

## Czy bioaerozole mogą być niebezpieczne dla człowieka?

**Klaudia Baran**

*Uniwersytet Gdański Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii  
padzia.klaudia@interia.pl*

**Tutor: dr hab. Anita Lewandowska, profesor Uniwersytetu Gdańskiego**

*Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii,  
Zakład Chemii Morza i Ochrony Środowiska Morskiego*

**Słowa kluczowe** – *bioaerozole, cyjanobakterie, Morze Bałtyckie, zanieczyszczenie powietrza*

Aerozole atmosferyczne są obecne w naszej atmosferze od zawsze (Juda-Rezler, 2016). W ich skład wchodzi cząstki stałe i kropelki cieczy, które ulegają rozproszeniu w powietrzu. W wyniku reakcji heterogenicznych, aerozole stanowią układy dwufazowe (ciało stałe-ciecz) lub trójfazowe (ciało stałe-ciecz-gaz) (Falkowska i Lewandowska, 2009). Te zawieszane w powietrzu cząstki reprezentują szeroką klasę wielkości. Ich rozmiary mogą osiągać od kilku nanometrów do nawet 200  $\mu\text{m}$ . Uwarunkowane jest to przede wszystkim źródłem ich pochodzenia oraz panującymi warunkami meteorologicznymi (temperatura i wilgotność względna powietrza, prędkość i kierunek wiatru, natężenie i rodzaj opadów atmosferycznych) (Seinfeld i Pandis, 2016).

Aerozole mogą być obecne w powietrzu atmosferycznym w wyniku naturalnych procesów, takich jak wybuchy wulkanów, pożary lasów i stepów, czy procesy życiowe organizmów bytujących na lądzie i w morzu (Andreae i Crutzen, 1997). Za jedno z najważniejszych naturalnych źródeł aerozoli w powietrzu uważa się morze. Z jego powierzchni w wyniku pękania pęcherzyków gazowych oraz na skutek załamania się grzbietów fal i porywania piany morskiej do atmosfery emitowana jest sól morską (Falkowska i Lewandowska, 2009). Warunkami szczególnie sprzyjającymi formowaniu się aerozoli morskich są okresy o szczególnie wysokim przesyleniu wody rozpuszczonymi w niej gazami oraz charakteryzujące się silnym falowaniem wiatrowym (Kruczalak i in., 2002).

Obok naturalnych procesów, emisja aerozoli do atmosfery może być spowodowana działalnością człowieka, na przykład procesy spalania paliw kopalnych, zarówno w sektorze komunalno-bytowym (na cele grzewcze), czy w sektorze komunikacyjnym (w celach napędowych pojazdów silnikowych). Źródłem antropogenicznym aerozoli jest także rolnictwo, działalność w sektorze stoczniowym i portowym oraz w wielu gałęziach przemysłu (Kothai, 2011).

W atmosferze mogą występować aerozole, które są wzbogacone w żywe organizmy lub/i ich fragmenty. Nazywa się je bioaerozolami (Degórska, 2016) ich skład wchodzi bakterie, wirusy, glony, zarodniki grzybów oraz produk-

ty mikrobiologicznego metabolizmu organizmów żywych (Fröhlich-Novoijski i in., 2016). Niektóre z tych organizmów wytwarzają endo- i enterotoksyny oraz mykotoksyny (Cox i Wathes, 1995). Ekspozycja na takie aerozole może stanowić niebezpieczeństwo dla zdrowia człowieka i innych organizmów żywych (Budzińska i in., 2011).

Czynnikami determinującymi obecność, skład oraz wielkość koncentracji bioaerozoli w powietrzu są warunki meteorologiczne. Najważniejsze parametry to temperatura i wilgotność powietrza, prędkość i kierunek wiatru, kierunek napływu mas powietrza oraz rodzaj, wielkość i intensywność opadów atmosferycznych. Czynniki te odpowiadają również za dystrybucję i czas przebywania bioaerozoli w atmosferze (Burrows i in., 2009). W przypadku, gdy w ich składzie obecne są glony i sinice istotną jest także wielkość produkcji pierwotnej w zbiorniku wodnym. Przy intensywnych zakwitach fitoplanktonu można spodziewać się, że wzrośnie emisja bioaerozoli z powierzchni morza do atmosfery. Należy jednak zaznaczyć, że jest to najczęściej efekt połączonego działania czynników meteorologicznych i naturalnych procesów zachodzących w wodzie, a nie wpływ jednego z nich (Lewandowska i in., 2017).

Stwierdzono ponadto, że obecność konkretnego gatunku mikroorganizmu lub jego fragmentu związana jest z wielkością aerozoli, w jakich on występuje. Bakterie adsorbują się zazwyczaj na mniejszych cząstkach, o średnicy od 8  $\mu\text{m}$  do 25  $\mu\text{m}$ , podczas gdy pyłki są obecne w aerozolach o średnicy od 20  $\mu\text{m}$  do 60  $\mu\text{m}$ . Zarodniki grzybów występują najczęściej w zakresie wielkości cząstek od 1  $\mu\text{m}$  do 30  $\mu\text{m}$  (Burrows i in., 2009). Najmniejsze bioaerozole, o średnicy do 3  $\mu\text{m}$ , wzbogacone są w wirusy. Bioaerozole bakteryjne i wirusowe charakteryzują się najdłuższym czasem rezydencji w atmosferze (od kilku do kilkunastu dni). Ze względu na niewielkie rozmiary cząstek, w których występują, wykazują one dużą mobilność i mogą być transportowane z masami powietrza na bardzo dalekie odległości. Większe bioaerozole krócej przebywają w powietrzu, często poniżej jednego dnia (Fröhlich-Novoijski i in., 2016).

Obecność bioaerozoli we wdychanym powietrzu może nieść negatywne skutki dla zdrowia człowieka. Najczęściej przejawia się to utrudnieniem w oddychaniu, ale może także prowadzić do poważniejszych chorób układu oddechowego i układu krążenia, a przy dłuższej ekspozycji do chorób nowotworowych (Srikanth i in., 2008). Na przykład pracownicy służby zdrowia narażeni są na obecność bakterii prowadzących do zachorowań na zakaźną gruźlicę (Verhoeff i Burge, 1997). Największe zagrożenie stanowią najmniejsze cząstki, które przenikają w organizmie najgłębiej, nawet do pęcherzyków płucnych i do krwiobiegu. Gdy w bioaerozolach obecne są toksyczne gatunki sinic lub produkty ich metabolizmu, negatywny wpływ na organizm człowieka może być jeszcze większy. Istnieje wiele udokumentowanych chorób układu oddechowego wywołanych wdychaniem toksyn, czy alergenów z powietrza. Jednakże wiedza na ten temat jest wciąż niewystarczająca, aby wytłumaczyć bezpośredni wpływ poszczególnych składników bioaerozoli na organizm ludzki.

Sinice i glony oraz inne organizmy i ich fragmenty wchodzące w skład bioaerozoli mogą być transportowane w atmosferze wraz z masami powietrza. Globalny transport tych cząstek zależy w dużym stopniu od źródłowego obszaru emisji, średnicy cząstek oraz pory roku. Zdarza się, że oprócz gatunków pierwotnie obecnych w wodzie, w atmosferze nadmorskiej występują gatunki obce danemu akwenowi. Mogą być one nanoszone z nad obszarów oddalonych nawet o setki kilometrów od miejsca ich wypadania z atmosfery. Dla tego zjawiska znaczącą rolę odgrywa prędkość wiatru ((Burrows i in., 2009). Ponadto wiele gatunków mikroorganizmów posiada mechanizmy obronne, umożliwiające im przetrwanie w niekorzystnych warunkach podczas transportu. Zdolność ta prowadzi do wydłużenia czasu ich przebywania w atmosferze nawet do kilkunastu tygodni (Sivonen, 1996).

Zakładając, że na powierzchni bioaerozoli mogą adsorbować się związki chemiczne, np. metale ciężkie, czy wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, wpływ aerozoli biologicznego pochodzenia na jakość życia człowieka i jego zdrowie zaczyna budzić niepokój. W związku z tym ważne jest rozpoznanie powyższego problemu, zwłaszcza, że moim zdaniem wiedza na ten temat jest w dalszym ciągu niewystarczająca. W tym miejscu nasuwa się pytanie, czy bioaerozole zagrażają zdrowiu mieszkańców Trójmiasta? Aglomeracja ta leży w strefie brzegowej Morza Bałtyckiego, w którym bytuje kilka rodzajów toksycznych sinic (cyjanobakterii), (Mazur-Marzec i in., 2015). Sinice zaliczane są do bakterii i klasyfikowane do organizmów fitoplanktonowych. W zależności od gatunku mogą stanowić mniejsze lub większe zagrożenie dla innych organizmów żywych (Tesson i in., 2016). Jest to spowodowane wytwarzaniem przez niektóre z nich substancji toksycznych. Sinice obecne w Morzu Bałtyckim są w stanie produkować hepatotoksyny, które prowadzą do uszkodzenia komórek wątroby. Jedną z toksyn jest nodularyna, produkowana przez bałtycki gatunek *Nodularia spumigena*. Dla przykładu, u myszy dawka letalna tej trucizny (LD50) jest na poziomie około 50 µg kg<sup>-1</sup> masy ciała. Dla tego samego gryzonia LD50 w przypadku

jednej z najbardziej znanych trucizn cyjanku potasu wynosi 10 000 mg kg<sup>-1</sup> masy ciała. Kolejna z toksyn, mikrocystyna, należąca do hepatotoksyn jest wytwarzana przez sinice z rodzaju *Microcystis*, *Anabaena* i *Planktobrix*. Przyczynia się ona do chorób nowotworowych u człowieka (Mazur-Marzec i in., 2015). Do następnej grupy toksyn produkowanych przez sinice należą neurotoksyny, odpowiedzialne za zaburzenia układu nerwowo-mięśniowego (Aráoz i in., 2010). Przykładem neurotoksyny wytwarzanej przez sinice bytujące w Morzu Bałtyckim jest anatoksyna-a. Jej obecność w organizmie człowieka może prowadzić do zatrzymania procesu oddychania. Z kolei β-metylamina-L-alanina (BMAA) uważana jest za toksynę mogącą przyczynić się do powstania choroby Parkinsona oraz demencję (Murch i in., 2004).

Intensywność produkcji toksyn zależy nie tylko od gatunku sinicy. Nodularyna, mikrocystyna i anatoksyna-a wytwarzane są w największych ilościach w warunkach sprzyjających intensywnemu wzrostowi sinic (Sivonen, 1996). Najistotniejsze znaczenie odgrywa dostępność substancji biogenicznych, takich jak azot czy fosfor. Nadmierne wzbogacenie zbiornika wodnego w te substancje wspomaga ponadto trwałość i wydłuża czas przebywania cyjanotoksyn w akwenie (Paerl i Otten, 2013). Dla produkcji toksyn ważne są także czynniki zewnętrzne, takie jak temperatura powietrza czy brak opadów atmosferycznych oraz bezwietrzna pogoda (Bucka i Wilk-Woźniak, 1998). Takie warunki będą wzmagaly zakwity fitoplanktonu w akwenie wodnym i prowadziły do efektywniejszego wynoszenia bioaerozoli do atmosfery (Smayda, 1997).

Bioaerozole morskie podczas transportu z nad morza nad ląd ulegają frakcjonowaniu oraz wzbogacaniu w związki chemiczne pochodzenia terygenicznego lub/i antropogenicznego (Lewandowska, 2017). Pośród nich mogą znajdować się toksyczne metale śladowe, takie jak rtęć, czy związki z grupy wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA), na przykład benzo(a)piren (B(a)P). W efekcie, prowadzi to do zmiany składu aerozoli, które stają się jeszcze bardziej niebezpieczne dla zdrowia człowieka. W rejonie Trójmiasta takim związkiem chemicznym występującym w aerozolah w wysokich stężeniach jest benzo(a)piren (B(a)P). Jest on markerem zanieczyszczenia powietrza WWA i wykazuje silne działanie kancerogenne i mutagenne. W roku 1983 Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem (ang. IARC, International Agency For Research On Cancer) przyznała mu pierwszy stopień kancerogenności. Benzo(a)piren ulega emisji do atmosfery na skutek spalania paliw w sektorze komunalno-bytowym oraz w sektorze komunikacyjnym (Ravindra i in., 2008). Ze względu na dużą liczbę indywidualnych palenisk przydomowych i natężenie ruchu komunikacyjnego stężenie tego związku w atmosferze strefy brzegowej Zatoki Gdańskiej jest wysokie, zwłaszcza zimą (Staniszewska i in., 2012; Lewandowska i in., 2018). Oprócz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, ważnym związkiem chemicznym identyfikowanym w aerozolah w rejonie Trójmiasta jest rtęć. Nie pełni ona żadnej pozytywnej roli w organizmie człowieka, a wręcz jest dla niego toksyną. Główny problem rtęci w środowisku związany jest z jej przemianami w bardziej toksyczne organiczne formy

(tj. metylortęć) oraz rozprzestrzenianiem się z aerozolami na znaczne odległości od źródła, co zwiększa jej biodostępność. Coraz częściej bierze się pod uwagę również wzmożoną szkodliwość rtęci ze względu na jej reemisję do powietrza z powierzchni wód, czy gleb (Maluszyńska i in., 2011).

Pożywienie czy wodę, z których korzystamy możemy wybrać sobie sami. Nie dotyczy to powietrza, którym odychamy. Z tego względu uważam, że obecnie jednym z najpoważniejszych zagrożeń dla człowieka i środowiska ogólnie jest zanieczyszczenie atmosfery. Występujące w niej związki chemiczne mogą być szkodliwe nie tylko w miejscu źródłowym. Przenoszone są do innych komponentów środowiska, np. wody czy gleby, a w konsekwencji także do naszej żywności. Człowiek czerpie dobra z każdego z tych elementów. Dlatego należy monitorować jakość powietrza i dbać o nie na całym świecie. Dotyczy to także bioaerozoli, a zwłaszcza mechanizmów ich przenoszenia na dalekie odległości od źródła emisji, czy ustalenia gdzie występują w najwyższych stężeniach. Niepokojące jest także, jak niewiele wiemy o roli sinic i glonów obecnych w atmosferze w kształtowaniu jakości powietrza. Zarówno rtęć, jak i B(a)P są związkami, które mogą adsorbować się na ich powierzchni. To z kolei będzie prowadzić do wzrostu stężenia tych niebezpiecznych dla zdrowia ludzkiego związków chemicznych we wdychanym przez nas powietrzu.

## Literatura

- Andreae M.O., Crutzen P.J., 1997. Atmospheric Aerosols: Biogeochemical Sources and Role in Atmospheric Chemistry, *Science* 276, California.
- Aráoz R., Molgó J., Tandeau de Marsac N., 2010. Neurotoxic cyanobacterial toxins, *Toxicon*, 56.
- Bucka H., Wilk-Woźniak E., 1998. Dynamic of algae and cyanophytes developing in mass in dam reservoirs: the Wisła-Czarne reservoir and the Dobczyce reservoir (southern Poland), *Fragmenta Floristica et Geobotanica Polonica*.
- Budzińska K., Jurek A., Szejniuk B., Michalska M., Wroński W., 2011. Mikrobiologiczne zanieczyszczenie powietrza na terenie oczyszczalni ścieków komunalnych, *Rocznik Ochrona Środowiska*, Bydgoszcz.
- Burrows S.M., Butler T., Jöckel P., Tost H., Kerkweg A., Pöschl U. and Lawrence M.G., 2009. Bacteria in the global atmosphere – Part 2: Modeling of emissions and transport between different ecosystems, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 9281–9297.
- Burrows S.M., Elbert W., Lawrence G., and Poschl U., 2009. Bacteria in the global atmosphere – Part 1: Review and synthesis of literature data for different ecosystems, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 9263–9280.
- Cox C.S., Wathes C.M., 1995. Bioaerosols Handbook, 1st Edition, CRC Press.
- Degórska A., 2016. Pyły drobne w atmosferze. *Kompendium wiedzy o zanieczyszczeniu powietrza pyłem zawieszonym w Polsce.*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska.
- Falkowska L., Lewandowska A.U., 2009. Aerozole i gazy w atmosferze ziemskiej, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk.
- Fröhlich-Nowoisky J., Kampf C.J., Weber B., Huffman J.A., Pöhlker C., Andreae M.O., Lang-Yona N., Burrows S.M., Gunthe S.S., Elbert W., Su H., Hoor P., Thines E., Hoffmann T., Després V.R., Pöschl U., 2016. Bioaerosols in the Earth system: Climate, health, and ecosystem interactions, *Atmospheric Research* 182, 346–376.
- Juda-Rezler K., Toczko B., Degórska A., Frączkowski T., Gierczak T., Iwanek J., Klejnowski K., Kobus D., Markowicz K.M., Mitosek G., Pyta H., Ośródko L., Paciork M., Pacyna J., Pastuszka J., Rogula-Kopec P., Rogula-Kozłowska W., Meizer M., Trapp W., Wiech K., 2016. *Pyły drobne w atmosferze. Kompendium wiedzy o zanieczyszczeniu powietrza pyłem zawieszonym w Polsce*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa.
- Kothai P., Saradhi I.V., Pandit G.G., Markwitz A., Puranik V.D., 2011. Chemical Characterization and Source Identification of Particulate Matter at an Urban Site of Navi Mumbai, *Aerosol and Air Quality Research*, 11, 560–569.
- Kruczalak K., Olańczuk-Neyman K., Marks R., 2002. Airborne Microorganisms Fluctuations Over the Gulf of Gdansk Coastal Zone (Southern Baltic), *Polish Journal of Environmental Studies* 11, 5, 531–536.
- Lewandowska A.U., Staniszevska M., Witkowska A., Machuta M., Falkowska L., 2018. Benzo(a)pyrene parallel measurements in PM1 and PM2.5 in the coastal zone of the Gulf of Gdansk (Baltic Sea) in the heating and non-heating seasons, *Environmental Science and Pollution Research*, 25.
- Lewandowska A.U., Śliwińska-Wilczewska S., Woźniczka D., 2017. Identification of cyanobacteria and microalgae in aerosols of various sizes in the air over the Southern Baltic Sea, *Marine Pollution Bulletin*, 125.
- Maluszyńska I., Popena A., Maluszyński M.J., *Mercury in the environment*, Warszawa 2011
- Mazur-Marzec H., Błaszczuk A., Felczykowska A., Hohlfeld N., Kobos J., Toruńska-Sitarz A., Devi P., Montalvão S., D'souza L., Tammela P., Mikosik A., Bloch S., Nejman-Faleńczyk B., Węgrzyn G., 2015. Baltic cyanobacteria – a source of biologically active compounds, *European Journal of Phycology*, 50.
- Murch S.J., Cox P.A., Banack S.A., 2004. *A mechanism for slow release of biomagnified cyanobacterial neurotoxins and neurodegenerative disease in Guam*, PNAS, Meksyk
- Paerl H., Otten T., 2013. Harmful Cyanobacterial Blooms: Causes, Consequences, and Controls, *Microbial Ecology*.
- Ravindra K., Sokhi R., Grieken R., 2008: *Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: Source attribution, emission factors and regulation*, Atmospheric Environment.
- Seinfeld J.H., Pandis S.N., 2016. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, 3rd Edition.
- Sivonen K., *Cyanobacterial toxins and toxin production*, 1996
- Smayda T.J., 1997. *Harmful algal blooms: Their ecophysiology and general relevance to phytoplankton blooms in the sea*, American Society of Limnology and Oceanography, Inc., Kingston, Rhode Island.
- Srikanth P., Sudharsanam S., Steinberg R., 2008. Bio-aerosols in indoor environment: Composition, health effects and analysis, *Indian Journal of Medical Microbiology*, 26, 302–312.
- Staniszevska M., Graca B., Beldowska M., Saniewska D., 2012. Factors controlling benzo(a)pyrene concentration in aerosols in the urbanized coastal zone. A case study: Gdynia, Poland (Southern Baltic Sea), *Environmental Science and Pollution Research*.
- Tesson S.V.M., Skjøth C.A., Šantl-Temkiv T., Löndahl J., 2016. Airborne Microalgae: Insights, Opportunities, and Challenges, *Applied and Environmental Biology*.
- Verhoeff A.P., Burge H.A., 1997. *Health risk assessment of fungi in home environments*. Ann Allergy Asthma Immuno.

## Notatka o Autorze

Studentka drugiego roku studiów magisterskich na kierunku oceanografii na specjalizacji chemia morza i atmosfery. W trakcie realizacji dyplomowej pracy magisterskiej z zakresu „Wielopięścienne węglowodory aromatyczne w bioaerozolu nad Zatoką Gdańską”.