

# Przenoszenie powietrzem trwałych zanieczyszczeń organicznych na dalekie odległości – nowe znaczenie problemu w czasie pandemii SARS-CoV-2

## Long-range atmospheric transport of persistent organic pollutants – a new problem in the SARS-CoV-2 pandemic

Elżbieta Niemirycz

Marta Kobusińska

### Streszczenie

W ubiegłym roku obchodziliśmy 40. rocznicę podpisania pierwszej umowy międzynarodowej, której celem była i jest ochrona środowiska oraz zdrowia ludzi przed skutkami zanieczyszczenia powietrza. Konwencja w sprawie transgranicznego zanieczyszczania powietrza na dalekie odległości (ang. *Convention on Long-range Transboundary Air Pollution*) została podpisana w Genewie 13 listopada 1979 r. z inicjatywy Europejskiej Komisji Gospodarczej Organizacji Narodów Zjednoczonych (EKG ONZ) przez 32 państwa regionu EKG ONZ (w tym Polskę). Trwałe Zanieczyszczenia Organiczne zostały objęte odrębnym protokołem Konwencji w 1998 r. jako substancje wyjątkowo niebezpieczne dla środowiska przyrodniczego. Uwolnione ze źródeł powstawania (produkty uboczne wielu procesów przemysłowych i termicznych) TZO trafiają do atmosfery, a poprzez depozycję atmosferyczną lub zrzuty bezpośrednie, do wód powierzchniowych. Jeszcze w 2010 r., na spotkaniu Grupy Specjalnej TZO Konwencji w Montrealu, przyjęto wykluczenie z dyskusji stref polarnych jako praktycznie nieobjętych zanieczyszczeniami działalności przemysłowej i stanowiących czyste, nieskażone substancjami niebezpiecznymi, tereny. Najnowsze badania realizowane w ramach projektu Narodowego Centrum Nauki (2016/23/N/ST10/01376), prowadzone w strefach polarnych obu biegunów: północnej Arktyki i południowej Antarktyki, wykazały, że TZO zostały wykryte w 60% pobranych osadów dennych z tych rejonów. Wyniki badań udowodniły zwiększające się zanieczyszczenie powietrza drobnymi pyłami o średnicy mniejszej od 2,5 mikrometra (PM<sub>2.5</sub>), na których silnie sorbują się i przenoszą na dalekie odległości substancje toksyczne. Zjawisko to stało się wyjątkowo ważne dla ochrony zdrowia człowieka w dobie pandemii i przenoszonych powietrzem patogenów.

### Abstract

Last year, we celebrated the 40<sup>th</sup> anniversary of signing of the first international agreement, which has been intended to protect the environment, and human health against the effects of air pollution. The Long-range Transboundary Air Pollution Convention (LRTAP) was signed in Geneva on November 13, 1979 as an initiative of the United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) by 32 countries of the UNECE region (including Poland). Persistent Organic Pollutants were issued in the separate Protocol to the Convention in 1998 as substances considered to be extremely hazardous to the environment. Once released from the source of origin (as by-products of many industrial and thermal processes), POPs are emitted into the atmosphere, and through atmospheric deposition or direct discharges, they enter surface waters. In 2010, at the meeting of the POPs Special Group of the Convention in Montreal, it has been agreed to exclude polar zones from the discussion, as they were classified as pristine, and not being impacted by industrial activities. The latest research carried out as part of the National Science Center grant (2016/23/N/ST10/01376) conducted in polar zones of the North and the South Poles – Arctic and Antarctic, revealed considerable POPs contamination in 60% of collected bottom sediments from both regions. The recent studies have indicated increasing air pollution with particulate matter particles of a diameter smaller than 2.5 micrometers (PM<sub>2.5</sub>), being a strong sorbent, and a carrier of toxic substances over long distances. This phenomenon has become extremely important for the protection of human health in times of pandemics and airborne transmitted pathogens.

Wielu uczonych ocenia, że najwyższy pułap światowych osiągnięć naukowych można przypisać naukowcom z Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych CERN w Genewie. Bardziej czytelną nazwą tego ośrodka powstałego w 1954 roku jest *Europejskie Laboratorium Fi-*

*zyki Cząstek* (fr. *Laboratoire Européen pour la Physique des Particules*), lecz nie ma ona charakteru oficjalnego. Ostatnio 1500 naukowców ze 150 uniwersytetów i instytucji badawczych świata (w tym z Polski) opracowało plany największej na świecie maszyny do rozbijania czą-

stek. Zderzacze, zwane także akceleratorami cząstek, wysyłają w tunelu dwie wiązki wysokoenergetycznych cząstek w przeciwnych kierunkach z prędkością zbliżoną do prędkości światła. Gdy dochodzi do ich rozbięcia, tworzą się nowe cząstki, które lepiej pomagają zrozumieć zjawiska fizyczne oraz otaczającą nas atmosferę Ziemi i przestrzeni kosmicznej. Ośrodek naukowo-badawczy CERN jest miejscem powstania sieci WWW (ang. *World Wide Web*) i aż kilku odkryć w dziedzinie nauk fizycznych nagrodzonych Nagrodą Nobla.

Dla porównania, interesujący wielu naukowców na świecie ze względu na pandemię wywołanej wirusem SARS-CoV-2, Wuhan Institute of Virology powstał niewiele później, a mianowicie w 1958 roku. Oddziałem tego Instytutu jest otwarte w 2017 roku Wuhan National Biosafety Laboratory, gdzie bada się niebezpieczne patogeny, m.in. wirus SARS i wirus Ebola. Instytut jest położony w granicach powstałego w 1949 roku miasta Wuhan, liczącego obecnie ponad 11 milionów mieszkańców i stanowiącego jedno z największych supernowoczesnych miast świata. W Wuhan działa 8 uniwersytetów narodowych oraz 13 uczelni publicznych, nadając miastu opinię zagłębia naukowego. Porównując działalność i osiągnięcia naukowe obu ośrodków, można porównać działanie zespołu naukowego CERN dążącego do poznania nowych obszarów wiedzy dla dobra ludzkości i jej rozwoju z zespołem Wuhan Institute of Virology, którego cele nie są w swej czystości misji naukowej jednoznaczne.

Pierwszym czynnikiem zaskakującym naukowców jest wynalezienie w National Biosafety Laboratory odmiany wirusa SARS-CoV-2 (ang. *Severe Acute Respiratory Syndrome* – silna ostrość niewydolności oddechowej) o zaskakująco krótkim czasie rozprzestrzeniania się na kuli ziemskiej. Epidemia wywołana wirusem SARS-CoV-2 (wywołującym chorobę COVID-19) z Chin wyruszyła w świat w grudniu 2019 roku (dane znanego amerykańskiego Uniwer-

sytetu Johnsa Hopkinsa w Baltimore) lub w styczniu 2020 roku (dane WHO). W marcu objęła już niemal każdy kraj na świecie. W pierwszych dniach kwietnia liczba osób zakażonych koronawirusem SARS-CoV-2 na świecie przekroczyła 1 mln – podał 2 kwietnia w raporcie Uniwersytet Johnsa Hopkinsa. Koronawirus SARS-CoV-2 doprowadził wtedy do śmierci ponad 51 tys. osób. Ponad 200 tys. pacjentów uznano za wyleczonych. Pod koniec maja zanotowano na świecie aż 350 tys. ofiar śmiertelnych i 2,2 mln osób wyleczonych.

Drugim czynnikiem, który ma obecnie wpływ na szybkość rozprzestrzeniania się różnych: biologicznych (wirusy) czy chemicznych (dioksyny) substancji toksycznych jest zanieczyszczenie powietrza pyłami zawieszonymi (ang. *Particulate Matter* – PM), czyli drobnymi cząstkami wchodzącymi w skład aerozoli atmosferycznych, na których łatwo się te substancje sorbuja, a następnie w dużej części poprzez depozycję atmosferyczną trafiają do wód powierzchniowych [Witt 2015; Niemirycz i in. 2016]. Najgroźniejszymi pyłami dla zdrowia człowieka, a przede wszystkim jego płuc, są pyły drobne PM 2.5 lub PM 1.0 (średnica poniżej 2,5 lub 1,0 mikrometra), ponieważ ze względu na niewielkie rozmiary cząstek mogą łatwo przenikać do pęcherzyków płucnych i dalej do krwiobiegu. Aktualne badania wykazały, że obecne w układzie krwionośnym cząstki PM 2.5 i mniejsze, mają umiejętność pokonywania bariery krew-mózg (ang. *blood-brain barrier* – BBB). Wpływają tym samym na indukcję zmian w centralnym układzie nerwowym, prowadząc do rozwoju chorób neurodegeneracyjnych, takich jak m.in. choroba Alzheimera, Parkinsona, Huntingtona [Costa in. 2020].

Zanieczyszczenie współzależne go systemu atmosfery – hydrosfery i biosfery związane jest z obserwowanym już od końca ubiegłego wieku szybkim wzrostem produkcji trudno degradowanej materii nierozpuszczalnej w wodzie, z której rozkładem środowisko nie może sobie poradzić.

Każdego roku powstaje w laboratoriach świata kilka tysięcy nowych związków chemicznych. Otaczają nas syntetyczne meble, ubrania, kosmetyki. Wszystko to zakłóca naturalny porządek współistnienia przyrody i człowieka.

Do substancji syntetycznych charakteryzujących się szczególnie niebezpiecznymi właściwościami należą związki organiczne zawierające chlor, fluor i inne pierwiastki z grupy halogenów. Większość z nich jest wytwarzana w sposób celowy i człowiek może wpływać na wielkość ich produkcji. Najtrudniejsza sytuacja jest w przypadku substancji, które są niezamierzonym produktem ubocznym technologicznych procesów termicznych (produkcja metali) lub wielu reakcji chemicznych zachodzących samorzutnie w środowisku. Należą do nich jedne z najbardziej trwałych i toksycznych związków – polichlorowane dibenzo-*p*-dioksyny i dibenzofurany (PCDD/F) oraz substancje dioksynopodobne (ang. *dioxin like substances*). Właściwości PCDD/F powodują, że dopiero powyżej 800°C możliwa jest ich całkowita degradacja, zatem wszystkie procesy termiczne zachodzące w niższych temperaturach stanowią ich potencjalne źródło [Wielgosiniński 2009].

W ostatnich latach największym zagrożeniem terenów zaludnionych jest tzw. „niska emisja” czyli emisja z pozaprzemysłowych procesów spalania [Quass i in. 2004; Niemirycz i in. 2016]. Znaczącym źródłem PCDD/F są również reakcje ich fotochemicznego i biochemicznego powstawania z prekursorów – triklosanu i pentachlorofenolu. PCDD/F stanowią mikrozanieczyszczenia produkowanych na skalę przemysłową pestycydów i chlorofenoli, dlatego też ich stężenia w środowisku pozostają względnie skorelowane [Buth i in. 2010; Anger i in. 2013; Kobusińska 2019].

Ponadto dioksyny są uznane za wyjątkowo niebezpieczne dla zdrowia ludzi i zwierząt. Z tego powodu są przedmiotem badań wielu zespołów naukowych na świecie: od nauk chemicznych, biologii molekularnej, po nauki medyczne [Rappe 1992; Ba-

ker i Hites 2000; Dudzińska 2003; Verta i in. 2007; Niemirycz 2008; Kaylon i in. 2010; Niemirycz i Jankowska 2011; Luis i in. 2012; Colquhoun i in. 2012; Grochowalski 2013; Witt 2015; Assefa 2015; Trivedi i Aro-ra 2018; Pavuk i in. 2019].

W 2001 roku wiele państw świata podpisało Konwencję Sztokholmską w sprawie Trwałych Zanieczyszczeń Organicznych (w tym dioksyn), która stanowiła prawną podstawę dla podjęcia działań zmniejszających zanieczyszczenie środowiska tymi substancjami i przywrócenia równowagi egzystencjalnej przyrody i człowieka. Zdefiniowane w ramach tej konwencji Trwałe Zanieczyszczenia Organiczne (TZO) są grupą związków chemicznych o wspólnych właściwościach warunkujących ich szkodliwość dla środowiska i zdrowia człowieka:

- trwałość w wielu elementach środowiska (okres półtrwania w wodzie, glebie czy osadach dennych jest dłuższy niż 6 miesięcy);
- zdolność do bioakumulacji wyrażona współczynnikiem podziału oktanol-woda ( $\log K_{OW} > 5$ ) lub współczynnikiem biokoncentracji w organizmach ( $BCF > 5000$ );
- zdolność do wywoływania efektów toksycznych u ludzi i zwierząt;
- zdolność do transportu na dalekie odległości, czyli możliwość przenoszenia od miejsc ich uwolnienia się w strefie klimatu umiarkowanego do strefy klimatu polarnego.

Należy zaznaczyć, że wcześniej problematykę TZO podjęła Konwencja w sprawie transgranicznego zanieczyszczania powietrza [CLRTAP 1979] wydając w 1998 r. protokół z Aarhus [1998], podpisany przez strony konwencji, obejmujące kraje Europy i Ameryki Północnej. Wiele wysiłku w popularyzację i wdrażanie nowości naukowych w zakresie badań ochrony powietrza w ramach tej konwencji włożył dr Andrzej Jagusiewicz, były Główny Inspektor Ochrony Środowiska w Ministerstwie Środowiska.

Pomimo ratyfikowanych przez wiele państw międzynarodowych

konwencji, mających na celu redukcję emisji TZO, stan środowiska nie ulega w tym przypadku znaczącej poprawie, co można łączyć przede wszystkim ze stale rosnącą produkcją chloru na świecie. Od połowy ubiegłego wieku światowa produkcja chloru wzrosła od 2 do około 60 mln ton rocznie i utrzymuje trend wzrostowy. Przy przewidywanym trendzie wzrostu o około 4% w skali roku można oszacować, że w 2020 r. całkowita produkcja w Europie przekroczy 22 mln ton/rok, co stanowić będzie około 1/5 produkcji światowej. Ze względu na to, że około 70% światowej produkcji chloru wykorzystywane jest w syntezie związków chloroorganicznych, parametr ten uznawany jest za pośredni wskaźnik wielkości ich produkcji [Eurochlor 2018]. Nauka w dużym stopniu rozpoznała przyczyny i skutki nadmiernej produkcji chloru i jego związków pochodnych, ale decyzji o jej zmniejszeniu, która jest w dużym stopniu decyzją polityczną, brakowało.

Produkcja niebezpiecznych związków halogenoorganicznych związana jest w zdecydowanej większości ze strefą klimatu umiarkowanego, gdzie zlokalizowane są zakłady przemysłowe kilku najbogatszych krajów świata, natomiast konsekwencje tej produkcji ponoszą wszyscy ludzie na świecie. Uwolnione ze źródeł pierwotnych, takich jak technologiczne procesy termiczne, oraz wielu innych źródeł rozproszonych (np. „niska emisja”), trwałe zanieczyszczenia organiczne trafiają do atmosfery w formie gazowej lub związanej z aerozolami. Dalej, poprzez depozycję atmosferyczną, przedostają się do wód powierzchniowych i gleby, często przemieszczając się powietrzem do miejsc odległych od źródeł ich powstawania.

Ważnym czynnikiem determinującym efektywność i zasięg przemieszczania się TZO jest temperatura. Powoduje ona ewaporację tych związków do atmosfery z terenów strefy klimatu umiarkowanego ku biegunom, gdzie w niskich temperaturach cząsteczki TZO zostają „uwięzione” na cząstkach aerozoli oraz są

dłużej dostępne dla organizmów i środowiska – zjawisko tzw. „pułapki termicznej” (ang. *cold trap*), [Meijer i in. 2003; Jurado i in. 2005; Berrojalbiz i in. 2014]. Dodatkowo, czynnikiem zwiększającym trwałość wiązania zanieczyszczeń na cząstkach aerozoli jest ich skład chemiczny, w tym głównie obecność węgla organicznego, stanowiącego silny sorbent halogenowanych związków organicznych.

Jeszcze w 2010 r. na spotkaniu Grupy Specjalnej TZO w ramach Konwencji EKG ONZ w sprawie Transgranicznego Zanieczyszczenia Powietrza na Dalekie Odległości w Montrealu, przyjęto wykluczenie z dyskusji stref polarnych jako praktycznie nie objętych zanieczyszczeniami działalności przemysłowej i stanowiących czyste, nieskażone substancjami niebezpiecznymi teryny [Niemirycz 2010]. Natomiast najnowsze badania, realizowane w ramach projektu Narodowego Centrum Nauki (2016/23/N/ST10/01376), prowadzone w strefach polarnych obu biegunów: północnej Arktyki i południowej Antarktyki, wykazały, że polichlorowane dibenzo-*p*-dioksyny i dibenzofurany (PCDD/F) oraz ich prekursorzy – pentachlorofenol (PCP) i triklosan (TCS), zostały zidentyfikowane i oznaczone ilościowo w 60% pobranych osadów dennych z tych rejonów. Wielkość stężeń tych niebezpiecznych substancji była zbliżona do stężeń charakteryzujących osady rejonu strefy umiarkowanej Morza Bałtyckiego [Niemirycz 2008; Niemirycz i Jankowska 2011; Witt 2015; Maciak i in. 2015; Kobusińska i in. 2019; Lewandowski i in. 2019]. Badania te mogły być wykonywane dzięki dalekim wyprawom polarnym (lata 2013-2017) polskich naukowców: dr hab. Leszka Łęczyńskiego, prof. nadzw. i dr Annie Panasiuk z Uniwersytetu Gdańskiego.

Maksymalne stężenia badanych substancji toksycznych pojawiły się w rejonach zlokalizowanych bezpośrednio przy lodowcach o ujemnym bilansie masy, mających jednocześnie bezpośredni kontakt z morzem – Lodowiec Ekologii (Antarktyka) oraz Lodowiec Torella (Arktyka).





Fot. 1. Ustępujący Lodowiec Torella w 2017 roku – Spitsbergen, Arktyka [Archiwum własne – dr hab. Leszek Łęczyński, prof. UG]

Opierając się na wnioskach z wieloletnich badań PCDD/F i ich prekursorów w zespole Uniwersytetu Gdańskiego, zakłada się, że powietrze atmosferyczne jest głównym nośnikiem tych toksycznych zanieczyszczeń ze źródeł lądowych strefy umiarkowanej do strefy polarnej, stanowiąc nośnik tych substancji od źródeł emisji do miejsc depozycji. Wnioskuje się, że w ostatnich 10 latach nastąpiła znaczna intensyfikacja zanieczyszczenia czystych terenów polarnych poprzez przenoszenie zanieczyszczeń na dalekie odległości powietrzem, a dokładniej drobnymi pyłami powietrznymi PM. W najbliższym czasie wyniki te mają zostać opublikowane w renomowanym czasopiśmie naukowym *Chemosphere* (Elsevier).

Jak już wspomniano, zanieczyszczenie powietrza pyłami zawieszonymi PM może odgrywać również znaczącą rolę w kontekście aktualnej problematyki związanej z pandemią koronawirusa SARS-CoV-2. Na uniwersytetach w Trieście, Bari, Bolonii i Neapolu, zlokalizowanych w regionie o okresowo najwyższej na świecie ilości zgonów z powodu zarażenia wirusem SARS-CoV-2, przeprowadzono badania pod kątem jego obecności w pyłach powietrznych. Koordynator

projektu, dr Leonardo Setti z Uniwersytetu Bolońskiego, wyjaśnił, że wykorzystano do nich 34 próbki mieszaniny zawieszonych w powietrzu cząstek PM<sub>10</sub> z terenów przemysłowych w rejonie Bergamo w Lombardii. Pobrano je na przełomie lutego i marca, czyli w momencie pełnego wybuchu epidemii w tej części Włoch. Naukowcy zastrzegli, że nie można mówić o nowej drodze zakażenia poprzez cząsteczki powietrza. Zwrócili jednak uwagę, że zanieczyszczenie pyłami zawieszonymi może stanowić dodatkowy czynnik w interpretacji skali epidemii SARS-CoV-2 w północnych Włoszech, zaliczanych do najbardziej zanieczyszczonych obszarów w Europie [Setti i in. 2020]. Podkreślili konieczność obniżania poziomu pyłów zawieszonych, co powinno zmniejszyć ryzyko przenoszenia koronawirusa powietrzem. Spadek zanieczyszczenia powietrza powinien zmniejszyć częstotliwość występowania chorób układu sercowo-naczyniowego oraz oddechowego u całej populacji, minimalizując w ten sposób ryzyko powikłań kardio-pulmonologicznych u osób narażonych na kontakt z wirusem i ich śmiertelność [Setti i in. 2020; Sanita di Toppii in. 2020].

Poproszony o skomentowanie niepokojącego w pandemii wirusa

SARS-CoV-2 parametru czasu, znany biolog molekularny i wirusolog prof. Grzegorz Węgrzyn wyjaśnił, że istnieją dwa najważniejsze powody tego zjawiska. Po pierwsze, podróże ludzi po całym świecie stały się standardem, zatem fizyczne rozprzestrzenienie się wirusa, razem z zakażonymi osobami podróżującymi pomiędzy poszczególnymi krajami i kontynentami było bardzo łatwe. Dodatkowo, zaobserwowano, że koronawirus SARS-CoV-2 ma wyjątkowe zdolności do przenoszenia się z człowieka na człowieka, czyli innymi słowy bardzo efektywnie zakaża ludzi, co stanowi dodatkowy czynnik umożliwiający jego szybkie rozprzestrzenienie się.

Uwagi na temat poruszonej artykułu, z punktu widzenia nauk medycznych, przedstawił dr hab. n.med. Grzegorz Mincewicz, specjalista chorób wewnętrznych i alergologii. W dobie ogłoszonej pandemii COVID-19 i często sprzecznych doniesień na jej temat zwrócił on uwagę na konieczność uporządkowania dostępnej wiedzy na temat związku zanieczyszczenia powietrza, także i wody (np. ścieków) na przebieg zakażenia wirusem SARS COV-2 i przebieg choroby nim powodowanej COVID-19. Przewlekłe narażenie na wdychanie powietrza o ponadnormalnym stężeniu zarówno związków chemicznych (tlenki siarki i azotu, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne – np. benzopiren), jak i fizycznych pod postacią mieszaniny cząstek zawieszonego pyłu, uszkadzają nie tylko układ oddechowy, ale po wnikięciu do układu krwionośnego oddziałują na cały organizm. Badania wskazują, że im większe zanieczyszczenie powietrza, tym częściej obserwowany jest cięższy przebieg COVID-19. Szczególnie bardzo drobny pył PM<sub>2.5</sub> [WHO] powoduje lub zaostrza przebieg przewlekłych chorób układu oddechowego i układu krążenia. Wiele aktualnych doniesień potwierdza, że przebieg i rokowanie u chorych na COVID-19 są cięższe u pacjentów z przewlekłymi chorobami współistniejącymi (np. Przewlekła Obturacyjna Choroba

Pluc – POCHP), jeżeli są spowodowane wdychaniem zanieczyszczonego powietrza. Długotrwałemu wzrostowi stężenia PM<sub>2.5</sub> w wdychanym powietrzu towarzyszy wzrost śmiertelności wśród zakażonych SARS-CoV-2 [doniesienie Harvard University].

Mimo, iż niektóre badania wskazują na obecność kwasów rybonukleinowych (RNA) wirusa SARS-CoV-2 w pyłe zawieszonym, to dotychczas nie udowodniono wpływu podwyższonego stężenia PM<sub>2.5</sub> na samo zakażenie, które odbywa się drogą kropelkową. Jednocześnie w aktualnym piśmiennictwie dostępne są prace wskazujące na istnienie związku pomiędzy rozprzestrzenianiem się wirusa SARS-CoV-2 a podwyższonym stężeniem PM<sub>2.5</sub> i PM<sub>10</sub>. Przykładowo, PM<sub>10</sub> odgrywa rolę w chorobach alergicznych, przenosząc alergeny, ułatwia wywołanie i zaostrzenie choroby alergicznej.

Dr Mincewicz zauważył, iż przy rozpatrywaniu zarówno procesu zakażenia wirusem SARS-CoV-2, jak i przebiegu wywołanej przez niego choroby COVID-19, może należałoby zwrócić uwagę na wpływ zanieczyszczeń powietrza na receptor błonowy ACE2 (niedawno odkryty enzym konwertujący angiotensynę 2, stanowiący klucz wejścia dla wirusa).

Analiza doniesień naukowych z ostatnich miesięcy wskazuje na znaczne zaskoczenie wielu wybitnych specjalistów na świecie rozmiarem pandemii COVID-19 oraz możliwościami jej przeciwdziałania. Ponadto udowadnia, że jedynie interdyscyplinarne zespoły naukowe mają możliwość poprawy stanu zanieczyszczenia środowiska (przede wszystkim wodnego) oraz zdrowia człowieka. Mobilizacja setek polskich i światowych badaczy do zatrzymania działania śmiertelnościowego wirusa daje jednak nadzieję na być może lepsze życie na naszej planecie.

## Literatura

[1] Anger C. T., Sueper C., Blumentritt D.J., McNeill K., Engstrom D.R., Arnold W.A., 2013, Quantification of triclosan, chlorinated triclosan derivatives, and their dioxin photoproducts in lacustrine sediment cores. *Environ Sci Technol.* 47(4):1833–1843.

- [2] Assefa A.T., 2015, Tracing and apportioning sources of dioxins using multivariate pattern recognition techniques. Praca doktorska, Umeå University, Szwecja.
- [3] Baker J.I., Hites R.A., 2000, Is combustion the major source of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans to the environment? A mass balance investigation. *Environmental Science and Technology*, 34, 2879–2886.
- [4] Berrojalbiz N., Castro-Jiménez J., Mariani G., Wollgast J., Hanke G., Dachs J., 2014, Atmospheric occurrence, transport and deposition of polychlorinated biphenyls and hexachlorobenzene in the Mediterranean and Black seas. *Atmos. Chem. Phys.*, 14, 8947–8959.
- [5] Buth, J.M., Steen, P.O., Sueper, C., Blumentritt, D., Vikesland, P.J., i in. 2010, Dioxin photoproducts of triclosan and its chlorinated derivatives in sediment cores. *Environ. Sci. Technol.* 44, 4545–4551.
- [6] Colquhoun, D. R., Hartmann, E. M., & Halden, R., 2012, Proteomic profiling of the dioxin-degrading bacterium *spingomonas wittichii* RW1, *Journal of Biomedicine and Biotechnology* 408690.
- [7] Costa L.G., Cole T.B., Dao K., Chang Y.C., Coburn J., Garrick J.M., 2020, Effects of air pollution on the nervous system and its possible role in neurodevelopmental and neurodegenerative disorders. *Pharmacol Ther* 210, 107523.
- [8] Dudzińska M.R., 2003. Występowanie i przemiany polichlorowanych dibenzo-p-dioksyn i dibenzofuranów w układach: osady ściekowe – gleba. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN. Lublin, s. 175.
- [9] Eurochlor 2018, Annual Chlor-alkali industry review 2017/2018 (<http://www.chlorineindustryreview.com/>).
- [10] Grochowalski A., Kuc J., Wójcik I., Kalicki T., 2013, Badania w zakresie oznaczania dioksynopodobnych, bromowanych i fluorowanych związków organicznych, *Mat. Międzynarodowej Konferencji: Dioksyny w środowisku – nauka dla zdrowia*, Uniwersytet Gdański.
- [11] Jurado E., Jaward F.M., Lohmann R., Jones K.C., Simó R., Dachs J., 2005, Wet Deposition of Persistent Organic Pollutants to the Global Oceans. *Environ. Sci. Technol.* 39, 2426–2435.
- [12] Bruner-Tran K.L., Ding T., Osteen K.G., 2012, Dioxin and Endometrial Progesterone Resistance, *Semin Reprod Med.* 28(1), 59–68.
- [13] Kobusińska, M.E., 2019. The impact of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans and its derivatives of land-based origin on the environmental status of the Gdansk Basin. University of Gdańsk, Praca doktorska, Uniwersytet Gdański.
- [14] Lewandowski K.K., 2019. Sorption of halogenated organic pollutants in bottom sediments from the Gdańsk Basin University of Gdańsk, Praca doktorska, Uniwersytet Gdański.
- [15] Louis G.M.B., Chen Z., Peterson M., Hediger M.R., Croughan M.S., Sundaram R., Stanford J.B., Varner M.W., Fujimoto V.Y., Giudice L.C., Trumble A., Parsons P.J., Kannan K., 2012, Persistent Lipophilic Environmental Chemicals and Endometriosis: The ENDO Study, *Environ Health Perspect.* 120(6), 811–816.
- [16] Maciak J., Lewandowski K., Niemirycz E., 2016, Migration of pentachlorophenol in artificial and natural sediments of Puck Bay, *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 45(3), 368–376.
- [17] Meijer S.N., Ockenden W.A., Sweetman A., Breivik K., Grimalt J.O., Jones K.C., 2003, Global distribution and budget of PCB and HCB in background surface soils: implications for sources and environmental processes. *Environmental Science & Technology*, 37(4), 667–672.
- [18] Niemirycz, E., 2008, Halogenated organic compounds in the environment in relation to climate change. *Environmental Monitoring Library*, Warszawa, 120.
- [19] Niemirycz E., 2010, Sprawozdanie z udziału w spotkaniu Grupy Specjalnej TZO w ramach Konwencji EKG ONZ w sprawie Transgranicznego Zanieczyszczenia Powietrza na Dalekie Odległości, Montreal, Materiały Ministerstwa Środowiska.
- [20] Niemirycz, E., Jankowska, D., 2011, Concentrations and profiles of PCDD/Fs in sediments of major Polish rivers and the Gdansk Basin–Baltic Sea. *Chemosphere* 85, 525–532.
- [21] Niemirycz E., Witt M., Kobusińska M., 2016, Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans (PCDD/F) Measurements in Ambient Air over the Northern Poland. *International Journal of Chemical Engineering and Applications* 7, 32–35.
- [22] Pavuk M., Serio T.C., Cusack C., Cave M., Rosenbaum P.F., Birnbaum L.S., 2019, Hypertension in Relation to Dioxins and Polychlorinated Biphenyls from the Anniston Community Health Survey Follow-Up, *Environ Health Perspect* 127(12), 127007.
- [23] Quass U., Fermann M., Bröker G., 2004, The European dioxin air emission inventory project-final results, *Chemosphere*, 54(9):1319–27 Eurochlor 2018, Annual Chlor-alkali industry review 2017/2018.
- [24] Rappe C., 1992, Sources of PCDDs and PCDFs, introduction, reaction, levels, patterns, profiles and trends, *Chemosphere*, 25, 41–44.
- [25] Sanità di Toppi L., Sanità di Toppi L., Bellini E., 2020, Novel Coronavirus: How Atmospheric Particulate Affects Our Environment and Health, *Challenges* 11(6), 1–12.
- [26] Setti L., Passarini F., De Gennaro G., Barbieri P., Perrone M.G., Piazzalunga M., Borelli M., Palmisani J., Di Gilio A., Piscitelli P., i in. 2020, The Potential Role of Particulate Matter in the Spreading of COVID-19 in Northern Italy: First Evidence-Based Research Hypotheses, *BMJ Rapid Responses*.
- [27] Trivedi S., Arora R.R., 2018, Association of Dioxin and Dioxin-like Congeners With Hypertension. *Fed Pract.* 35(5):20–26.
- [28] Verta M., Salo S., Korhonen M., Aasmuth T., Kiviranta H., Koistinen J., Ruokojärvi P., Isosaari P., Bergqvist P.-A., Tysklind M., Cato I., Vikelsoe J., Larsen M.I., 2007, Dioxin concentrations in sediments of the Baltic Sea – A survey of existing data. *Chemosphere*, 67, 1762–1775.
- [29] Wielgosiński G., 2009, Emisja dioksyn z procesów termicznych i metody jej ograniczania. Polska Akademia Nauk, Łódź, ISBN 978-83-86492-53-4.
- [30] Witt M., 2015, Accumulation of persistent organic pollutants in the bottom sediments of the Baltic Sea and impact of atmospheric deposition on this process. University of Gdańsk, Praca doktorska, Uniwersytet Gdański.

**dr hab. inż., prof. UG Elżbieta Niemirycz  
mgr Marta Kobusińska**

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