i>	ogórkowy
Geraniol i nerol	–	<i>Synechococcus sp.</i>	aromatyczny
Limonene	–	<i>Chlorella sorokiniana</i> , <i>Ch. homosphaera</i>	–
1,8-Cineol	–	<i>Chlorella sorokiniana</i>	–
Myrcen	–	<i>Chlorella homosphaera</i>	–
3-Metylbut-2-en-1-ol	–	<i>Anabaena cylindrica</i> , <i>Synechococcus sp.</i>	–
kwasy tłuszczowe, aminy izoamylowe i izobutyłowe			
–	–	promieniowce: <i>Streptomyces</i> , <i>Micromonospora</i>	rybny, trawiasty, siana
organiczne połączenia siarki, alkohole, estry			
Dwusiarczek dwumetylu, trójsiarczek dwumetylu, czterosiarczek dwumetylu	CH <sub>3</sub> SSCH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub> SSSCH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub> SSSSCH <sub>3</sub>	<i>Microcistis sp.</i> , <i>Anabaena cylindrica</i> , niektóre złotowiciowce	cebulowo- czosnkowy próg zapachu: 10 ng/dm <sup>3</sup> bagienny, gotowanych warzyw
Octan tiometylowy, propionan tiometylowy tiometylek kwasu walerianowego	–	złotowiciowce: <i>Poteroochromonas sp.</i> , <i>Ochromonas sp.</i> , <i>Synura petrsenii</i>	–
Ester metylowy kwasu propionowego, ester metylowy kwasu izowalerianowego	–	złotowiciowce: <i>Poteroochromonas sp.</i> , <i>Ochromonas sp.</i> , <i>Synura petrsenii</i>	–
Alkohol izoamylowy	–	<i>Microcistis aeruginosa</i> złotowiciowce: <i>Poteroochromonas sp.</i> , <i>Ochromonas sp.</i> , <i>Synura petrsenii</i>	oleju fuzłowego
6-Pentyl-α-pyron	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	pleśń: <i>Trichoderma viride</i>	leśnej gleby
–	–	grzyby: <i>Rhodospora</i> , <i>Geotrichum</i> , <i>Penicillium</i>	stęchły apteczny pokrzywy
4-Metyltio-1,2-ditiolan, 5-metyltio-1,2,3-tritian	–	<i>Chara globularis</i> ( <i>Chorophyta</i> )	ostry, roślinny
–	–	<i>Daphnia sp.</i> , <i>Cyclops sp.</i> , <i>Keratella sp.</i>	rybny
Jod w sponginie	–	gąbki słodkowodne	jodyny
–	–	ryby: <i>Osmerus eperlanus</i>	ogórków

Tabela 6. Sinice toksynotwórcze i ich toksyny [12]

Klasa toksyn	Rodzaj <i>Cyanobacteria</i>
Hepatotoksyny: mikrocystyny nodularina cylindrospermopsina	<i>Microcystis</i> , <i>Anabaena</i> , <i>Planktoniopsis</i> ( <i>Oscillatoria</i> ), <i>Nostoc</i> , <i>Anabaenopsis</i> <i>Nodularia</i> <i>Cylindrospermopsis</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Umezakia</i>
Neurotoksyny: anatoksyna-a anatoksyna-a(s) saksitoksyna	<i>Anabaena</i> , <i>Planktoniopsis</i> ( <i>Oscillatoria</i> ), <i>Cylindrospermopsis</i> , <i>Aphanizomenon</i> <i>Anabaena</i> <i>Anabaena</i> , <i>Cylindrospermopsis</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Lyngbya</i>
Dermatotoksyny: lyngbyatoksyna-a aplysiatoksyna	<i>Lyngbya</i> <i>Planktoniopsis</i> ( <i>Oscillatoria</i> ), <i>Lyngbya</i> , <i>Schizothrix</i>
Lipopolisacharydy	różne rodzaje sinic

## Podsumowanie

Woda powierzchniowa, jako element biosfery, jest miejscem przebywania różnorodnych organizmów. Ich bogactwo jest gwarantem obiegu materii i przepływu energii oraz utrzymania równowagi homeostatycznej ekosystemu. Przejawy życia biocenozy wodnej skutkują różnorodnością naturalnych związków chemicznych występujących w wodzie w postaci roztworów, koloidów, zawiesin itp., które między innymi odpowiedzialne są za jej cechy organoleptyczne. Pod pojęciem smaku i zapachu wody kryje się niezwykle zróżnicowana gama związków chemicznych, często niebezpiecznych dla zdrowia i życia ludzi i zwierząt. Zarówno z przyczyn ekonomicznych, jak i analitycznych, identyfikacja, oznaczanie i kontrola tak szerokiej gamy związków chemicznych występujących w wodach powierzchniowych nie są możliwe. Dlatego też tak niewymierny parametr, jak zmieniony smak czy zapach wody, nie może być lekceważony, bowiem może doprowadzić bardzo realnego niebezpieczeństwa.

## LITERATURA

1. R. CANNELL: Algae as a source of biologically active products. *Pesticide Science*, 1993, 39, pp. 147–153.
2. W. CARMICHAEL: The cyanotoxins. *Advances in Botanical Research*, 1997, 27, pp. 211–240.
3. M. A. CRAYTON: Toxic Cyanobacteria Blooms. A field/laboratory guide. Office of Environmental Health Assessments Washington, Department of Health, Olympia, Washington 2004.
4. K. DEMKOWICZ-DOBRAŃSKI, A. BONISŁAWSKA, J. MANKIEWICZ, G. NAŁĘCZ-JAWECKI, M. TARCZYŃSKA, J. SWICKI: Genotoxicity and toxicity of cyanobacteria from reservoirs surface water determined in the SOS Chromotest. *Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”*, PZITS, Kraków 2000.
5. J. R. DOJLIDO: *Chemia wód powierzchniowych*. Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok 1995.
6. A. JODŁOWSKI: Uwalnianie i biodegradacja mikrocysty w środowisku wodnym. Mikrozanieczyszczenia w środowisku człowieka, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2003.
7. G. NAŁĘCZ-JAWECKI, J. SAWICKI, M. TARCZYŃSKA: Occurrence of microcystins in drinking water reservoirs in central Poland. *Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”*, PZITS, Kraków 2000, ss. 133–136.
8. J. NAWROCKI, S. BIŁOZOR: *Uzdatnianie wody. Procesy chemiczne i biologiczne*. PWN Warszawa–Poznań 2000.
9. J. PALUCH: *Mikrobiologia wód*. PWN, Warszawa 1973.
10. Rednova News: Cyanobacterial and eukaryotic algal odor compounds: Signals or by-products review of their biological activity. *Phycology*, 2003, 42(4), pp. 332–350.
11. M. TARCZYŃSKA, Z. ROMANOWSKA-DUDA, M. ZALEWSKI: Toxic cyanobacteria blooms in drinking water reservoir – causes, consequences and management strategy. *Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”*, PZITS, Kraków 2000.
12. N. TANDEAU DE MARSAC: Toxic cyanobacteria in water: consequences on health, preventive and remedial measures. *Conf. Proc. "Water, Microbes and Health"*, Paris 2000.

## Traczewska, T. M. Effect of Biodiversity on the Organoleptic Properties of Water. *Ochrona Środowiska* 2005, Vol. 27, No. 4, pp. 13–18.

**Abstract:** Organoleptic assessments of water quality include taste, smell and color. Being very difficult to measure, these parameters are often neglected. Sensory perception, however, is influenced by a variety of polluting species that form during the life processes of aquatic biocoenosis. The diversity and number of particular biocoenosis components, along with the abiotic conditions, produce a wide spectrum of organic compounds (over 2200) differing in chemical structure and toxicity. The low content, as well as the remarkable diversity, of these substances raises serious analytical problems (analytical procedures being available for the determination of approximately 20% water micropollutants). Continuing eutrophication of natural waters, together with the construction and operation of unbalanced

man-made lakes, creates considerable technological problems when used for municipal supply. Apart from an unpleasant taste or smell, the numerous populations of microorganisms, e.g. blue-green algae, produce (as a result of metabolic processes) a variety of stable, toxic substances, which are still far from being well recognized and whose toxicity is comparable with that of a cobra and many times as high as that of potassium cyanide. In water, they may appear following cell lysis or biomass kill as a result of technological processes (prechlorination, etc.). Natural organic micropollutants persisting in the water are trihalomethane precursors originating from chlorine disinfection. It has been demonstrated that the notions 'taste' and 'smell' include a wide spectrum of diverse chemical compounds, often with implications for human health and life.

**Keywords:** Surface water, organic substances, biodiversity, microorganisms, organoleptic properties, taste, smell, color.