



POLITECHNIKA LUBELSKA
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

Doktor Honoris Causa
Politechniki Lubelskiej



Profesor
Lidia
MORAWSKA

Lublin 2025

Doktor Honoris Causa Politechniki Lubelskiej

Profesor Lidia Morawska



Lublin 2025

**Uchwała Nr 24/2024/V
Senatu Politechniki Lubelskiej
z dnia 25 kwietnia 2024 r.**

***w sprawie nadania
prof. Lidii Morawskiej
tytułu doktora honoris causa Politechniki Lubelskiej***

Działając zgodnie z § 7 ust. 2 oraz § 23 ust. 1 pkt 2 Statutu Politechniki Lubelskiej, na wniosek Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Lubelskiej, Senat u c h w a l a, co następuje:

§ 1.

Senat Politechniki Lubelskiej, po zapoznaniu się z opiniami prof. dr hab. inż. Bożeny Zabiegały z Politechniki Gdańskiej, prof. dr. hab. inż. Zbigniewa Popiołka z Politechniki Śląskiej oraz prof. Pawła Wargockiego z Technical University of Denmark, oceniając dorobek naukowy, dydaktyczny i organizacyjny jako wybitny,

n a d a j e

prof. Lidii Morawskiej

tytuł

**DOKTORA HONORIS CAUSA
POLITECHNIKI LUBELSKIEJ.**

§ 2.

Uchwała wchodzi w życie z dniem podpisania przez rektora Politechniki Lubelskiej.

Przewodniczący
Senatu Politechniki Lubelskiej



Prof. dr hab. inż. Zbigniew Pater

SUMMIS AUSPICIIS
SERENISSIMAE REI PUBLICAE POLONORUM
NOS
RECTOR
PRAESES CONSILII ARTIS INGENIARIAE AMBIENTIIUM NATURAE,
ARTIS METALLICAE ATQUE ENERGETICAE
DECANUS FACULTATIS ARTIS INGENIARIAE AMBIENTIIUM NATURAE
ATQUE ARTIS ENERGETICAE
NEC NON
PROMOTOR RITE CONSTITUTUS
SENATU POLYTECHNICAE LUBLINENSIS IUUVANTE
LAUDATIONES PROFESSORUM BOZENAE ZABIEGAŁA, SBYGNEI POPIOLEK,
PAULI WARGOCKI CONSULTORUM SECUTI
SENATIBUS POLYTECHNICAE GEDANENSIS ET POLYTECHNICAE SILESIENSIS
FAVENTIBUS

IN
CLARISSIMAM ET DOCTISSIMAM DOMINAM
INTER DOCTORUM ORDINES MAGNA AUCTORITATE PROFESSOREM

LYDIAM MORAWSKA

QUAE STUDIOSSIME ET EXQUISITISSIME DIVERSIS DISCIPLINIS USA
SUPER QUALITATE AERIS ET VI, QUAM AD VALETUDINEM ANIMALIUM NEC MINUS
AMBIENTIA NATURAE IDEM HABERET, INVESTIGATIONES EXERCUIT EASQ VALDE
EXCOLUIT AC PRAETEREA SUCCESSUS POLONORUM PEREGRE DIVULGAVIT

**DOCTORIS HONORIS CAUSA
SCIENTIARUM TECHNICARUM**

NOMEN AC DIGNITATEM, IURA AC PRIVILEGIA CONTULIMUS IN EIUSQUE REI
FIDEM HOC DIPLOMA SIGILLO POLYTECHNICAE LUBLINENSIS SANCIENDUM
CURAVIMUS

SBYGNEUS PATER



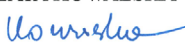
H. T. RECTOR MAGNIFICUS

MARENNA DUDZIŃSKA



PROMOTOR

BEATA KOWALSKA



H. T. DECANUS

MARGARITA PAWŁOWSKA



H. T. PRAESES CONSILII

LUBLINI, DIE XIII MENSIS MAII A. D. MMXXV

Laudacja

Laudation



Dostojna Doktor Honoris Causa,
Czcigodni Doktorzy Honoris Causa i Honorowi Profesorowie Politechniki
Lubelskiej,
Szanowni Goście,
Magnificencjo Rektorze,
Wysoki Senacie,

Zaczynam tę laudację od powitań i zwrócenia się do Profesor Lidii Morawskiej jako doktora honoris causa naszej uczelni, choć właściwie powinnam powiedzieć:

Distinguished Professor Politechniki w Queensland, Australia,

Australian Laureate Fellow

Director of International Laboratory for Air Quality and Health,

Director, ARC Training Centre for Advanced Building Systems Against
Airborne Infection Transmission (Thrive),

Vice-Chancellor Fellow, Global Centre for Clean Air Research (GCARE),
University of Surrey, UK,

Adjunct Professor, Institute for Environmental and Climate Research
(ECI), Jinan University, Guangzhou, China,

Jedna ze 100 najbardziej wpływowych osób w roku 2021 według magazynu *Times*, jeśli wymienialibyśmy tylko aktualne funkcje i zaszczyty.

Przede wszystkim jednak Lidia Morawska jest wybitnym naukowcem i światowym autorytetem w interdyscyplinarnym obszarze jakości powietrza i jego wpływu na zdrowie i środowisko, ze szczególnym uwzględnieniem cząstek zawieszonych, w tym ultradrobnych. Przez prawie 40 lat prowadziła szeroko zakrojone badania nad aerozolami (od radonu, emisji z transportu, powietrza wewnętrznego, po modelowanie przemieszczania cząstek zawieszonych), które były inspiracją dla naukowców z całego świata, a także miały wpływ na rekomendacje Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) i regulacje w kilku krajach. To jej zawdzięczamy, że nasza walka z COVID została oparta na naukowych podstawach i WHO uznało rozprzestrzenienie się wirusa drogą kropelkową.

Lidia Morawska przewodziła powołanej w 2020 roku interdyscyplinarnej grupie badawczej, złożonej z 239 naukowców z całego świata. Grupa ta badała rolę drogi kropelkowej w rozprzestrzenianiu się wirusa SARS-CoV-2, a na podstawie efektów jej prac WHO zaktualizowało swoje zalecenia sanitarno-epidemiologiczne.

Jej przywództwo umożliwiło decydom w zakresie zdrowia publicznego opracowanie bardziej zrównoważonych ścieżek prowadzących do polepszenia

jakości powietrza i wywołało dyskusje na temat optymalnego projektowania i eksploatacji budynków.

Miała także wpływ na firmy i koncerny, bo jej badania nad aerozolami wtórnymi powstającymi przy eksploatacji drukarek, a zwłaszcza szerokie nagłośnienie wyników tych badań, miały też wpływ na producentów. Dzięki temu drukarki, które kupujemy obecnie, emitują znacznie mniej cząstek ultradrobnych niż pierwsze generacje.

Lidia Morawska urodziła się w Tarnowie, a dorastała w Przemyśle, gdzie ukończyła szkołę podstawową i średnią. Studiowała fizykę na Uniwersytecie Jagiellońskim w Krakowie, gdzie po uzyskaniu magisterium z wyróżnieniem obroniła w roku 1982 doktorat *summa cum laude* na podstawie badań nad radonem i jego pochodnymi.

W latach 1982–1987 pracowała w Instytucie Fizyki i Technik Nuklearnych Akademii Górniczo-Hutniczej (AGH) w Krakowie.

Jako stypendystka Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej w Wiedniu pojechała do Kanady i w latach 1987–1988 prowadziła badania na McMaster University w Hamilton, a następnie na University of Toronto, Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry.

W roku 1991 przeniosła się do Australii i rozpoczęła karierę na Queensland University of Technology (QUT), Brisbane. Z Politechniką w Queensland jest związana do dziś.

Obecnie jest profesorem School of Earth and Atmospheric Sciences, na Politechnice w Queensland (Queensland University of Technology w Brisbane, Australia (od 2020 – *distinguished professorship*)).

W 1992 roku utworzyła na QUT Environmental Aerosol Laboratory, które zostało przekształcone w roku 2002 w International Laboratory for Air Quality and Health (ILAQH), kiedy to zostało włączone w sieć centrów współpracujących z WHO – WHO Collaborating Centre for Air Quality and Health.

Profesor Lidia Morawska jest długoletnim współpracownikiem i doradcą WHO, od roku 1990 uczestniczyła w tworzeniu wszystkich zaleceń WHO związanych z jakością powietrza. W latach 2006–2021 współprzewodniczyła zespołowi odpowiedzialnemu za opracowywanie standardów – Guideline Development Group.

W roku 2014, razem z naukowcami z Chin, utworzyła Australia-China Centre for Air Quality Science and Management (ACC-AQSM), którego jest australijskim dyrektorem.

Jest także Adjunct Professor w Institute for Environmental and Climate Research (ECI), the Jinan University, Guangzhou, China (od 2018) oraz

Vice-Chancellor Fellow, Global Centre for Clean Air Research (GCARE), University of Surrey, United Kingdom (od 2020).

Jest autorką ponad tysiąca publikacji podkreślających zagrożenia dla zdrowia człowieka związane z narażeniem na zanieczyszczenia w budynkach, narażenia na substancje chemiczne i czynniki biologiczne (gazy i cząstkami stałe), w wielu środowiskach, w tym na obszarach miejskich czy w obiektach, takich jak domy, szkoły, hale sportowe oraz transport publiczny.

W bazie Scopus była cytowana ponad 131 567 razy, a jej h-index wynosi 107.

W bazie Google Scholar jej h-index wynosi 125, a i 10-index wynosi 468 przy ponad 209 580 cytowaniach (ponad 153 505 od roku 2018).

Lidia Morawska publikuje głównie w międzynarodowych czasopismach z kwartylu pierwszego (Q1) – stanowi to 74% jej publikacji.

Jej ostatnie publikacje z przełomowych badań na temat transmisji cząstek w powietrzu opublikowano w czasopismach o największym *impact factor* w tej dziedzinie, *The Lancet* (IF 59.100), *Nature* (IF 42.770), *Nature Communications* (IF 14.920) i *Science* (IF 41.840).

W czasie swojej kariery na QUT (od roku 1992) otrzymała ponad 100 grantów, na łączną sumę ponad 25 mln dolarów, finansowanych przez Australian Research Council oraz National Health and Medical Research Council, Australia, a także uczestniczyła w projektach finansowanych przez Unię Europejską, będąc członkiem międzynarodowych konsorcjów koordynowanych przez badaczy z krajów europejskich. Projekty dotyczyły m.in. sieci detekcji i analizy jakości powietrza, ekspozycji dzieci na aerozole, nanocząstek, ich detekcji oraz wpływu na zdrowie, optymalizacji jakości powietrza wewnętrznego i zużycia energii w budynkach. W ostatnich latach są to projekty związane z projektowaniem i funkcjonowaniem budynków, tak aby minimalizować możliwości przenoszenia cząstek drobnych, w tym wirusów.

Jej badania i ich wyniki zostały dostrzeżone przez różne gremia naukowe i nie tylko naukowe:

- 2011 – przyznano jej Clean Air Medal, Clean Air Society of Australia and New Zealand (CASANZ) za: „trwały i konkretny wkład w zrozumienie drobnych cząstek w powietrzu.”
- 2017 – David Sinclair Award, nagrodę przyznaną przez American Association for Aerosol Research (AAAR).
- 2020 – znalazła się na liście 40 czołowych naukowców czasopisma *The Australian Research Magazine* (2020) w sekcji Nauk o Życiu i Ziemi oraz na liście 40 ważnych Australijczyków magazynu *The Sydney Morning Herald* w dziedzinie Zdrowie i Nauka.

- 2020 – wybrano ją na członka Australijskiej Akademii Nauk (Fellow to the Australian Academy of Science).
- 2021 – International Society of Indoor Air and Climate przyznało jej ISIAQ Special 2020 Award za: „an extraordinary academic leadership”.
- 2021 – magazyn *Time* umieścił jej nazwisko na corocznej liście 100 najbardziej wpływowych ludzi na świecie. Została wyróżniona w kategorii innowatorzy, w uznaniu jej zasług dla skuteczniejszej walki z wirusem SARS-CoV-2.
- 2021 – otrzymała tytuł Australijskiego Człowieka Sukcesu oraz Supergwiazdy Badań Naukowych w obszarze Nauk o Życiu i Ziemi.
- 2022 – zajęła 13. miejsce w Australii i 435. na świecie w Research.com – Ranking 1000 Czołowych Kobiet-Naukowców na Świecie.
- 2023 – Lider Nauk o Środowisku czasopisma *Research*.
- 2023 – laureatka międzynarodowej nagrody L’Oreal-UNESCO dla Kobiet i Nauki.
- 2023 – 2. miejsce w Australii i 86. na świecie w Research.com – Najlepsi Naukowcy Nauk o Środowisku.
- 2023 – Matthew Flinders Medal, Australian Academy of Science. Członkostwo z wyboru / na zaproszenie.

Została wybrana lub zaproszona do prestiżowych stowarzyszeń naukowych w Australii:

- członek Royal Society of Biology (zaproszona),
- członek Queensland Academy of Arts and Sciences (QAAS) (zaproszona),
- członek Australian Academy of Science (z wyboru).

Pozycję naukową profesor Morawskiej potwierdza także powoływanie jej do licznych rad redakcyjnych międzynarodowych czasopism, w tym tak prestiżowych jak *Science of the Total Environment*, gdzie jest *associate editor* od 2007 roku; *Indoor Air, Building and Environment, Environmental Research Letters, Clean Air, Atmospheric Pollution Research, Journal of Aerosol Science*.

W latach 1994–2023 pełniła funkcje w komitetach naukowych 64 międzynarodowych konferencji naukowych.

Jest członkiem Clean Air Society of Australia and New Zealand (CASANZ), International Society of Indoor Air Quality and Climate (ISIAQ) oraz American Association for Aerosol Research (AAAR), a w latach 2000–2003 pełniła funkcję prezesa ISIAQ – president of International Society of Indoor Air and Climate – jako pierwsza kobieta.

Ale o wielkości naukowca świadczą jego uczniowie.

Profesor Morawska wypromowała 51 doktorów (33 – promotor, 18 – współpromotor) oraz opiekuje się kolejnymi ośmioma (5 jako promotor, 3 – współpromotor). Byli to doktoranci z wielu krajów.

Oprócz bezpośredniej opieki ważna też dla niej zawsze była i jest współpraca z kolegami i koleżankami badaczami i praktykami. W ramach współpracy w wielu zespołach gromadziła wokół siebie, a raczej wokół zagadnień, które ją interesowały, naukowców z wielu krajów. Reprezentując Australię, nie mogła oficjalnie być koordynatorem zespołów finansowanych przez Unię Europejską, ale często przy aplikacji o projekty korzystano z jej kontaktów i pomysłów naukowych – to była jej inicjatywa. Nie zawsze udawało się dostać takie finansowanie, mimo wysokiej oceny wniosków, ale kontakty i przyjaźnie pozostawały.

Profesor Lidia Morawska utrzymuje także bardzo intensywne kontakty z Polską – zarówno osobiste, rodzinno-przyjacielskie, jak i naukowe. Wiele osób obecnych dziś na tej sali może powiedzieć, że miało okazję, a raczej zaszczyt i przyjemność albo współpracować z Profesorem Morawską, albo zainspirować się jej badaniami.

Współpraca Profesora Morawskiej z zespołem zajmującym się jakością powietrza na Politechnice Lubelskiej (obecnie Katedra Jakości Powietrza Wewnętrznego i Zewnętrznego, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki) rozpoczęła się w roku 2011.

W roku 2013 podpisano oficjalną umowę o współpracy pomiędzy QUT i LUT, a w roku 2017 – aneks do umowy o możliwości wspólnego nadawania stopnia doktora – *joint doctoral degree*.

Współpraca obejmowała wspólne publikacje, liczne wizyty studyjne, działalność w komitetach naukowych konferencji, występowanie o wspólne projekty oraz opiekę naukową nad doktorantami.

To profesor Lidia Morawska po jednej ze swoich wizyt w Lublinie, gdy zwiedziła nasz kampus i budynki, zainspirowała nas do złożenia aplikacji do ISIAQ o organizację HB Europe 2017. W procedurze konkursowej przyznano nam tę organizację i w lipcu 2017 roku Politechnika Lubelska gościła 344 naukowców z 38 krajów. Organizacja tej konferencji poprawiała rozpoznawalność naszej uczelni wśród naukowców zajmujących się jakością środowiska wewnętrznego.

Jednak historia naszych kontaktów jest przede wszystkim wspaniałym dowodem na to, jak ważne są osobiste kontakty, np. na konferencjach naukowych. Żadne spotkania on-line nie zastąpią dyskusji w luźniejszej atmosferze w czasie spotkania koleżeńskiego na ranczu niedaleko Austin w Teksasie

w czasie konferencji Indoor Air 2011. Czy naszej dyskusji w samochodzie, gdy wracaliśmy do Brisbane (konferencja Healthy Buildings 2012 w Brisbane, którą prof. Morawska organizowała).

Rozmowy konferencyjne o możliwościach wspólnych badań doprowadziły nie tylko do podpisania tej oficjalnej umowy w 2013 roku, ale przede wszystkim do rozszerzenia części badawczej doktoratu prowadzonego na QUT przez profesor Morawską o badania chemiczne, które miałam nadzorować jako promotor zewnętrzny (*external supervisor*). Doktorantem był Tenzin Wangchuk z Bhutanu, słuchacz studiów doktoranckich w Brisbane, a badania do doktoratu „Assesment of indoor air pollution levels from fuel combustion in the residential environment in rural Bhutan”, który obronił na QUT w roku 2015, były prowadzone w Bhutanie (ekspozycja dzieci na zanieczyszczenia), Polsce (Lublin) – analiza chemiczna pobranych próbek i opracowanie wyników oraz w Australii (Brisbane) – analiza i opracowanie wyników dotyczących cząstek superdrobnych. Drugi promotor zewnętrzny – prof. Giorgio Buonanno, który nadzorował symulacje komputerowe, jest Włochem.

Współpraca międzynarodowa w takich zespołach jest bardzo twórcza. Jednak później, przy wspólnych publikacjach Tenzina, oprócz odpowiedzi na uwagi merytoryczne, musiałyśmy tłumaczyć recenzentom, dlaczego do doktoratu prowadzonego w Australii na podstawie badań w Bhutanie analizy chemiczne były robione w Lublinie, w naszym laboratorium.

A dlaczego nie? Mamy dobre laboratorium. Nauka jest jedna, świat jest wielki, ale wspólny!

Ze względu na różne procedury w Polsce i w Australii trochę więcej czasu zajęło przygotowanie prowadzenia wspólnych doktoratów i sfinalizowaliśmy umowę o *joint doctoral degree* dopiero w 2017.

Jednak w czasie opieki nad analizami Tenzina czy przygotowywania umowy o wspólnych doktoratach nigdy bym nie pomyślała, że spotka mnie zaszczyt i przyjemność bycia też promotorem Lidii – to znaczy promotorem jej doktoratu *honoris causa*.

Prof. dr hab. Marzenna R. Dudzińska

Distinguished Doctor Honoris Causa,
Venerable Doctors Honoris Causa and Honorary Professors of the Lublin
University of Technology,
Distinguished Guests,
Your Magnificence Rector,
Your Honorable Senate,

I begin this laudation by welcoming and addressing Professor Lidia Morawska as Distinguished Doctor Honoris Causa of our University, although actually I should say:

Distinguished professor of Queensland University of Technology, Australia
Australian Laureate Fellow

Director of International Laboratory for Air Quality and Health (WHO CC
for Air Quality and Health)

Director, ARC Training Centre for Advanced Building Systems Against
Airborne Infection Transmission (Thrive)

Vice-Chancellor Fellow, Global Centre for Clean Air Research (GCARE),
University of Surrey, UK

Adjunct Professor, Institute for Environmental and Climate Research (ECI),
Jinan University, Guangzhou, China

One of the hundred most influential people in the world in the year 2021,
according to *Times* magazine.

That is if we were to list only her current functions and honours.

First and foremost, however, Lidia Morawska, is an outstanding scientist and world-renowned authority in the interdisciplinary field of air quality and its impact on human health and the environment, with a specific focus on atmospheric particulate matter, including ultrafine particles. For nearly 40 years, she has conducted extensive research on aerosols (from radon, emissions from transportation, indoor air, to modelling the movement of suspended particles), which has inspired scientists around the world and influenced World Health Organization (WHO) recommendations and regulations in several countries. It is to her credit that our fight against COVID was finally formed on scientific bases and the WHO recognized the spread of the virus by airborne transmission.

Lidia Morawska led an interdisciplinary research group established in 2020, consisting of 239 scientists from all over the world. The group studied the role of airborne transmission in the spread of the SARS-CoV-2 virus, and

based on the results of its work the WHO updated its sanitary-epidemiological recommendations.

Her leadership enabled public health policymakers to develop more sustainable pathways to improve air quality and has initiated discussions on optimal buildings design and operation.

She also had an impact on companies and corporations because of her research on secondary aerosols created by the operation of printers, and especially the widespread attention given to the results of her research also had an impact on manufacturers and thus the printers we buy today emit far fewer ultrafine particles than the first generations of printers.

Lidia Morawska was born in Tarnow and grew up in Przemysl, where she completed elementary and high school. She studied physics at Jagiellonian University in Krakow, where, after receiving her master's degree with honours, she received her PhD *summa cum laude* in 1982 based on her research on radon and its progeny.

From 1982 to 1987, she worked at the Institute of Physics and Nuclear Techniques, Academy of Mining and Metallurgy, Cracow in Poland.

As a Post-Doctoral Fellow of the International Atomic Energy Agency in Vienna, she went to Canada and from 1987 to 1988 she conducted research, first at McMaster University, Department of Geology in Hamilton and then at University of Toronto, Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry in Toronto.

In 1991, she moved to Australia and began her career at Queensland University of Technology (QUT) in Brisbane. She has been associated with Queensland University of Technology ever since.

She is currently a professor in the School of Earth and Atmospheric Sciences, at the Queensland University of Technology (QUT) in Brisbane, Australia (distinguished professor since 2020).

In 1992, she established the Environmental Aerosol Laboratory at QUT, which became the International Laboratory for Air Quality and Health (ILAQH) in 2002, when it was integrated into the WHO Collaborating Center for Air Quality and Health.

Professor Lidia Morawska is a long-standing collaborator and advisor to the WHO and has contributed to the development of all WHO air quality-related guidelines since 1990. From 2006 to 2021, she co-chaired the Guideline Development Group, responsible for the development of numerous standards.

In 2014, together with scientists from China, she established the Australia – China Centre for Air Quality Science and Management (ACC-AQSM), of which she is the Australian Director.

She is also an Adjunct Professor at the Institute for Environmental and Climate Research (ECI), the Jinan University, Guangzhou, China (since 2018); and Vice-Chancellor Fellow, Global Centre for Clean Air Research (GCARE), University of Surrey, United Kingdom (since 2020).

She is an author of more than 1000 publications highlighting the human health risks associated with the exposure to pollutants in buildings, exposures to chemicals and biological agents (gases and particulates) in a wide range of environments, including urban areas or facilities such as houses, schools, sports halls or public transportation.

In Scopus, she has been cited over 131,567 times and her Scopus h-index is 107.

In Google Scholar, her h-index is 125, her i10 index is 468 and she has been cited over 209,580 times (over 153,505 since 2018).

Over the course of her career, the main outlet for her publications are quartile one (Q1) international journals comprising of 74% of the total number of outputs.

Her most recent publications contributing to ground-breaking research on airborne transmission were published in one of the highest impact factor journals in the field, *The Lancet* (IF 59.100), *Nature* (IF 42.770), *Nature Communications* (IF 14.920) and *Science* (IF 41.840).

During her career at QUT (since 1992), she has received more than 100 grants, totaling more than 25 million dollars, funded by the Australian Research Council and the National Health, Medical Research Council, Australia, and also has participated in projects funded by the European Union, being a member of international consortia coordinated by researchers from European countries. Projects have involved, among others, air quality detection and analysis networks, children's exposure to aerosols, nanoparticles, their detection and health effects, optimization of indoor air quality and energy consumption in buildings. In recent years, these include projects related to the design and operation of buildings to minimize the potential for the transmission of fine particles, including viruses.

Her research and its results have been recognized by various scientific and non-scientific bodies.

- In 2011 she was awarded Clean Air Medal, Clean Air Society of Australia and New Zealand (CASANZ) for „sustained and dedicated contribution to the understanding of fine particles in the air”.
- In 2017 she received David Sinclair Award from American Association for Aerosol Research (AAAR).

- In 2020, she was named in the list of Top 40 Australian Researchers in *The Australian Research Magazine* in the Life Sciences & Earth Sciences section, ranked in The Sydney Morning Herald's Good Weekend's 40 Australians Who Mattered: Health and Science, and ranked 16,428 in the Stanford University ranking of 100,000 Top Scientists.
- In 2020 she was elected a Fellow to the Australian Academy of Science.
- In 2021 she received ISIAQ Special 2020 Award for "an Extraordinary Academic Leadership," International Society of Indoor Air and Climate.
- In 2021 she was named in the 2021 TIME100 annual list of the hundred most influential people in the world. She was honoured in the innovators category, in the recognition of her contributions to a more effective fight against SARS-CoV-2 virus.
- In 2021 she was named an Australian Man of Success and a Life and Earth Science Research Superstar in the field of Life and Earth Science.
- In 2022 she was ranked 13th in Australia and 435th in the world, in Research.com – Ranking of the Top 1000 Women Scientists in the World.
- In 2023 she was named a "Leader in the field of Environmental Sciences" in the *Research* magazine.
- In 2023 she became a winner of the L'Oréal-UNESCO For Women in Science International Award.
- In 2023 she was ranked 2nd in Australia and 86th in the world in Research.com's Best Environmental Science Scientists.
- In 2023 she received Matthew Flinders Medal, Australian Academy of Science.

Lidia Morawska was elected or invited to the following prestigious science associations in Australia:

- Fellow of the Royal Society of Biology (Invited)
- Fellowship, Queensland Academy of Arts and Sciences (QAAS) (Invited)
- Fellow Australian Academy of Science (Elected).

Professor Morawska's scientific standing is also confirmed by her appointment to numerous editorial boards of international journals, including such prestigious ones as *Science of the Total Environment*, where she has been associate editor since 2007; *Indoor Air*, *Building and Environment*, *Environmental Research Letters*, *Clean Air*, *Atmospheric Pollution Research*, *Journal of Aerosol Science*.

From 1994 to 2023, she served on the Scientific Committees of 64 International Scientific Conferences.

She is a member of the Clean Air Society of Australia and New Zealand (CASANZ), the International Society of Indoor Air Quality and Climate (ISIAQ), and the American Association for Aerosol Research (AAAR), and was the first woman to serve as the President of International Society of Indoor Air and Climate (ISIAQ) – from 2000 to 2003.

However, the greatness of scientists is evidenced by their students.

Professor Morawska has supervised 51 PhD Students (33 – Principle, 18 – Associate), and is mentoring another eight PhD Students (5 as Principle, 3 – Associate). And these were PhD students from many different countries.

Apart from direct mentorship, cooperation with Fellow researchers and practitioners has also always been important to her. As part of her collaboration in numerous teams, she gathered scientists from many countries around her, or rather around the issues that were of interest to her. Representing Australia, she could not officially be the coordinator of teams funded by the European Union, but often her contacts and scientific ideas were used when applying for projects – this was her initiative.

In spite of the high evaluation of applications, it was not always possible to receive such funding, but the contacts and friendships remained.

Professor Lidia Morawska maintains intensive contacts with Poland, both personal (family and friendships), as well as scientific ones. Many Polish colleagues present here today can say that they have had the opportunity, or rather the honour and pleasure, to either collaborate with or be inspired by Professor Morawska's research.

Professor Morawska's cooperation with the air quality team at Lublin University of Technology (now the Department of Indoor and Outdoor Air Quality, Faculty of Environmental Engineering and Energy) began in 2011.

In 2013, a formal cooperation agreement was signed between QUT and LUT, and in 2017, an addendum to the agreement was signed on the possibility of awarding joint doctoral degree.

The cooperation included joint publications, numerous study visits, activities in the Scientific Committees of conferences, applying for joint projects and doctoral students.

It was Professor Lidia Morawska who, after one of her visits to Lublin, when she toured our campus and buildings, inspired us to apply to ISIAQ to organize HB Europe 2017. In the competition procedure, we were awarded the organization of this conference and in July 2017 Lublin University of Technology hosted 344 scientists from 38 countries.

The organization of this conference has improved the recognition of our university among indoor air quality scientists.

However, the history of our contacts is mostly a great proof of the importance of personal contacts, for example at scientific conferences. No online meetings can replace the discussions in a more relaxed atmosphere such as one at a collegial meeting at a ranch near Austin, Texas during the 2011 Indoor Air conference, or our discussion in the car as we drove back to Brisbane (the Healthy Buildings 2012 conference in Brisbane, which was organized by Prof. Morawska).

The conference discussions about the possibilities of joint research led not only to the signing of this official agreement in 2013, but more importantly to the expansion of the research part of the PhD conducted at QUT by Professor Morawska to include chemical research, which I was to supervise as an external supervisor. The doctoral student was Tenzin Wangchuk from Bhutan, a doctoral student in Brisbane and the research for his doctoral dissertation “Assesment of indoor air pollution levels from fuel combustion in the residential environment in rural Bhutan”, which he obtained at QUT in 2015, was conducted in Bhutan (children’s exposure to pollutants), Poland (Lublin) – chemical analysis of collected samples and development of results, and Australia (Brisbane) – analysis and development of results on superfine particles. The second external supervisor – Prof. Giorgio Buonanno, who supervised the computer simulations – is Italian.

International cooperation in such teams is very creative. However, after Tenzin’s joint publications, in addition to responding to substantive comments we also had to explain to reviewers why chemical analyses were performed in our laboratory in Lublin, for a doctoral thesis conducted in Australia on the basis of research in Bhutan.

Then again, why not? We have a good laboratory. There is one science, the world is big but it is common!

Due to different procedures in Poland and Australia, it took a little more time to prepare the conduct of joint doctorates, thus we finalized the agreement on Joint doctoral degrees only in the year 2017.

However, at the time of taking care of Tenzin’s analyses or preparing the agreement on joint doctorates I would never have imagined that I would have the honour and pleasure of also being Lidia’s supervisor – that is, the supervisor of her honorary doctorate *honoris causa*.

Prof. Marzenna R. Dudzińska

Opinie i uchwały

Opinions and resolutions





**Uchwała Senatu PG
nr 457/2024/XXV
z 20 marca 2024 r.**

w sprawie: przyjęcia recenzji przygotowanej przez prof. Bożenę Zabiegałą w postępowaniu o nadanie prof. Lidii Morawskiej tytułu i godności doktora honoris causa Politechniki Lubelskiej.

§ 1 Senat Politechniki Gdańskiej na podstawie § 28 ust. 1 pkt. 19 Statutu PG przyjmuje recenzję przygotowaną przez prof. dr hab. inż. Bożenę Zabiegałą w postępowaniu o nadanie prof. Lidii Morawskiej tytułu i godności doktora honoris causa Politechniki Lubelskiej.

§ 2 Uchwała wchodzi w życie z dniem podjęcia.

Przewodniczący Senatu
Rektor PG

prof. Krzysztof Wilde, czł. koresp. PAN

Gdańsk, 18.03.2024

Prof. dr hab. inż. Bożena Zabiegała
Politechnika Gdańska
Wydział Chemiczny
Katedra Chemii Analitycznej

OPINIA

W świecie akademickim tradycja doktoratu honoris causa wywodzi się z okresu średniowiecza. Zapoczątkowano ją w 1478 r. na uniwersytecie w Oksfordzie obdarzając tą godnością Biskupa Lionela Woodvilla.

Współcześnie tytuł honorowy doktora jest połączony z legitymowaniem się uznanymi osiągnięciami, a osobom wyróżnionym nadaje wysoki status. Osoby posiadające tytuł doktora honoris causa to wybitni uczeni, twórcy, politycy, postacie charyzmatyczne. Dlatego też decyzję władz Politechniki Lubelskiej o wszczęciu postępowania o nadaniu prof. Lidii Morawskiej tytułu honorowego i godności doktora honoris causa przyjąłam z ogromną satysfakcją. Dotyczy ona bowiem, moim zdaniem, znakomitej uczzonej, osoby o ogromnym wręcz dorobku naukowym ale też osoby, której wiedza, doświadczenie i niekwestionowany autorytet ma realny wpływ na otaczającą nas rzeczywistość. Profesor Lidia Morawska prowadzi bowiem badania podstawowe i aplikacyjne w interdyscyplinarnej dziedzinie dotyczącej jakości powietrza oraz jego wpływu na zdrowie człowieka i środowisko. A trudno nie zgodzić się z opinią Pani Profesor, że nie ma nic bardziej fundamentalnego niż powietrze, którym oddychamy. Prowadzone przez prof. Lidię Morawską badania pomagają na nowo zdefiniować naukę o zanieczyszczeniu powietrza i co również istotne zmienić sposób, w jaki społeczeństwo postrzega problem jakości powietrza zarówno atmosferycznego jak i powietrza wewnętrznego.

Szczególnie bliski profesor Lidii Morawskiej obszar wiedzy, to nauka o aerozolach. Zajmując się od ponad 30 lat fizyką cząstek stałych i aerozolami atmosferycznymi uznawana jest obecnie za jednego z najlepszych na świecie badaczy w dziedzinie aerozoli atmosferycznych.

Jestem osobą, która czytała i czyta publikacje autorstwa Pani Profesor, jako że moje zainteresowania naukowe skupiają się również na jakości powietrza, przede wszystkim powietrza wewnętrznego. Miałam również okazję spotkać ją i być słuchaczem jej wykładów konferencyjnych. Zawsze było to połączenie przyjemności z uznaniem dla wiedzy, którą prezentowała. Profesor Lidia Morawska jest osobą potrafiącą skupić uwagę i zainteresować odbiorców/słuchaczy.

Napisane opinii o Pani Profesor Lidii Morawskiej jest więc dla mnie osobiście nie tylko wyróżnieniem, wielkim zaszczytem i przyjemnością ale również wyzwaniem. Dotyczy bowiem opiniowania osoby rozpoznawalnej w świecie nauki wśród fizyków, chemików, lekarzy czy epidemiologów. Jest Osobowością w świecie nauki, naukowcem, który wytycza kierunki.

Sylwetka profesor Lidii Morawskiej

Profesor Lidia Morawska urodziła się w Tarnowie ale wychowała w Przemyśle. Chciała zostać fizykiem jądrowym. Studiowała więc fizykę na Uniwersytecie Jagiellońskim w Krakowie. Na tej uczelni w 1982 roku obroniła z wyróżnieniem doktorat, zajmując się w pracy naukowej radonem oraz jego pochodnymi. Po obronie doktoratu, w latach 1982-1987, była pracownikiem naukowym w Instytucie Fizyki i Technik Jądrowych Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. W latach 1987-1991, jako stypendystka, wyjechała do Kanady i prowadziła badania najpierw na Uniwersytecie McMaster w Hamilton, jako adiunkt w Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej, a następnie na Uniwersytecie w Toronto. Od 1991 roku jest pracownikiem Queensland University of Technology (QUT) w Brisbane w Australii. Od tego momentu **Jej naukowe zainteresowania wyewoluowały od fizyki jądrowej do fizyki cząstek stałych.** W 1991 r. została mianowana starszym wykładowcą na QUT, a w 2003 r. awansowała na stanowisko profesora. W 1992 r. założyła Laboratorium Aerozoli Środowiskowych na QUT, przemianowane w 2002 r. na International Laboratory for Air Quality and Health (ILAQH), które stało się Centrum Współpracy WHO ds. Jakości Powietrza i Zdrowia. Profesor Lidia Morawska jest wieloletnim współpracownikiem i doradcą WHO, a od 1990 r. współtworzyła wszystkie wytyczne WHO dotyczące jakości powietrza, w tym w latach 2006-2021 współprzewodniczyła zespołowi odpowiedzialnemu za tworzenie regulacji prawnych/standardów dotyczących ochrony powietrza.

Obecnie, Lidia Morawska jest profesorem i laureatem australijskiego dyplomu w Szkole Nauk o Ziemi i Atmosferze na Queensland University of Technology (QUT) w Brisbane w Australii; Jest również dyrektorem Międzynarodowego Laboratorium ds. Jakości Powietrza i Zdrowia (ILAQH) w QUT; Dyrektorem Centrum Współpracy Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) ds. Jakości Powietrza i Zdrowia; Współdyrektorem Australijsko-Chińskiego Centrum Nauki i Zarządzania Jakością Powietrza (ACC-AQSM); Profesorem Adiunktem w Instytucie Badań nad Środowiskiem i Klimatem (ECI) na Uniwersytecie Jinan w Kantonie w Chinach; Naukowcem zatrudnionym pod patronatem Rektora w Globalnym Centrum Badań nad Czystym Powietrzem (GCARE) na Uniwersytecie w Surrey w Wielkiej Brytanii.

Jeżeli wartość naukowa naukowca mierzona jest parametrami scientometrycznymi to parametry Pani Profesor Lidii Morawskiej są imponujące. Jest autorką 518 publikacji, opublikowanych w prestiżowych czasopismach naukowych, o wysokich wartościach współczynnika oddziaływania, IF w tym współautorką publikacji opublikowanych w czasopismach o najwyższych wartościach IF takich jak: *Science* (IF = 41,8), *The Lancet*

(IF=59,1) czy *Nature* (IF=42,7). Jest również autorką 9 rozdziałów w książkach oraz 63 publikacji konferencyjnych. Jej badania poświęcone są szeroko pojętej problematyce jakości powietrza, podkreślają zagrożenia dla zdrowia człowieka wynikające z narażenia na zanieczyszczenia powietrza. Jej wkład w rozwój trudnego i bardzo ważnego obszaru badań nad aerozolami jest nie do przecenienia. Jej prace są cytowane ponad 170000 razy, a *h-indeks* wynosi 109. Wszystko to podkreśla jej wybitność naukową oraz istotność i znaczenie wyników jej badań dla innych badaczy.

Ponadto, prof. L. Morawska prowadziła ponad 100 projektów grantowych, których łączna suma opiewa na kwotę ponad 25 mln dolarów. Jest również twórcą własnej szkoły naukowej, wypromowała bowiem 59 doktorów i wciąż jest aktywnym promotorem dla kolejnych 9 doktorantów. Była oraz jest członkiem bardzo wielu gremiów doradczych i opiniotwórczych zajmujących się jakością powietrza i oceną narażenia na zanieczyszczenia powietrza. Podsumowując, można stwierdzić, że jest wybitnym naukowcem, doskonałym dydaktykiem i niezwykłym człowiekiem z pasją.

To, co moim zdaniem wyróżnia Profesor Lidę Morawską na tle innych naukowców, to kreatywność, zaangażowanie, zdolność do współpracy z różnymi środowiskami ale również, co jest nie bez znaczenia, zdolność do wywierania presji na decydentów. Przykładem jej zaangażowania w tworzenie lepszego i bezpieczniejszego świata może być jej wkład w walce z COVID-19. W trakcie pandemii COVID-19 prof. L. Morawska zaprosiła do współpracy 239 naukowców z całego świata, tworząc "grupę myślenia nieszablonowego", której celem było udokumentowanie roli aerozoli w rozprzestrzenianiu się wirusa SARS-CoV-2. Potwierdzenie transmisji wirusa drogą powietrzną (kropelkową), a nie tylko poprzez kontakt z zainfekowaną powierzchnią wpłynęło na zweryfikowanie zaleceń sanitarno-epidemiologicznych WHO w związku z walką z wirusem. Szczególnie istotne znaczenie miało to dla powietrza wewnętrznego, w którym podczas pandemii spędzaliśmy ponad 90 % naszego czasu, a w których nieodpowiednia wentylacja zwiększała ryzyko zarażenia się wirusem. Efektem zmiany zaleceń WHO było zmniejszenie ryzyka zarażenia się wirusem, czyniąc środowisko wewnętrzne bezpieczniejszym. To działanie docenili dziennikarze „Time”, umieszczając Lidę Morawską na swojej słynnej liście 100 najbardziej wpływowych ludzi na świecie, w 2021 roku, w kategorii Innowatorzy. W opisie do nominacji Scott Gottlieb, były amerykański komisarz ds. żywności i leków stwierdził, że „doceniono jej pracę badawczą nad rolą aerozoli w przenoszeniu wirusa SARS-CoV-2, oraz to, że m.in. dzięki niej w przestrzeni publicznej i polityce zwrócono uwagę na jakość powietrza wewnętrznego (powietrza w pomieszczeniach, w których przebywamy)”.

W mojej ocenie umieszczenie nazwiska Profesor Lidii Morawskiej przez Magazyn „Time” na corocznej liście stu najbardziej wpływowych ludzi na świecie, (TIME100), w kategorii Innowatorzy, jest docenieniem jej osiągnięć przez szeroko pojętą społeczność, a nie tylko społeczność naukową. Warto nadmienić, że Prof. L. Morawska jest jedynym polskim

naukowcem, który znalazł się na tej liście. Miło jest myśleć o Pani Profesor Lidii Morawskiej jako o polskim naukowcu ale należy pamiętać, że swoje życie zawodowe i naukowe prowadzi poza granicami Polski.

O rozpoznawalności i docenieniu osiągnięć zawodowych Pani Profesor świadczy również ogromna liczba przyznawanych jej nagród i wyróżnień. Profesor Lidia Morawska jest laureatką wielu prestiżowych nagród, przyznawanych zarówno przez gremia naukowe (międzynarodowe i krajowe/australijskie) ale również przez te niezwiązane z nauką.

Opisując sylwetkę prof. Lidii Morawskiej wybrałam tylko te wyróżnienia, które w mojej ocenie są najważniejsze i podkreślają wyjątkowość postaci prof. Lidii Morawskiej zarówno jako naukowca ale również jako człowieka.

Lidia Morawska jest laureatką:

1. (2017 r.) David Sinclair Award; Nagrody *American Association for Aerosol Research* (AAAR). Nominował ją do tej nagrody Profesor Tunga Salthammer wybitny niemiecki uczony;
2. (2018 r.) Eureka Prize; Nagrody za Badania nad Chorobami Zakaźnymi;
3. (2020 r.) Nagrody Prorektora QUT za *Leadership Excellence*;
4. (2022 r.) Susane V. Herring Award; Nagrody *American Association for Aerosol Research* (AAAR) “w uznaniu za wybitne badania i wkład w dziedzinę nauk o aerozolach, które wywarły znaczący wpływ na zdrowie publiczne, środowisko wewnętrzne i globalny ekosystem”.
5. (2023 r.) Międzynarodowej nagrody L’Oréal–UNESCO dla Kobiet i Nauki.

Ponadto, prof. Lidia Morawska:

6. (2020 r.) została umieszczona na liście 40 najlepszych australijskich naukowców w obszarze Nauk o Życiu i Nauk o Ziemi przez *The Australian Research Magazine*
7. (2021 r.) zdobyła tytuł Supergwiazdy Badań Naukowych & Australijski Człowiek Sukcesu (*The Australian Lifetime Achiever & Superstar of Research in the Life & Earth Sciences*)
8. (2022 r.) zajęła 13 miejsce w Australii i 435 na świecie na liście *Research.com*, Lista 1000 Najlepszych Kobiet Naukowców Na Świecie (*Ranking Top 1000 Female Scientists in the World*)
9. (2023 r.) zajęła 2 miejsce w Australii i 86 na świecie na liście *Research.com*, Najlepszy Naukowiec zajmujący się Naukami o Środowisku (*The Best Environmental Sciences Scientists*).

Profesor Lidia Morawska jest przekonana, że tylko naciski na polityków pozwalają na wprowadzanie realnych zmian dążących do poprawy jakości ludzkiego zdrowia. Chciałaby, żeby decydenci zaczęli brać pod uwagę wyniki badań naukowych i konsultowali kluczowe kwestie z osobami, które poświęciły wiele lat na ich zgłębianie. Uważa, że musi być presja

społeczeństwa, która zmusza rządy, by podejmowały niezbędne działania z wyprzedzeniem aby zapobiegać a nie walczyć ze skutkami. W jednym z wywiadów, których udzieliła stwierdziła: „Marzę o podejmowaniu przez naukę decyzji, które chronią Ziemię i pozytywnie wpływają na społeczeństwo”

Jej motto: „*Realizuj swoje zainteresowania i marzenia i nie myśl nawet przez chwilę, że jest coś, czego nie możesz osiągnąć*” może posłużyć jako inspiracja i bodziec do działania dla wielu, nie tylko naukowców. Natomiast słowa wypowiedziane do studentów: „*Bądź ciekawy. I zmierzaj do celu*” pokazują, że konsekwencja i wytrwałość może być źródłem sukcesów.

Interesujące i warte powielania jest również „Pięć zasad Lidii”, które przekazuje młodszemu pokoleniu, a które wybrzmiały na spotkaniu z młodzieżą w II Liceum Ogólnokształcącym im. prof. Kazimierza Morawskiego w Przemyśle, w liceum, do którego sama uczęszczała: „*Rozwijajcie zainteresowania i podążajcie za nimi, bądźcie przygotowani na zmiany kierunku, bądźcie cierpliwi, zaczynajcie i kończcie, czyńcie świat dobrym*”.

Mam nadzieję, że opisana przeze mnie postać Profesor Lidii Morawskiej uwydatnia jej wyjątkowość jako człowieka i naukowca. Uważam, że jej ponadprzeciętne osiągnięcia i sukcesy naukowe, skuteczność w działaniu i wdrażaniu w życie rozwiązań proponowanych przez naukę, mających wymierny wpływ na jakość życia społeczeństw, przemawiają jednoznacznie za poparciem wniosku o nadanie Profesor Lidii Morawskiej tytułu i godności doktora honoris causa Politechniki Lubelskiej. W mojej ocenie przyznanie tej zaszczytnej godności tak wybitnej osobie będzie również ważnym elementem budowania prestiżu i międzynarodowej pozycji Politechniki Lubelskiej.



Monitor Prawny Politechniki Śląskiej

poz. 139

UCHWAŁA NR 3/2024 SENATU POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

z dnia 19 lutego 2024 r.

w sprawie powołania recenzenta do zaopiniowania wniosku Senatu Politechniki Lubelskiej o nadanie tytułu doktora honoris causa prof. Lidii Morawskiej

Na podstawie § 18 ust. 1 pkt 8 Statutu Politechniki Śląskiej (Monitor Prawny PS z 2020 r. poz. 339, z późn. zm.) Senat Politechniki Śląskiej postanawia, co następuje:

§ 1

Powołuje się prof. dr. hab. inż. Zbigniewa Popiołka na recenzenta do zaopiniowania wniosku Senatu Politechniki Lubelskiej o nadanie tytułu doktora honoris causa prof. Lidii Morawskiej.

§ 2

Uchwała wchodzi w życie z dniem podjęcia.

REKTOR

prof. dr hab. inż. Arkadiusz Meżyk

Prof. dr hab. inż. Zbigniew Popiołek
Katedra Ogrzewnictwa Wentylacji i Techniki Odpylania
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Politechnika Śląska w Gliwicach

Gliwice, 25.03.2024

OPINIA W SPRAWIE OSIĄGNIĘĆ
PROFESOR **LIDII MORAWSKIEJ**
W ZWIĄZKU Z POSTĘPOWANIEM O NADANIE JEJ
TYTUŁU DOKTORA HONORIS CAUSA
POLITECHNIKI LUBELSKIEJ

18 stycznia 2024 r. Senat Politechniki Lubelskiej podjął Uchwałę w sprawie wszczęcia postępowania o nadanie Pani prof. Lidii Morawskiej tytułu doktora honoris causa Politechniki Lubelskiej. Senat Politechniki Lubelskiej postanowił zwrócić się o opinie w sprawie osiągnięć Honorowanej m. in. do Senatu Politechniki Śląskiej wskazując mnie jako możliwego recenzenta w tej sprawie. Opinię opracowano na podstawie Uchwały Senatu Politechniki Śląskiej, który na posiedzeniu w dniu 19 lutego 2024 r. powołał mnie na recenzenta do zaopiniowania wniosku Senatu Politechniki Lubelskiej.

Podstawą sporządzenia opinii były nadesłane przez Politechnikę Lubelską dokumenty:

- Profesor Lidia Morawska - droga naukowa i osiągnięcia zawodowe.pdf
 - Profesor Lidia Morawska – projekty.pdf
 - Profesor Lidia Morawska - short CV.pdf
 - uchwała Senatu Politechniki Lubelskiej.pdf
- oraz materiały dostępne w Wikipedii i nagrania z wystąpień prof. Lidii Morawskiej dostępne w serwisie internetowym YouTube
- Profesor Lidia Morawska - o tym, co jest w powietrzu, którym oddychamy
<https://www.youtube.com/watch?v=nJJEv8cJ2ZY&t=59s>
 - Polka pomogła zakończyć pandemię. Poznała też poważną przyczynę raka | Lidia Morawska <https://www.youtube.com/watch?v=lezogj41yWU&t=42s>
 - 344 DNI DOOKOŁA ŚWIATA | HENRYK JASKUŁA | PROF. LIDIA MORAWSKA O OJCU I WŁASNYCH OSIĄGNIĘCIACH.
<https://www.youtube.com/watch?v=18yJyYMx8Rc>

Informacje podstawowe

Lidia Morawska urodziła się w Tarnowie, a dorastała w Przemyśle, gdzie ukończyła szkołę podstawową i średnią. Studiowała fizykę na Uniwersytecie Jagiellońskim w Krakowie, gdzie po uzyskaniu magisterium z wyróżnieniem, obroniła w roku 1982 doktorat (także z wyróżnieniem) na podstawie badań nad radonem i jego pochodnymi.

W latach 1982-87 pracowała w Instytucie Fizyki i Technik Nuklearnych, Akademii Górniczo-Hutniczej (AGH) w Krakowie. Jako stypendystka Międzynarodowej Agencji

Energii Atomowej w latach 1987-88 prowadziła badania w Kanadzie na McMaster University w Hamilton, a następnie na University of Toronto.

W roku 1991 rozpoczęła karierę w Queensland University of Technology, Brisbane, Australia, z którym jest do dzisiaj związana. Od roku 2003 jest profesorem na tej uczelni. W roku 2020 otrzymała tytuł — distinguished professorship.

W roku 1992 utworzyła na Queensland University Environmental Aerosol Laboratory, które zostało przekształcone w roku 2002 w International Laboratory for Air Quality and Health, kiedy to zostało włączone w sieć centrów współpracujących z World Health Organization (WHO) - WHO Collaborating Centre for Air Quality and Health.

Profesor Lida Morawska jest długoletnim współpracownikiem i doradcą WHO, od roku 1990 uczestniczyła w tworzeniu wszystkich zaleceń WHO związanych z jakością powietrza. W latach 2006-2021 współprzewodniczyła zespołowi odpowiedzialnemu za opracowywanie standardów - Guideline Development Group.

W roku 2014, razem z naukowcami z Chin, utworzyła Australia - China Centre for Air Quality Science and Management, którego jest australijskim dyrektorem. Jest także zatrudniona jako Adjunct Professor w Institute for Environmental and Climate Research, the Jinan University, Guangzhou, Chiny (od 2018); oraz Vice-Chancellor Fellow, Global Centre for Clean Air Research, University of Surrey, Wielka Brytania (od 2020).

Badania naukowe

Profesor Lida Morawska od roku 2002 kieruje kilkunastoosobowym zespołem badawczym, który zrealizował 30 dużych projektów badawczych. Od roku 2002 Profesor Lida Morawska otrzymała ponad 100 grantów, na łączną sumę około 25 mln dolarów, finansowanych przez Australian Research Council oraz National Health, Medical Research Council, Australia, a także uczestniczyła w projektach finansowanych przez Unię Europejską, będąc członkiem międzynarodowych konsorcjów koordynowanych przez badaczy z krajów europejskich. Projekty dotyczyły, m.in. sieci detekcji i analizy jakości powietrza, ekspozycji dzieci na aerozole, nanocząstek, ich detekcji oraz wpływu na zdrowie, optymalizacji jakości powietrza wewnętrznego i zużycia energii w budynkach. W ostatnich latach są to projekty związane z projektowaniem i funkcjonowaniem budynków, tak aby minimalizować możliwości przenoszenia drobnych cząstek, w tym wirusów.

Profesor Lida Morawska wypromowała 51 doktorów (33 – promotor, 18 – współpromotor), opiekuje się kolejnymi ośmioma doktorantami. Rozległa działalność badawcza profesor Lidii Morawskiej i całego zespołu badawczego Laboratory for Air Quality and Health zaowocowała licznymi publikacjami, opublikowanymi w większości w prestiżowych czasopiśmie naukowych o wysokim *impact factorze*.

Profesor Lida Morawska jest autorką łącznie ponad tysiąca publikacji podkreślających zagrożenia dla zdrowia człowieka związane z narażeniem na zanieczyszczenia w budynkach, narażenia na substancje chemiczne i czynniki biologiczne (gazy i cząstkami stałe), w wielu środowiskach, w tym na obszarach miejskich czy w obiektach, takich jak domy, szkoły, hale sportowe oraz transport publiczny.

Analizując bazę Web of Science Core Collection, zawężoną do artykułów afiliowanych do Queensland University of Technology, znajduje się 532 artykuły, których jest autorką lub współautorką. Według tej bazy ww. artykuły cytowane były łącznie ponad 100 000 razy, a jej h-index wynosi 100 (stan na dzień 22.03.2024).

Najważniejsze nagrody oraz wyróżnienia

- 2011 Clean Air Medal, Clean Air Society of Australia and New Zealand (CASANZ) 'for *...sustained and dedicated contribution to the understanding of fine particles in the air".
- 2020 **wybrana na członka Australijskiej Akademii Nauk** (Fellow to the Australian Academy of Science).
- 2021 **ISIAQ Special 2020 Award for an Extraordinary Academic Leadership**", International Society of Indoor Air and Climate .
- 2021 **magazyn Time umieścił jej nazwisko na corocznej liście 100 najbardziej wpływowych ludzi na świecie. Została wyróżniona w kategorii „innovatorzy”, w uznaniu jej zasług dla skuteczniejszej walki z wirusem SARS-CoV-2.**

W 2020 r. Profesor Lida Morawska skonsolidowała interdyscyplinarną grupę badaczy, złożoną z 239 naukowców z całego świata (w tym 6 osób z Polski a 2 z Politechniki Śląskiej). W otwartym liście, który zawarto w artykule: Morawska L. and Milton D.K, It is Time to Address Airborne Transmission of COVID-19". **Clinical Infectious Diseases**, 71(9): 2311-2313, 2020; grupa ta podkreśla znaczenie drogi kropelkowej dla rozprzestrzeniania się wirusa SARS-CoV-2. List otwarty podpisany przez 239 naukowców z całego świata wpłynął na zmianę stanowiska Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) i w następstwie liczne władze narodowe zmieniły zalecenia odnośnie przenoszenia chorób drogą kropelkową, a WHO zaktualizowała swoje zalecenia sanitarno-epidemiologiczne.
- 2021 **tytuł Australijskiego Człowieka Sukcesu oraz Supergwiazdy Badań Naukowych w obszarze Nauk o Życiu i Ziemi.**
- 2023 **laureatka międzynarodowej nagrody L'Oreal-UNESCO dla Kobiet i Nauki.**

Pozycję naukową profesor Morawskiej potwierdza także powoływanie Jej do licznych rad redakcyjnych międzynarodowych czasopism, w tym tak prestiżowych jak Science of the Total Environment, gdzie jest associate editor od 2007 roku; Indoor Air, Building and Environment, Environmental Research Letters, Clean Air, Atmospheric Pollution Research, Journal of Aerosol Science. oraz to, że w latach 1994 — 2023 pełniła funkcje w Komitetach Naukowych 64 Międzynarodowych Konferencji Naukowych.

Profesor Lida Morawska jest członkiem Clean Air Society of Australia and New Zealand (CASANZ), International Society of Indoor Air Quality and Climate (ISIAQ) oraz American Association for Aerosol Research (AAAR), a w latach 2000-2003 pełniła funkcję prezesa ISIAQ — president of International Society of Indoor Air and Climate — jako pierwsza kobieta.

Współpraca Profesor Lidii Morawskiej z Politechniką Lubelską

Współpraca Profesor Lidii Morawskiej z zespołem zajmującym się jakością powietrza na Politechnice Lubelskiej (obecnie Katedra Jakości Powietrza Wewnętrznego i Zewnętrznego, Wydział Inżynierii Środowiska) rozpoczęła się w roku 2011. W roku 2013 podpisano oficjalną umowę o współpracy pomiędzy QUT i LUT, a w roku 2017 — aneks do umowy dotyczący możliwości wspólnego nadawania stopnia doktora – joint doctoral degree.

W ramach współpracy powstały wspólne publikacje, miały miejsce liczne wizyty studyjne, prowadzono działalność w Komitetach Naukowych konferencji, występowało o wspólne projekty oraz sprawowano wspólną opiekę nad doktorantem.

Wspólnie organizowane konferencje to konferencja Healthy Building 2012, Brisbane, Australia i konferencja Healthy Buildings 2017 Europe, Lublin, Polska.

Wspólne promotorstwo doktoratu mgr Tenzina Wangchuk'a: *"Assesment of indor air pollution levels from fuel combustion in the residential environment in rural Bhutan"*, prof. Lidia Morawska - promotor, prof. Marzena Dudzińska - współpromotor. Obrona odbyła się w roku 2016 na QUT.

W latach 2017-2019 złożono 3 wnioski do programu Horizon 2020 - konsorcja międzynarodowe

Podsumowanie

Pani Profesor LIDIA MORAWSKA posiada tytuł **distinguished professor** w Queensland University of Technology w Brisbane, Australia. Według Wikipedii, jest to tytuł naukowy **Wybitny Profesor** nadawany niektórym najznamienitszym profesorom. Polskim odpowiednikiem tego tytułu jest tytuł **Honorowego Profesora**.

Pani Profesor LIDIA MORAWSKA jest wybitnym naukowcem i światowym autorytetem w interdyscyplinarnym obszarze jakości powietrza i jego wpływu na zdrowie i środowisko. Przez prawie 40 lat prowadziła szerokie badania nad zanieczyszczeniami powietrza wewnętrznego. Badania te były inspiracją dla naukowców z całego świata, a także miały wpływ na rekomendacje Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) i regulacje w kilku krajach.

Profesor Lidia Morawska aktywnie współpracuje z Politechniką Lubelską, z zespołem zajmującym się jakością powietrza w Katedrze Jakości Powietrza Wewnętrznego i Zewnętrznego na Wydziale Inżynierii Środowiska.

Z pełnym przekonaniem popieram wniosek o nadanie Pani prof. Lidii Morawskiej tytułu doktora honoris causa Politechniki Lubelskiej.





Monitor Prawny Politechniki Śląskiej

poz. 306

UCHWAŁA NR 5/2024
SENATU POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ
z dnia 25 marca 2024 r.

**w sprawie zaopiniowania wniosku Senatu Politechniki Lubelskiej
o nadanie tytułu doktora honoris causa prof. Lidii Morawskiej**

Na podstawie art. 28 ust. 1 pkt 9 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (j.t. Dz. U. z 2023 r. poz. 742, z późn. zm.) Senat Politechniki Śląskiej postanawia, co następuje:

§ 1

Po zapoznaniu się z opinią opracowaną przez prof. dr. hab. inż. Zbigniewa Popiołkę pozytywnie opiniuje się wniosek Senatu Politechniki Lubelskiej o nadanie tytułu doktora honoris causa prof. Lidii Morawskiej.

§ 2

Uchwała wchodzi w życie z dniem podjęcia.

REKTOR

prof. dr. hab. inż. Andrzej Mężyk

Mgr Elżbieta Gontarz
Kierownik Biura Rektora i Organizacji Uczelni
Politechnika Lubelska

Kgs. Lyngby
05-02-2024
PAW

Recenzja dorobku Pani Prof. Lidii Morawskiej w związku z wnioskiem o nadanie jej tytułu doktora honoris causa Politechniki Lubelskiej

Wprowadzenie

Pani Profesor Lidia Morawska urodziła się w Tarnowie w 1952 roku. Studia magisterskie na kierunku fizyki ukończyła w 1976 roku z wyróżnieniem. Następnie pracowała w Instytucie Fizyki na Uniwersytecie Jagiellońskim gdzie w roku 1977 podjęła studia doktoranckie w temacie radu. Prace doktorską obroniła w 1982 roku z wyróżnieniem. Następnie podjęła pracę naukowo-dydaktyczną na AGH w Krakowie na Wydziale Fizyki i Techniki Jądrowej. W roku 1987 otrzymała stypendium Międzynarodowej Agencji Atomowej w Wiedniu i podjęła pracę naukową w McMaster University, Hamilton, w Kanadzie na Wydziale Geologii. W 1988 przeniosła się na Uniwersytet w Toronto na Wydział Inżynierii Chemicznej i Chemii Stosowanej gdzie pozostała do 1991 roku. W 1991 udzielała konsultacji w Ontario Hydro, po czym uzyskała stopień Profesora Nadzwyczajnego i Starszego Wykładowcy w Szkole Nauk Fizycznych i Chemicznych na Uniwersytecie Technicznym w Queensland w Australii gdzie pracuje do dzisiaj. W roku 2003 uzyskała stopień Profesora Zwyczajnego. Od roku 2018 jest Wykładowcą Kontraktowym (Adjunct Professor) na Uniwersytecie Jinan w Chinach, a od 2020 roku jest związana jako wykładowca z Uniwersytetem Surrey w Wielkiej Brytanii. Jej głównym miejscem pracy jest Uniwersytet w Queensland w Australii.

Ocena dorobku naukowego

Pani Profesor Lidia Morawska jest jednym z najwybitniejszych naukowców w interdyscyplinarnej dziedzinie jakości powietrza wewnętrznego, a szczególnie zajmuje się pyłami i aerozolami. Jest założycielem i Dyrektorem Laboratorium Aerozoli Środowiskowych na Uniwersytecie w Queensland (od 1993) obecnie nazwanym Laboratorium Jakości Powietrza i Zdrowia. Pani Profesor ma ogromny wkład w rozwój tej dziedziny, zrozumienie ryzyka związanego z ekspozycją na zanieczyszczenia powietrza, w tym ryzyka infekcji, nie tylko poprzez szereg badań naukowych ale także poprzez uczestnictwo przy tworzeniu założeń dotyczących dopuszczalnych stężeń zanieczyszczeń w powietrzu. Jej dorobek naukowy jest ogromny. Opublikowała ponad 1,000 artykułów w pismach naukowych, materiałach konferencyjnych i jako rozdziały w monografiach naukowych. Jej index h to 100, a liczba cytowań to ponad 106 tysięcy. Jest to bodajże najlepszy wynik jeśli chodzi o dziedzinę

nauk o jakości powietrza wewnętrznego oraz doskonały wynik w porównaniu z innymi dziedzinami nauk. W 2023 zajęła 86 miejsce na liście światowych naukowców w dziedzinie nauk o środowisku. Do przodujących osiągnięć należy zaliczyć jej prace dotyczące zrozumienia rozprzestrzeniania się patogenów i modelowania ryzyka infekcji w pomieszczeniach wewnętrznych. To za jej inicjatywą na początku pandemii COVID-19 sformowana została grupa naukowców z różnych dziedzin nauk i zainicjowany dialog ze Światową Organizacją Zdrowia, WHO, w celu uznania przez tę organizację że patogeny wywołujące zakażenie górnych dróg oddechowych, a także SARS-CoV-2 przenoszą się drogą powietrzną i należy zastosować środki i rozwiązania które to będą uwzględniały. Dialog ten doprowadził w końcu do uznania przez WHO że infekcje przenoszą się drogą powietrzną. Działanie te, a jednocześnie publikacje naukowe które opublikowane zostały przez Panią Profesor Lidie Morawska w celu argumentacji złożonych postulatów należy uznać jako przełomowe i jedno z najważniejszych wydarzeń naukowych w dziedzinie jakości powietrza które będzie miało wpływ w przyszłości na kształtowanie rozwiązań, które obniżą ryzyko dla zdrowia. Doprowadza one też, i już doprowadziły, do szybkiego i dalszego rozwoju nauk dotyczących jakości powietrza pod względem zanieczyszczeniami patogenami. Doprowadza one też i już doprowadziły częściowo do zmian przepisów, norm i zaleceń. Przykładem są zalecenia Amerykańskiego Centrum Kontroli i Zapobiegania Chorobom (CDC) oraz powstanie nowej normy, Normy 241, przygotowanej przez Amerykańskie Stowarzyszenie Inżynierów Ogrzewnictwa, Chłodnictwa i Klimatyzacji (ASHRAE).

Do ogromnych osiągnięć Prof. Morawskiej należy także wieloletnia współpraca z WHO. Efektem tej współpracy jest uczestnictwo przy opracowywaniu zaleceń dotyczących dopuszczalnych stężeń zanieczyszczeń powietrza i ich aktualizacji (ostatnia aktualizacja grudzień 2021). Stanowią one poziom odniesienia i jedyne zalecenia które dotyczą zanieczyszczeń powietrza więc są znaczące i unikalne. Powstały również inne zalecenia dotyczące jakości powietrza w budynkach w tym dotyczące wilgotności i ograniczenie ryzyka dla zdrowia w budynkach mieszkalnych. Prof. Morawska również uczestniczyła przy ich opracowywaniu przez WHO.

Prof. Morawska prowadzi szeroką współpracę z wieloma ośrodkami naukowymi na całym świecie zarówno z Europy jak i z Azji. Lista jest zbyt długa aby wymienić wszystkie ośrodki ale warto tu wspomnieć o Chinsko-Australijskim Centrum Nauk i Działan dot. Jakości Powietrza, którego była jedną ze współzałożycieli w 2014 roku i jest dyrektorem ze strony Australii. Prof. Morawska pełniła również wiele funkcji związanych z nauką w wielu stowarzyszeniach. Była m.in. Prezydentem International Society of Indoor Air Quality and Climate (ISIAQ), jedną z osób tworzących Academie Jakości Powietrza a także Prezydentem konferencji naukowych w tym Healthy Buildings 2012.

O ogromnym potencjale i wpływie na kształtowanie nauki świadczy również liczba i suma grantów które uzyskiwała Pani Prof. Lidia Morawska w swojej 40 letniej karierze. Jest to ponad sto grantów na łączną sumę która przekracza 25 milionów dolarów. Innymi słowy, rocznie w ciągu swojej kariery Prof. Morawska uzyskiwała środki na badania naukowe w wysokości ponad 600 tys dolarów. Jest to zawrotna suma oceniając że badania naukowe dotyczące jakości powietrza którymi zajmuje się Pani Prof. Morawska nie stanowią najwyższego priorytetu w programach jej finansujących.

Ocena pracy dydaktycznej

Obok ogromnych osiągnięć naukowych, które jednocześnie przyczyniły się do popularyzacji i zrozumienia znaczenia nauk o jakości powietrza nie tylko wśród innych naukowców ale także różnych grup społeczeństwa, Pani Prof. Morawska miała znaczący wpływ w kształceniu nowych pokoleń inżynierów i naukowców. Obok regularnych zajęć na Uniwersytecie w Queensland, Pani Prof. Lidia Morawska wykształciła (i nadal kształci) 59 doktorantów w tym 33 jako główny promotor. Jest to bardzo duże osiągnięcie oznaczające że praktycznie co 5 kwartałów w okresie jej pracy dydaktyczno-naukowej zostawała głównym promotorem studenta na studiach doktoranckich. Jest to na tyle ważne osiągnięcie, że obok tego, jak już wspomniano powyżej, Pani Prof. Morawska prowadzi bardzo aktywne życie zawodowo-naukowe, a jednocześnie znajduje i poświęca dużo czasu na dydaktykę i przekazywanie wiedzy nowym pokoleniom.

Nagrody i wyróżnienia

Pani Prof. Lidia Morawska jest laureatem wielu nagród i wyróżnień. Nie jest tu sposób wymienić wszystkich wyróżnień ale chciałbym podkreślić dwa. W 2021 roku Prof. Morawska w związku z jej działalnością dotyczącą wpływu patogenów wirusa SARS-CoV-2 na zdrowie ludzi została wyróżniona przez tygodnik TIMES i uznana jak jedna ze 100 najwybitniejszych osób na świecie w 2021 roku. Do tej pory żaden z naukowców z dziedziny jakości powietrza nie może pościć się takim wyróżnieniem które przyznawane jest nie przez ściśle naukowców. Jeśli chodzi o nagrody naukowe, w ubiegłym (2023) roku Prof. Morawska dostała nagrodę L'Oreal Unesco dla Kobiet w Nauce przyznawaną najwybitniejszym kobietom naukowcom z różnych dziedzin nauki i kontynentów. Nagroda porównywana jest do malej Nagrody Nobla. W uzasadnieniu przyznano wybitny wpływ Prof. Morawskiej i nadzwyczaj ogromne poświęcenie jeśli chodzi o problemy naukowe i ich zrozumienie. Pani Prof. Morawska jest ponadto odbiorcą 15 innych wybitnych nagród przyznawanych przez różne Stowarzyszenia, Uniwersytety, Organizacje Naukowe i Komitety Nauk. Ponownie jest to ogromne osiągnięcie i podkreślenie wagi i znaczenia jej dorobku naukowego.

Współpraca z Politechniką Lubelską

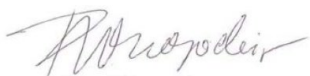
Od 2011 roku Prof. Morawska prowadzi współpracę z Politechniką Lubelską która sformalizowana została umową podpisaną przez dwie uczelnie w roku 2013 i aneksem do umowy w 2017 roku. Owocami tej współpracy było współuczestnictwo przy organizacji konferencji Healthy Buildings 2012 i 2017, gdzie ta druga organizowana była w Lublinie a Prezydentem była Prof. Marzenna Dudzińska. Wspólnie z Prof. Dudzińską, Prof. Morawska była promotorem studenta na studiach doktoranckich na Politechnice Lubelskiej, które zaowocowały dwoma wspólnymi publikacjami. Prof. Morawska uczestniczy również w konsorcjach naukowych składając wnioski o finansowanie badań naukowych.

Podsumowanie

Nie ulega wątpliwości że dorobek naukowo-dydaktyczny Prof. Lidii Morawskiej jest wybitny i zasługuje ona na stopień Doktora Honoris Causa Politechniki Lubelskiej. Nadania tego stopnia tak wybitnej naukowczyni jaka jest Prof. Morawska będzie miało bardzo pozytywny wpływ na budowanie

wizerunku Politechniki Lubelskiej. Także, będzie podkreślało uznanie dla Polaków którzy rozwiązują naukę poza granicami swojego ojczystego kraju. Jednocześnie, należy podkreślić, że tytuł Doktora Honoris Causa będzie pierwszym takim honorowym tytułem nadanym Prof. Morawskiej, i zapewne nie ostatnim, co oznaczać będzie że Politechnika Lubelska będzie odniesieniem i wzorem dla innych ośrodków które zechcą uhonorować wybitną naukowczynię z Australii.

Z wyrazami szacunku



Paweł Wargocki, Professor

Lidia Morawska

**Nauka o powietrzu
jako podstawa naszego zdrowia i bytu**

The science of air that helps us thrive



Początki

Wychowałam się w Przemyśle, mieście położonym na południowo-wschodnim krańcu Polski. Piękne miasto z 1000-letnią historią, otoczone wzgórzami i lasami, gdzie „słońce wyłaca poranek na Sanie”, jak głosi piosenka, która była popularna, gdy byłam nastolatką. Rzeka San, która dzieli miasto na dwie części, ma kluczowe znaczenie dla przeszłości i teraźniejszości Przemyśla. Tutaj ukończyłam szkołę podstawową i średnią.

Co zainspirowało mnie do kariery naukowej? Zawsze z wielkim zainteresowaniem słuchałam i czytałam historie związane z nauką. Pamiętam częste małe odkrycia: jednego dnia czytałam o tym, jak działają systemy planetarne, następnego o zawiłościach procesu zapylania i interakcjach między owadami, roślinami i lokalnym środowiskiem, a jeszcze innego o pięknym świecie matematycznych łamigłówek.

Miałam rodziców, którzy bardzo mnie wspierali, oboje z wyższym wykształceniem. Moja mama (Zofia Jaskuła) była chemikiem, a tata (Henryk Jaskuła) inżynierem. Nauka była więc częstym tematem rozmów w domu. Rodzice pomagali mi znaleźć artykuły naukowe do przeczytania lub zajęcia związane z nauką, w których mogłam uczestniczyć. Ale to nie wszystko – dostarczali mi również artykułów i zajęć z historii, geografii i języków obcych. Stąd wzięło się moje zainteresowanie fizyką, a najbardziej fizyką jądrową. Dorastanie we wspierającej rodzinie, w której było oczywiste, że mogę osiągnąć wszystko, co chcę, było prawdopodobnie najważniejszym czynnikiem w moim rozwoju i darem na całe życie.

Nie pamiętam, dlaczego fizyka jądrowa zainspirowała moją wyobraźnię bardziej niż inne dziedziny; najwyraźniej moje pragnienie zostania fizykiem jądrowym narodziło się zbyt wcześnie, by pamiętać, co je wywołało. Być może miałam nadzieję, że da mi to głęboki wgląd w to, jak zbudowany jest świat i jak działa, nie rozumiejąc jeszcze w pełni, czym jest fizyka jądrowa. Ale byłam absolutnie zdecydowana zostać fizykiem jądrowym i z dumą mogę powiedzieć, że osiągnęłam ten cel.

Tak więc, zapytana, kim jestem, odpowiadam, że jestem fizykiem z dyplomem z fizyki jądrowej niskich energii Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie. Na tym samym uniwersytecie uzyskałam doktorat w 1982 roku za badania nad radonem i jego pochodnymi. W latach 1982–1987 byłam pracownikiem naukowym w Instytucie Fizyki i Techniki Jądrowej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

Jednak ci, którzy teraz czytają moje artykuły naukowe na różne tematy związane z atmosferą, zdrowiem publicznym lub przepisami prawnymi, niekoniecznie

rozpoznają moje korzenie naukowe. Dlatego lepszym określeniem jest, że jestem fizykiem, który bada powietrze w pomieszczeniach i na zewnątrz, wpływ zanieczyszczonego powietrza na zdrowie ludzi oraz zrównoważone środowiskowo sposoby utrzymania czystego i zdrowego powietrza. Moje badania mają na celu zrozumienie źródeł zanieczyszczenia powietrza oraz procesów fizykochemicznych i przemian zachodzących w powietrzu; losu zanieczyszczeń oraz ich wpływu na ludzi i środowisko. Wiedzę tę można następnie wykorzystać do zmniejszenia poziomu zanieczyszczenia oraz obniżenia narażenia i ryzyka.

Kiedy zaczynamy nasze życie zawodowe, nie wiemy, dokąd nas ono zaprowadzi. To nie jest jak wędrówka na szczyt konkretnej góry: to jest cel, to jest ścieżka, na szczycie góry robimy zdjęcie, aby zaznaczyć nasze osiągnięcie, a następnie wracamy do bazy. Zamiast tego kariera zawodowa prowadzi ścieżką, z której widzimy być może tylko pierwsze wzgórze. Może zostaniemy na tym wzgórzu i nie pójdziemy dalej. A może, widząc, co jest za tym wzgórzem, będziemy kontynuować do następnego i następnego, a może nawet do tej odległej góry na horyzoncie, o której istnieniu nawet nie wiedzieliśmy.

Życie otwiera przed nami nieskończone możliwości na każdym kroku naszej „wspinaczki”. Im bardziej się rozglądamy, tym bardziej zdajemy sobie sprawę z tego, jak wiele jest możliwości. Którą z nich powinniśmy wybrać, która jest bardziej interesująca, bardziej znacząca, bardziej warta realizacji? Nie wiemy. Ale czasami pojawia się uczucie „zielonego światła”, które zachęca nas do obrania tego kierunku.

Minęło prawie pięćdziesiąt lat, odkąd rozpoczęłam swoją podróż – karierę zawodową – jako naukowiec. W tym opracowaniu rozważam, jak naukowe zrozumienie dziedzin, które badałam, zmieniło się w tym czasie i czy ta wiedza pomogła nam jako społeczeństwu mądrze funkcjonować.



Ryc.1. Lidia Morawska (wówczas Jaskuła) z rodzicami Zofią i Henrykiem Jaskułami



Ryc. 2. Lidia Morawska (wówczas Jaskuła), licealistka (II Liceum Ogólnokształcące im. Kazimierza Morawskiego, „Morawa”, Przemyśl), z rodzicami Zofią i Henrykiem Jaskułami oraz siostrą Aleksandrą Jaskułą



Ryc. 3. Lidia odwiedza swoje liceum „Morawa”, 29 maja 2019 r. Od środka od prawej do lewej siedzą: Lidia (z kwiatami), wicedyrektor Agata Trzpis, Jolanta Saj, Barbara Morycz i dr Małgorzata Wilgucka



Ryc. 4. Lidia Morawska w Parku Narodowym Torres del Paine, Chile, marzec 2005 r.

Radon i jego pochodne

Wówczas, w latach dziewięćdziesiątych

Ostatnim rokiem moich pięcioletnich studiów prowadzących do uzyskania tytułu magistra fizyki jądrowej był projekt badawczy, na podstawie którego napisałam pracę magisterską. W czasie, gdy wybierałam swój temat badawczy, miałam styczność ze wszystkimi obszarami fizyki promieniowania, w tym z promieniotwórczością środowiska naturalnego. I to właśnie ten obszar zainteresował mnie w ostatnim roku badań. Ponownie, nie pamiętam, dlaczego mnie to przyciągnęło. Mogę spekulować, że była to złożoność systemu, którym było środowisko, naturalna produkcja radionuklidów w formacjach geologicznych oraz wszystkie procesy i mechanizmy wpływające na los radionuklidów w tym systemie. W następnych latach moja praca rozszerzyła się o badania radioaktywnych izotopów węgla i krzemu z zastosowaniami w hydrologii i datowaniu, które prowadziłam na Uniwersytecie Jagiellońskim; badania radioaktywności w środowisku, w szczególności pomiarów aktywności alfa opadu radioaktywnego podczas i po przejściu chmury radioaktywnej wywołanej awarią jądrową w Czarnobylu (Dulinski i in., 1986); badania formacji izotopowych w formacjach geologicznych z zastosowaniami w składowaniu odpadów radioaktywnych w Instytucie Fizyki i Techniki Jądrowej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (Florkowski i in., 1988)); oraz badania osadów jeziornych z południowego Egiptu, wspierane przez stypendium Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej i prowadzone w McMaster University, Hamilton, Kanada. Celem tych prac było określenie geochronologii i hydrologii badanego regionu poprzez szczegółowe badania teoretyczne i eksperymentalne (Schwarcz i Morawska, 1993).

Jednak najbardziej interesował mnie radon i jego pochodne w powietrzu. Był to temat mojego doktoratu na Uniwersytecie Jagiellońskim w Krakowie („Nowa metoda pomiaru parametrów emanacji radonu”) oraz późniejszych studiów na Uniwersytecie w Toronto w Kanadzie.

Radon (radon-222 – izotop, który badałam), radioaktywny gaz szlachetny, pochodzi z radioaktywnego rozpadu radu (rad-226), który jest częścią naturalnej serii produktów rozpadu uranu (uran-238). Uran, a tym samym rad, występują w różnym stopniu w skałach i glebie. Okres połowicznego rozpadu radonu-222 wynosi 3,84 dnia i rozpada się on na szereg krótkożytych produktów, również radioaktywnych, zwanych pochodnymi radonu. Są to polon-218, ołów-214, bizmut-214 i polon-214. Radon, będąc gazem, wydostaje się z ziemi do powietrza;

wydstaje się również z materiałów budowlanych zawierających rad. Dlatego oddychając powietrzem, wdychamy radon i jego pochodne. Radon nie odkłada się w drogach oddechowych, ponieważ jest gazem, a czas, jaki wdychany radon spędza w naszych drogach oddechowych, wynoszący kilka sekund, jest krótki w porównaniu z jego czasem połowicznego zaniku, więc tylko bardzo niewielka część wdychanego radonu ulegnie tam rozpadowi. Tak naprawdę to nie radon jest odpowiedzialny za choroby spowodowane promieniowaniem, ale jego pochodne. Uszkodzenia spowodowane napromieniowaniami pochodnymi radonu mogą prowadzić do raka płuc, a im więcej pochodnych radonu wdychamy, tym większe jest ryzyko. Od dziesięcioleci wiadomo, że:

Największa część naturalnej ekspozycji na promieniowanie u ludzi wynika z wdychania krótkożyciowych produktów rozpadu radonu (radon-222) i toronu (radon-220), które występują w wolnej atmosferze i w wyższych stężeniach w powietrzu w pomieszczeniach (Porstendörfer, 1994).

Według tej samej publikacji stężenia radonu w budynkach mogą być tak wysokie, jak w podziemnych kopalniach; ma to poważne konsekwencje dla zdrowia publicznego. W związku z tym, aby zmniejszyć ryzyko wdychania produktów rozpadu radonu, powinniśmy kontrolować stężenie radonu w powietrzu, zwłaszcza w pomieszczeniach (ponieważ nie możemy kontrolować stężenia radonu na zewnątrz). Stężenie radonu w powietrzu wewnętrznym można kontrolować przez zaplanowanie na etapie projektowania budynków odpowiednich środków, które zapobiegają przenikaniu radonu przez fundamenty (piwnicę) do budynku, wybór materiałów budowlanych, które nie zawierają radu, uszczelnianie powierzchni materiałów budowlanych w celu zapobiegania emisji radonu (Morawska, 1983) oraz stosowanie skutecznych systemów wentylacyjnych, które usuwają radon i jego pochodne z powietrza w pomieszczeniach.

Jest jeszcze jeden aspekt naukowy, który jest szczególnie interesujący dla fizyków: los pochodnych radonu w powietrzu. Ponieważ są bardzo małe (rozmiar atomowy), początkowo naładowane i posiadają wysoki współczynnik dyfuzji, pochodne mogą łatwo przyłączać się do cząstek w powietrzu, szczególnie tych najmniejszych, takich jak te emitowane w procesach spalania. Mogą jednak również pozostać nieprzyłączone, zwykle w klastrach gazów śladowych i cząsteczek pary wodnej w powietrzu atmosferycznym, zwykle nie większych niż 5 nm. Czy ma znaczenie, czy są one przyłączone czy nie? Ma: mniejsze, nieprzyłączone pochodne radonu mogą dotrzeć do dolnych obszarów oskrzeli w układzie oddechowym i zostać tam zdeponowane, powodując wyższą dawkę promieniowania

niż większe, przyłączone pochodne zdeponowane w górnych częściach dróg oddechowych. Pojawiają się więc pytania: Jaka część pochodnych jest przyłączona? Jaka część jest nieprzyłączona? Jakie parametry wpływają na proces przyłączania? I jak możemy wykonać obliczenia uwzględniające wszystkie mechanizmy? Były to pytania naukowe, na które nie znano odpowiedzi, kiedy wkroczyłam w tę dziedzinę, a zajęcie się nimi było głównym tematem mojej pracy doktorskiej i późniejszych badań.

Jednym z krytycznych elementów tych procesów jest rozkład wielkości cząstek w powietrzu, w szczególności tych najmniejszych, do około 100 nm. Podczas studiów doktoranckich nie miałam dostępu do aparatury do pomiaru rozkładu wielkości cząstek – takie instrumenty były wówczas bardzo rzadkie. Chociaż mogłam i mierzyłam rozkład wielkości cząstek radioaktywnych za pomocą zbudowanych przeze mnie systemów baterii dyfuzyjnych z sitem drucianym, moje zrozumienie ilościowe procesu było niepełne bez znajomości rozkładu wielkości cząstek w powietrzu.

Sytuacja ta zmieniła się, gdy po doktoracie uzyskałam staż (post-doc) w Toronto w latach 1988–1991. Tam po raz pierwszy miałam dostęp do instrumentu zwanego DMPS (Differential Mobility Particle Sizer), co otworzyło zupełnie nową perspektywę dla moich badań. Mogłam „zobaczyć” cząsteczki, do których przyłączały się pochodne radonu, i mogłam określić ilościowo cały ich rozkład wielkości od około 10 nm do jednego mikrometra – czyli prawie cały zakres wielkości submikronowych.

Mimo że eksperymenty, które przeprowadziłam w Toronto, były tylko eksperymentami w komorze laboratoryjnej, a nie pomiarami w świecie rzeczywistym, mogłam opisać ilościowo cały proces przyłączania się pochodnych radonu do cząstek w powietrzu (Morawska i Phillips, 1992). Doszłam do wniosku, że proces ten został już poznany i nie wiedziałam, co jeszcze można by zrobić, aby poszerzyć tę wiedzę.

Ale co ze znaczeniem tej wiedzy dla kontroli narażenia na promieniowanie w świecie rzeczywistym? Chociaż nie jestem pewna, czy myślałam wtedy o tym problemie w takich kategoriach, jakoś nie wydawało mi się, że badanie procesów przyłączania się pochodnych radonu powinno być rutynowo przeprowadzane w rzeczywistym świecie, aby właściwie uwzględnić narażenie na przyłączone i nieprzyłączone pochodne radonu, a w konsekwencji dawkę promieniowania i ryzyko raka wszędzie i w każdej sytuacji. Wydawało mi się oczywiste, że głównym problemem jest radon w pomieszczeniach i że to jego stężenie powinno być kontrolowane. Innymi słowy, zamiast kwantyfikować ryzyko poprzez skomplikowane pomiary przyłączonych i nieprzyłączonych frakcji pochodnych radonu (lub modelowanie oparte na pomiarach wszystkich istotnych parametrów), najlepszym sposobem było zapobieganie ryzyku poprzez usunięcie źródła – radonu. A do tego, jak rozumiałam, istniały już technologie, a nawet pewne przepisy (choć ich nie badałam). Tak więc kwestia została rozwiązana.

Ale czy na pewno? Wciąż się uczyłam i nie zdawałam sobie wtedy sprawy, jak duża jest przepaść między dostępnością wiedzy a jej wdrażaniem.

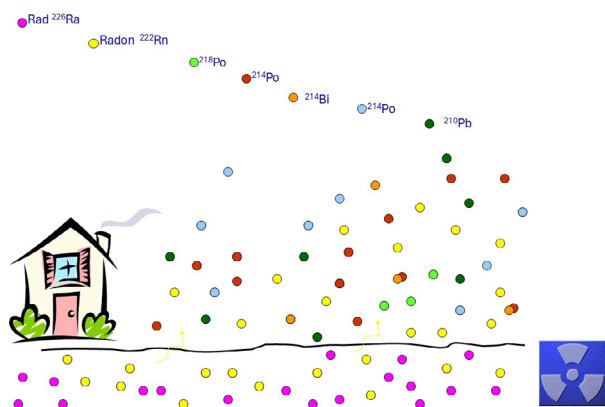
35 lat później

Chociaż wycofałam się z badań nad radonem po stwierdzeniu, że temat ten został naukowo rozwiązany, nadal, od czasu do czasu, śledziłam rozwój w tej dziedzinie i przeprowadziłam pewne ograniczone badania na ten temat w późniejszych latach (Morawska i Jamriska, 1996, Morawska i Jamriska, 1997, Jayaratne i in., 2011).

Badania nad występowaniem pochodnych radonu są kontynuowane w różnych środowiskach. Prace podobne do tych, które prowadziliśmy 35 lat temu, są nadal prowadzone w niektórych krajach, aczkolwiek przy użyciu lepszej aparatury i lepszych modeli.

Jednak kwestia narażenia na promieniowanie spowodowane radonem nadal istnieje i jest daleka od rozwiązania. Istnieją przepisy, ale czy są one przestrzegane? Niedawno opublikowane badania pokazują, że nie są one przestrzegane: wysokie stężenia radonu występują w wielu szkołach (USEPA, 2024), domach i miejscach pracy (HPSC, 2011, EU, 2014).

Powracam więc do kwestii radonu i pracuję obecnie z kolegami nad artykułem przeglądowym zatytułowanym *Occupants' exposure to indoor radon in European educational environments*. Problem nie został rozwiązany, jak błędnie sądziłam 35 lat temu; jednak jego rozwiązanie wymaga działań prawnych, a nie dalszych badań naukowych. Adekwatna nauka istniała już dziesiątki lat temu!



Ryc. 5. Schemat emanacji radonu-222 z ziemi i jego rozpadu na łańcuch krótkotrwałych, radioaktywnych pochodnych

Cząsteczki ultradrobne

Odkrycie w Toronto w 1990 roku i jego następstwa

Pod koniec mojego stażu podoktorskiego na Uniwersytecie w Toronto, kiedy zaczęłam uważać, że nauka o radonie i jego pochodnych w powietrzu została zamknięta, mój umysł był wyraźnie otwarty na identyfikowanie i podejmowanie nowych wyzwań naukowych. Nie sędzę, bym świadomie zadawała sobie pytanie: „Co dalej?”, ale szukałam pomysłów. Jak kiedyś powiedziałam w odpowiedzi na pytanie o mój moment eureka: „Moje momenty eureka nie polegały na znajdowaniu rozwiązań problemów, ale na odkrywaniu problemów naukowych”.

Jeden z moich najważniejszych momentów eureka miał miejsce w Toronto, gdy nadal prowadziłam eksperymenty nad oddziaływaniem między pochodnymi radonu a cząsteczkami w komorze eksperymentalnej. Pewnego letniego dnia 1990 roku, dla kaprysu, wyjęłam sondę mojego DMPS z komory i wysunęłam ją przez okno laboratorium. Ku mojemu zaskoczeniu odkryłam, że stężenia cząstek submikronowych na tej ruchliwej ulicy w centrum Toronto były niezwykle wysokie: dziesiątki do setek tysięcy cząstek na centymetr sześcienny, porównywalne z tymi, które tworzyłam w komorze eksperymentalnej. Czym one były? Skąd pochodziły? Przeszukałam literaturę, ale nic nie znalazłam. Oczywiście skojarzyłam te cząstki z będącymi produktami spalania emisjami pojazdów na ulicy. Źródłem cząstek testowych dla moich eksperymentów komorowych dotyczących interakcji między cząstkami a pochodnymi radonu było również spalanie. Znalazłam podobieństwa w widmach wielkości między cząstkami testowymi a tymi zza okna. W tamtym czasie istniała tylko garstka instrumentów tego typu, których używałam, i były one zwykle używane do badań laboratoryjnych, więc nikt nie badał tych małych cząstek w otaczającym powietrzu. Wtedy zdałam sobie sprawę, jak interesujący problem naukowy to przedstawia i że jest to znacząca luka w wiedzy – wiedzy, która jest niezwykle ważna dla naszego zdrowia i dobrego samopoczucia. Stało się to moim nowym kierunkiem badań!

Wkrótce po tym odkryciu, w 1991 roku, zaproponowano mi stanowisko starszego wykładowcy na Queensland University of Technology (QUT) w Brisbane w Australii. Chociaż uniwersytet oczekiwał, że przejmę laboratorium radioaktywności środowiska, którego starszy pracownik naukowy przechodził na emeryturę, moje osobiste zainteresowania były już gdzie indziej. Byłam niezwykle wdzięczna mojemu ówczesnemu dyrektorowi, który docenił moją

wizję i pozwolił mi „rozwinąć skrzydła”, zamiast ograniczać mnie do skupienia się na badaniach radioaktywności w środowisku. W pełni wykorzystałam tę okazję i w ciągu następnych kilku lat ubiegałam się o fundusze zewnętrzne na aparaturę i badania nad tym, co obecnie nazywa się cząstkami ultradrobnyymi (*ultrafine particles* – UFP, definiowanymi jako cząstki < 100 nm), które wówczas były szerzej znane jako cząstki submikronowe. W tamtym czasie żadna instytucja badawcza w Australii nie specjalizowała się w badaniach aerozoli środowiskowych, więc kiedy nasz pierwszy SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer) – nowsza wersja DMPS, którego używałam w Toronto – przybył do laboratorium, był pierwszym w kraju.

Oczywiście potrzebna była nie tylko aparatura, ale także zespół badawczy. Wraz z dołączeniem pierwszych studentów i pracowników naukowych w 1993 roku, staliśmy się Laboratorium Aerozoli Środowiskowych (EAL) w QUT. EAL koncentrowało się na nauce o drobnych i ultradrobnych cząstkach unoszących się w powietrzu, ale od samego początku było jasne, że nie możemy ograniczać naszego zainteresowania do nauki o tym systemie, ale musimy również rozważyć jego wpływ na zdrowie publiczne – na ludzi, którzy wdychają cząstki i inne składniki i zanieczyszczenia w powietrzu – a także wpływ na środowisko. Wraz z uświadomieniem sobie istnienia tych skutków pojawiła się odpowiedzialność za znalezienie rozwiązań, które pozwolą im zapobiec lub je zminimalizować. Dlatego też cele EAL zostały zdefiniowane w następujący sposób:

Kompleksowa charakterystyka powietrza wewnątrz i na zewnątrz pomieszczeń; Zintegrowane oceny ryzyka dla zdrowia i środowiska oraz Strategie kontroli i zarządzania zanieczyszczeniami powietrza.

W 1995 r. połączyliśmy siły z Departamentem Środowiska Queensland i utworzyliśmy Stację Monitorowania i Badań Powietrza (AMRS), która dołączyła do sieci monitorowania jakości powietrza w Queensland, i która nadal działa, umożliwiając nam dostęp do szerszego spektrum danych dotyczących jakości powietrza, wykraczających poza dane dotyczące cząstek unoszących się w powietrzu.

Uznając potrzebę rozpoznania, co jeszcze znajduje się w powietrzu oprócz cząstek, oraz zrozumienia całego systemu, w którym cząstki istnieją, w 2002 r. EAL zostało przemianowane na Międzynarodowe Laboratorium Jakości Powietrza i Zdrowia (ILAQH), QUT. Podczas gdy jego cele nie uległy zmianie, jego rozszerzony zakres został opisany w następujący sposób:

Laboratorium prowadzi badania podstawowe i stosowane w złożonej, interdyscyplinarnej dziedzinie jakości powietrza i jego wpływu na zdrowie ludzi, ze szczególnym uwzględnieniem cząstek drobnych, ultradrobnych i nanocząstek atmosferycznych.

W 2004 r. ILAQH uzyskało status Centrum Współpracy w zakresie Jakości Powietrza i Zdrowia Światowej Organizacji Zdrowia (WHO), który utrzymuje do dnia dzisiejszego.

Wczesne lata naszych badań nad UFP były niesamowitą naukową przygodą. Wraz z rozwojem zespołu i poszerzaniem wiedzy specjalistycznej (w zakresie fizyki, chemii, mikrobiologii, inżynierii) byliśmy w stanie uwzględnić w badaniach każdy problem dotyczący cząstek, który mogliśmy sobie wyobrazić lub na który natknęliśmy się przypadkowo. W ciągu kilku lat zróżnicowany zakres naszych badań obejmował zastosowanie najnowocześniejszych technik instrumentalnych do badań UFP; kwantyfikację poziomów emisji z różnych źródeł zanieczyszczeń, w szczególności spalania paliw kopalnych i źródeł naturalnych (np. pożary buszu); badanie fizykochemicznych procesów wytwarzania i transportu cząstek w powietrzu; badania aerozoli morskich i ich właściwości; zastosowanie wiedzy o systemach filtracji i wentylacji powietrza; badania właściwości cząstek w placówkach opieki zdrowotnej, szkołach, biurach i mieszkaniach; określanie właściwości osadzania się cząstek w płucach człowieka; powiązanie źródeł cząstek i ich wkładu w zagrożenia dla środowiska i zdrowia; rozwój i udoskonalanie procesu oceny ryzyka; oraz charakterystyka nanocząstek (najmniejszej frakcji UFP) z procesów inżynierskich – lista jest długa. Wyniki naszych badań zostały przedstawione w setkach publikacji w czasopismach i ocenione za wizjonerskie i pionierskie prace w tej nowo rozwiniętej dziedzinie nauki stosowanej. Podczas prezentacji do nagrody Amerykańskiego Stowarzyszenia Badań Aerozoli, David Sinclair Award 2017, zostałam uhonorowana następującym opisem:

uważana za jednego z najlepszych badaczy w dziedzinie nauki o aerozolach, obejmującej szerokie spektrum, w tym radon, spaliny samochodowe, emisje cząstek związane z pomieszczeniami, modelowanie i narażenie zawodowe. Przez ponad 30 lat pracowała nad trudnymi i ważnymi zagadnieniami aerozolowymi, a jej wybitne wyniki mają znaczącą wartość dla innych badaczy.

Dla mnie te lata były naukową ucztą, w której prawie każda kampania pomiarowa ujawniała coś nowego, a późniejsza analiza danych ujawniała

mechanizm istotnych procesów, skalę efektów lub oddziaływanie między różnymi parametrami systemu obejmującego naturalną atmosferę i świat antropogeniczny.

W wielu przypadkach odkrycia te były całkowicie przypadkowe, ponieważ nie opierały się na badaniu żadnej hipotezy i początkowo powodowały zamieszanie. Jednym z kluczowych przykładów było odkrycie cząstek wytwarzanych przez drukarki w biurach. Prowadziliśmy projekt w jednym z budynków administracji stanowej Queensland, przylegającym do głównej autostrady w Brisbane CBD (Central Business District). Nasi koledzy z administracji chcieli wiedzieć, czy emisje z ruchu na autostradzie mają wpływ na stężenie UFP w budynku, a jeśli tak, to w jaki sposób można je kontrolować. Przeprowadziliśmy już wcześniej podobne pomiary, wykazując powiązania między stężeniami cząstek na zewnątrz i wewnątrz budynków oraz śledząc ich źródła, i nie spodziewałam się, że ta konkretna praca ujawni jakieś nowe interesujące zjawiska. Jednak po kilku pierwszych dniach pomiarów stało się jasne, że w budynku znajdowało się źródło emisji, które czasami podnosiło stężenie cząstek znacznie powyżej tła budynku i że nie było to związane ze stężeniem na zewnątrz. Co to było? Podejrzewaliśmy, że gdzieś w budynku znajdowało się źródło spalania. Tak więc każda przestrzeń w budynku została dokładnie zbadana w celu zidentyfikowania źródła. Czy ktoś gotował w jednej z kuchni lub, co gorsza, ktoś potajemnie palił? Ani jedno, ani drugie. Winowajcami okazały się drukarki biurowe, których dziesiątki znajdowały się w budynkach, a niektóre z nich emitowały duże ilości cząstek (He i in., 2007).

Czym były te cząstki? Nie wiedzieliśmy tego, choć było jasne, że są one bardzo małe, stanowiąc najmniejszą frakcję UFP. Otworzyło to zupełnie nowy obszar badań, w którym przetestowaliśmy dziesiątki drukarek przy użyciu najbardziej zaawansowanych metod, jakie posiadaliśmy, w tym jednej opracowanej przez nasz zespół i początkowo wykorzystywanej do badania aerozoli morskich (VH-TDMS – *volatilisation and humidification tandem differential mobility particle sizer*), w celu zbadania higroskopijności i lotności cząstek generowanych przez drukarki. Badania te ostatecznie wykazały, że były to wtórne aerozole organiczne, które powstawały w powietrzu z lotnych związków organicznych emitowanych podczas drukowania w wysokiej temperaturze (He i in., 2010, Morawska i in., 2009b).

Choć odkrycie to było fascynujące z naukowego punktu widzenia, jeszcze bardziej interesująca była reakcja opinii publicznej: w końcu tak wiele osób miało drukarki na swoich biurkach, w biurze lub w domu. Stało się ono historią medialną dla QUT; udzieliłam dziesiątek wywiadów w tygodniach po

opublikowaniu naszego pierwszego artykułu na ten temat. Co ważne, przemysł drukarski zwrócił uwagę na to odkrycie i zainteresowanie, jakie ono wzbudziło. Kiedy dziesięć lat później powtórzyliśmy nasze pomiary emisji z drukarek, poziomy były znacznie niższe niż te zmierzone w 2007 r. (Morawska i in., 2019).

Innym pamiętnym odkryciem było niezwykle wysokie stężenie cząstek w klasie szkolnej na obrzeżach Brisbane CBD. Tematem badań był ponownie wpływ emisji z pojazdów na powietrze w pomieszczeniach, a w szczególności potencjalny wzrost emisji z autobusów z nowej planowanej trasy autobusowej na stężenie UFP w klasie w pobliskiej szkole. Rodzice uczniów uczęszczających do szkoły domagali się od władz odpowiedzi w tej sprawie. Moim zdaniem był to kolejny „rutynowy” projekt. Jednak pierwszego dnia pomiarów zaskoczyły nas bardzo wysokie stężenia cząstek w pomieszczeniach, znacznie przekraczające stężenia na zewnątrz. Stężenia te stale rosły wkrótce po rozpoczęciu zajęć szkolnych i ostatecznie spadały pod wieczór. Podobnie jak w przypadku emisji z drukarek, cały budynek został przeszukany w poszukiwaniu źródła. Sprawdziliśmy kuchnię, sprzęt ogrodniczy i kosiarki znajdujące się w pobliżu okien klasy, ale wysokie poziomy nie zostały wychwycone przez SMPS w zewnętrznym obszarze monitorowania. Jedyną rzeczą, którą odkryliśmy, było palenie przez nauczyciela po godzinach, gdy przygotowywał eksperymenty na następny dzień. Objawiało się to jednak tylko niewielkim pikiem w spadającym stężeniu cząsteczek o tej porze dnia. Nauczyciel został upomniany, ale to nie rozwiązało naszego problemu. Departament Edukacji Queensland nadzorował te badania, więc musieliśmy zgłosić im odkrycie wysokiego stężenia cząstek. Urzędnicy Departamentu Edukacji zapytali mnie, czy szkoła powinna zostać zamknięta, ponieważ nie byliśmy w stanie zidentyfikować źródła cząstek lub ich potencjalnego wpływu na zdrowie. Nie mogłam tego zalecić, ponieważ nie mogłam sobie wyobrazić, że cząstki mogłyby stworzyć poważne zagrożenie, ale uzasadnienie tego nie było łatwe. W ciągu kolejnych dni to samo zjawisko powtórzyło się, jednak stężenie cząstek malało.

Jakiś czas później wysnułam hipotezę, że były to cząstki wtórne z lotnych związków organicznych emitowanych przez produkty używane podczas szkolnych zajęć plastycznych. W salach lekcyjnych widzieliśmy dziesiątki różnych farb i klejów – czy to one były ich źródłem? Departament zgodził się przeprowadzić kolejną rundę pomiarów kilka miesięcy później. Badania mające na celu przetestowanie tej hipotezy wykazały, że produkty te rzeczywiście były źródłem; jednak stężenia, które napotkaliśmy podczas drugiej rundy, były niższe niż w pierwszej rundzie. Z perspektywy czasu doszliśmy do wniosku, że w czasie naszych początkowych pomiarów na początku roku szkolnego na ścianach wisiało wiele

dużych schnących malunków, ponieważ dzieciom dano za zadanie udokumentowanie tego, co robiły podczas wakacji. Musieliśmy widzieć te malunki, ale kto by pomyślał, że były one źródłem prekursorów do tworzenia cząstek wtórnych (Morawska i in., 2009a)?

Z biegiem czasu było mniej niespodzianek: mogliśmy zidentyfikować źródła, patrząc na rozkład wielkości cząstek i środowisko. Wciąż jednak pojawiały się nowe scenariusze. Dzięki moim studentom i współpracownikom wykonaliśmy wiele pracy w rozwijających się krajach Afryki, Azji i Oceanii. Jeden z moich doktorantów badał narażenie dzieci szkolnych na UFP w Akrze w Ghanie i był zaskoczony odkryciem niezwykle wysokich stężeń cząstek w sypialniach w nocy, kiedy wszystkie dzienne czynności związane ze spalaniem, takie jak gotowanie i spalanie odpadów, ustały. Zagadka została rozwiązana, gdy zdał sobie sprawę, że źródłem były spirale przeciwko komarom, które były zapalane w sypialniach każdej nocy (Nyarku i in., 2019).

Te przykłady stanowią dobre historie do opowiedzenia. Jednak wiele odkryć, choć mniej ciekawych do opowiadania, jest jeszcze bardziej interesujących ze względu na ich naukową złożoność.

Opracowanie hipotezy na temat procesów i źródeł pochodzenia, na podstawie rozkładu wielkości cząstek to jedno, ale zebranie wystarczającej ilości informacji na temat charakterystyki cząstek w celu ilościowego określenia udziału źródła, ilościowego opisu procesu i powiązania charakterystyki cząstek z ich oddziaływaniem to zupełnie inna sprawa.

Dlatego też stopniowo rozszerzaliśmy nasze zainteresowania. Jednym z przykładów był projekt UPTECH: *Ultrafine Particles from Traffic Emissions and Children's Health* (Ultradrobne cząsteczki z emisji samochodowych a zdrowie dzieci). Badania w ramach tego dużego interdyscyplinarnego projektu przeprowadzono w 25 szkołach na obszarze metropolitalnym Brisbane. Budzące międzynarodowe uznanie badania – to pierwsza kompleksowa analiza ilościowa przestrzennego, czasowego i osobistego narażenia na UFP. Wśród wielu ustaleń kluczowym wnioskiem było to, że UFP nie mają wpływu na układ oddechowy u dzieci, ale mają skutki ogólnoustrojowe, ze względu na powiązanie z biomarkerem ogólnoustrojowego stanu zapalnego. Uznaliśmy to za potwierdzenie znanej zdolności UFP do osadzania się głęboko w płucach i przenikania do układu krążenia (Clifford i in., 2018).

Przez lata rozwijaliśmy naukę i udzielaliśmy odpowiedzi na pytania, które zadałam w Toronto. Nasze badania dostarczyły nowych narzędzi do wykrywania i analizy cząstek w powietrzu oraz nowych informacji na temat charakterystyki narażenia ludzi na zanieczyszczenie powietrza, w tym kluczowych źródeł emisji,

procesów fizykochemicznych, interakcji zarówno w otaczającym powietrzu, jak i w środowiskach wewnętrznych oraz wpływu na zdrowie ludzi. Czy te narzędzia były używane i czy wiedza została wykorzystana?

Obecnie, 35 lat później

Kluczowym wymogiem wykorzystania wiedzy naukowej w życiu jest istnienie regulacji opartych na tej wiedzy. Takie regulacje odnoszą się między innymi do jakości powietrza, emisji, standardów produktów i przepisów budowlanych. Warunkiem wstępnym ustanowienia standardów, co jest zazwyczaj długotrwałym procesem, jest istnienie ustalonej przyczyny i skutku w odniesieniu do określonych zanieczyszczeń oraz relacji ekspozycja–reakcja, którą można określić ilościowo. Niestety, pomimo zwiększonej wiedzy naukowej na temat UFP i zaakceptowaniu wpływu tych cząstek na zdrowie, nadal nie było wystarczających podstaw ilościowych do wyprowadzenia zależności ekspozycja–reakcja dla UFP. Zostało to podsumowane w akapicie, który napisałam i który został zaakceptowany do włączenia do Wytycznych WHO dotyczących jakości powietrza z 2005 roku:

Chociaż istnieją znaczące dowody toksykologiczne na potencjalny szkodliwy wpływ cząstek ultradrobnych na zdrowie ludzkie, istniejące dowody epidemiologiczne są niewystarczające, aby wyciągnąć wnioski na temat zależności ekspozycja–reakcja na ultradrobne cząstki (WHO, 2006).

Była to jedyna wzmianka o UFP w dokumencie.

Lata mijały, a sytuacja ta nie zmieniała się, głównie z powodu znacznej złożoności i ceny spektrometrów MPSS (*mobility particle size spectrometers*) – aparatury potrzebnej do pomiaru rozkładu wielkości cząstek i stężenia. W ciągu dziesięcioleci, odkąd użyłam mojego pierwszego DMPS w Toronto, instrumenty te nie stały się ani prostsze, ani tańsze. Wiedza specjalistyczna wymagana do obsługi instrumentów do badań epidemiologicznych (w dostatecznej liczbie lokalizacji w odniesieniu do narażenia ludzi i przez wystarczający czas) wykraçała poza możliwości zespołów zaangażowanych w badania UFP. Było jasne, że dopóki nie zostaną ustalone zależności między narażeniem a reakcją na UFP, nie będzie żadnych wytycznych zdrowotnych!

Moi koledzy i ja wiedzieliśmy tak wiele o UFP, że stawaliśmy się coraz bardziej sfrustrowani faktem, że ta wiedza rozwijana przez dziesięciolecia nie była wykorzystywana do ochrony zdrowia publicznego. Frustracja ta osiągnęła punkt krytyczny podczas konferencji AEROSOLS 2018 w Cassino we Włoszech w kwietniu 2018 roku. W mojej prezentacji plenarnej na konferencji rzuciłam wyzwanie uczestnikom, pytając:

Jako doradca ministra zdrowia/środowiska, jak odpowiedziałbyś na pytania: Czy UFP powodują skutki zdrowotne? Jak je mierzymy? Jakie są trendy w zmianach ich stężenia w Twoim mieście (rosną czy maleją)? Jaki jest udział poszczególnych źródeł? Jakie standardowe poziomy byś zalecał?

Biorąc pod uwagę, że odpowiedź na wszystkie te pytania brzmiała „nic” lub „nie wiemy”, zaproponowałam, że my, jako naukowcy, musimy coś zrobić w tej sytuacji i tak powstała grupa, której celem było znalezienie rozwiązania. Nazwaliśmy się grupą „Thinking Outside the Box”. Było nas 28 osób, ekspertów w dziedzinie narażenia (takich jak ja), epidemiologii i toksykologii, i przez kolejne miesiące pracowaliśmy nad Białą Księgą zatytułowaną *UFP w otoczeniu: dowody dla decydentów*. W listopadzie 2018 r. spotkaliśmy się ponownie w Monachium, gdzie gospodarzem było Niemieckie Centrum Badań nad Zdrowiem Środowiskowym, Helmholtz Zentrum München, aby omówić ostateczny kształt dokumentu. Biała Księga została ogłoszona w 2019 r. i udostępniona przez Europejską Federację Stowarzyszeń Czystego Powietrza i Ochrony Środowiska (EFCA) (Cassee i in., 2019).

Osiągnięcie konsensusu naukowego w tej sprawie przez naszą grupę było punktem zwrotnym w podejściu do ryzyka dla zdrowia publicznego powodowanego przez UFP: stworzyło pomost do przełożenia nauki na zastosowania w zakresie zdrowia publicznego. W tym czasie WHO pracowała nad nową wersją wytycznych dotyczących jakości powietrza (byłam współprzewodniczącą w tych działaniach), a Grupa ds. Opracowania Wytycznych uznała za ważne uwzględnienie UFP w dokumencie. Ponieważ jednak zależności ekspozycja–reakcja nie była znana dla cząstek ultradrobnych (podobnie jak w 2005 r.), nie było możliwym ustalenie zaleceń liczbowych dla UFP w nowych zaleceniach (Air Quality Guideline, WHO, 2021). Nasza Biała Księga została jednak uwzględniona w dokumencie jako rozdział dotyczący „dobrych praktyk”, zawierający nową, szerszą definicję UFP (quasi-UFP, ze stężeniami liczby cząstek w zakresie do co najmniej 10 nm, bez ograniczeń co do górnej granicy), „typowe wartości”

cząstek i ich czasy uśredniania oraz zalecenia dotyczące dalszych prac w tym zakresie. Oznacza to, że organy ochrony środowiska i zdrowia publicznego na całym świecie mają teraz podstawę do rozważenia krajowych przepisów dotyczących kontroli tego znaczącego zanieczyszczenia, poprawy zdrowia i ratowania życia.

I organy ds. zdrowia publicznego zwróciły na to uwagę. W październiku 2024 r. Parlament Europejski wydał dyrektywę w sprawie jakości powietrza i czystsze powietrze dla Europy (Komisja Europejska, 2024), w której stwierdził:

Ważne jest, aby zanieczyszczenia budzące obawy, takie jak cząstki ultradrobne, sadza i węgiel elementarny, a także amoniak i potencjał utleniający pyłu zawieszonego, były mierzone w nadrzędnych punktach monitorowania zarówno w lokalizacjach tła wiejskiego, jak i miejskiego, w celu wsparcia naukowego zrozumienia ich wpływu na zdrowie ludzi i środowisko, zgodnie z zaleceniami WHO.

Prace te nadal trwają! Jednym z zaleceń dotyczących postępu wysiłków w odniesieniu do UFP zawartych w WHO 2021 AQG było:

Należy zintensyfikować wysiłki w celu wykorzystania nowej wiedzy i technologii w celu zaawansowanego podejścia do oceny narażenia na UFP w celu zastosowania w badaniach epidemiologicznych i zarządzaniu.

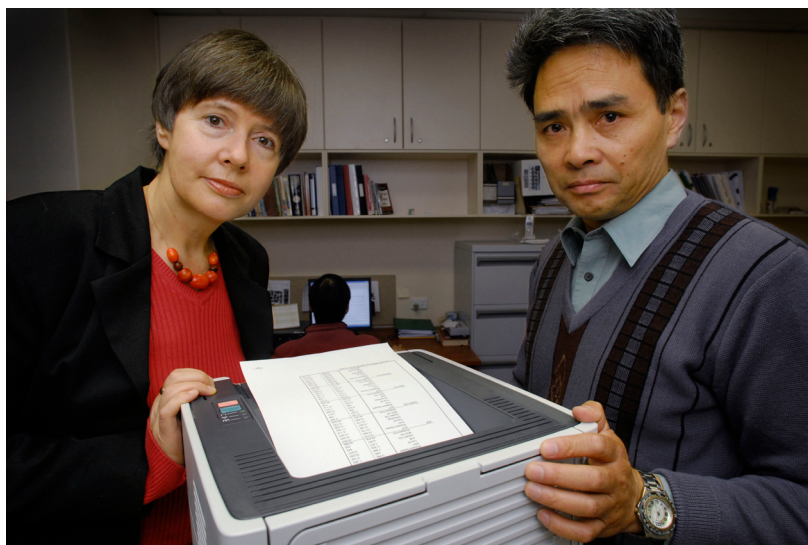
Zainspirowana postępem w rozwoju aparatury do monitorowania UFP, podczas Europejskiej Konferencji Aerozolowej 2023 w Maladze w Hiszpanii zaproponowałam, że monitorowanie UFP na dużą skalę jest teraz możliwe przy użyciu uproszczonego podejścia opartego na jednobiegunowych ładowarkach dyfuzyjnych. Zebraliśmy grupę ponad dwudziestu kolegów z całego świata, którzy nabyli konkretny instrument z własnych środków. W 2024 r. rozpoczęliśmy projekt, który ma zostać zakończony pod koniec 2025 r., a którego celem jest monitorowanie UFP przez rok w lokalizacjach na całym świecie przy użyciu Partector2-Pro, aby wykazać jego porównywalność z MPSS; określić ilościowo, w jakim stopniu można spełnić wymagania dotyczące dokładności rozkładu wielkości określone w CEN/TS 17434; oraz wykazać jego długoterminową stabilność działania i łatwości obsługi (Morawska i in., 2024b). Pomyślne zakończenie badania będzie krokiem w kierunku przyszłych perspektywnych

badania ekspozycja-reakcja i zapewni podstawę do ustalenia wartości wytycznych opartych na zdrowiu UFP. Teraz mamy nowy cel. Podczas gdy do tej pory główny nacisk kładziono na wdychanie UFP i ich wpływ na zdrowie układu oddechowego lub przenikanie przez płuca do krwi, co z kolei powoduje skutki ogólnoustrojowe (Clifford i in., 2018), obecnie uznaje się, że jeszcze bardziej znaczącym wpływem może być bezpośrednie przenikanie UFP do mózgu przez układ węchowy. Kiedy wachamy, niektóre cząsteczki związków gazowych, które przenikają przez ten system, są niewiele mniejsze niż dolny rozmiar spektrum wielkości UFP. Znaczenie tego faktu dla naszego zdrowia jest nie do przecenienia!

Jednak poza społecznością ekspertów panuje powszechna niewiedza na temat wpływu cząstek zawieszonych w powietrzu i zanieczyszczenia powietrza na zdrowie. Obecność cząstek z wielu lokalnych źródeł spalania lub pyłu jest akceptowana jako całkowicie normalna: wystarczy pomyśleć o dymiącym domowym grillu, świecach na stole w restauracji oraz dmuchawach do liści i kurzu. Wszyscy musimy gotować, ale emisje i narażenie można całkowicie wyeliminować, przechodząc na kuchenki elektryczne i używając okapów kuchennych. Pomyślmy o wielu przypadkach, w których generujemy zanieczyszczenia dla przyjemności – nie tylko świece czy kadzidełka, ale także fajerwerki (Salma i in., 2023). Pomyślmy o spalaniu w celach kulturalnych lub religijnych. Uważamy te działania za akceptowalne, dopóki nie jest niemożliwe widzenie lub oddychanie, lub jeśli ktoś cierpi na schorzenia układu oddechowego. Przeprowadziliśmy wystarczająco dużo badań, aby wiedzieć, że musimy wyeliminować te źródła zanieczyszczeń. Istnieje jednak duża luka między wiedzą naukową, a publicznym zrozumieniem powiązanych zagrożeń i zastosowaniem tej wiedzy w celu ochrony zdrowia.

Przy całym postępie, jaki poczyniliśmy, czy ostatnia strona podręcznika na temat UFP została już napisana? Twierdzę, że jeszcze nie. Jest jeszcze wiele do zrobienia i zrozumienia, zanim będziemy mogli powiedzieć, że ta dziedzina nauki została całkowicie zbadana (jeśli w ogóle). Na przykład, w jaki sposób możemy lepiej modelować powstawanie nowych cząstek, aby przewidywać lokalne i globalne trendy w oparciu o nasze zrozumienie ich prekursorów i meteorologii? Jakie przyszłe trendy w stężeniach i charakterystyce UFP w otoczeniu pojawią się wraz z przejściem na czystą energię, gdy znikną bezpośrednie emisje cząstek z procesów spalania, a także emisje gazowych prekursorów do późniejszego tworzenia nowych cząstek? Czy nastąpi znaczny spadek stężenia UFP, czy też tendencja będzie się zmieniać, a większą rolę będą odgrywać cząstki wtórne (cząstki powstające w powietrzu z prekursorów

gazowych) w miejscach i czasie, w których naturalne lub antropogeniczne emisje takich prekursorów są zwiększone? Jaki będzie globalny wpływ pożarów związanych ze zmianą klimatu na stężenia UFP? Przewiduje się, że skala takich zdarzeń wzrośnie, podobnie jak ich wpływ na zanieczyszczenie powietrza w ogóle, a w szczególności na UFP generowane w wyniku spalania. Wciąż pozostaje wiele pytań, na które należy odpowiedzieć, a zatem „podręcznik” na temat UFP będzie nadal pisany.



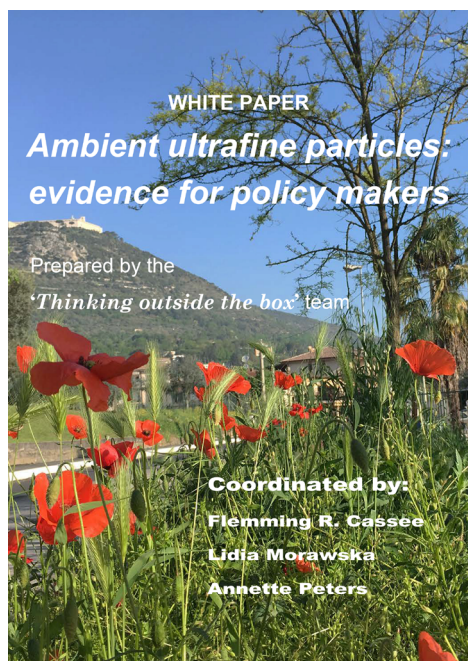
Ryc. 6. Lidia Morawska z dr. Congrong He w 2007 r., odkrycie ultradrobnych cząstek emitowanych przez drukarki



Ryc. 7. Zespół „Thinking Outside the Box” w listopadzie 2018 r., w Instytucie Helmholtza w Monachium



Ryc. 8. Międzynarodowe Laboratorium Jakości Powietrza i Zdrowia (ILAQH), Queensland University of Technology, zdjęcie grupowe, czerwiec 2019 r.
Lidia Morawska, założycielka i dyrektor, siedzi w drugim rzędzie



Ryc. 9. Okładka Białej Księgi: *Cząstki ultradrobne w otoczeniu: dowody dla decydentów*, przygotowanej dla Europejskiej Federacji Stowarzyszeń Czystego Powietrza i Ochrony Środowiska (EFCA), opublikowanej 29 października 2019 r.

Przenoszenie infekcji drogą powietrzną

Pytania podczas epidemii SARS-CoV-1

Podczas gdy pierwszy moment eureka miał miejsce w Toronto, kiedy odkryłam świat UFP w powietrzu, drugi miał miejsce przy moim biurku w Brisbane podczas epidemii SARS-CoV-1 w 2003 roku. Wraz z rozprzestrzenianiem się epidemii zadawano wiele pytań, w tym dotyczące wybuchu epidemii w Amoy Gardens, kompleksie wieżowców mieszkalnych w Hongkongu. Ponad 300 osób zostało zarażonych od jednej zakażonej osoby, która spędziła tylko jedną noc ze swoim krewnym w jednym z budynków. Przypadek ten był tak niezwykły, że powstały niezwykle teorie na temat mechanizmu przenoszenia wirusa. WHO wysłała zespół epidemiologów, aby pomóc wyjaśnić, jak to się stało, ale zespół nie był w stanie odkryć mechanizmu. Następnie WHO zaczęła gromadzić zespół ekspertów ds. aerozoli, a ja zostałam zaproszona do udziału. Czułam się zarówno zaszczycona zaproszeniem, jak i przerażona perspektywą podróży do Hongkongu w trakcie śmiertelnej epidemii, z tak wieloma niewiadomymi na temat jej przenoszenia.

Oprócz moich osobistych odczuć związanych z tą sytuacją, nie miałam doświadczenia z cząsteczkami zakaźnymi generowanymi przez ludzkie aktywności oddechowe, takie jak oddychanie, mówienie, kaszel i śpiew, ponieważ te czynności nie były badane przez nasz zespół na tym etapie. Badaliśmy osadzanie się UFP w ludzkich drogach oddechowych (Morawska i in., 1999, Hofmann i in., 2001, Hofmann i in., 2009), ale nie proces powstawania cząstek podczas czynności oddechowych i przenoszenia patogenów. Oczywiście, są to cząstki w powietrzu, więc ich fizyka nie może różnić się od fizyki innych cząstek o podobnych rozmiarach z innych źródeł. Są one większe niż UFP, na których do tej pory koncentrowały się nasze badania, ponieważ oprócz składników takich jak woda, sole i białka, które wyścielają drogi oddechowe, zawierają również patogeny. Jak powstają te cząsteczki? Jaka jest ich charakterystyka, w szczególności stężenie i rozkład wielkości? Przygotowując się do misji w Hongkongu, gorączkowo przeszukiwałam literaturę w poszukiwaniu odpowiedzi, ale ku mojemu wielkiemu zaskoczeniu znalazłam tylko trzy artykuły opublikowane w ciągu 60 lat na temat jakichkolwiek aspektów związanych z fizyką cząstek emitowanych podczas czynności oddechowych. Pierwszym z nich była praca Duguid (1945), który stwierdził, że:

...mechanizmy infekcji przenoszonych drogą powietrzną nie są jeszcze w pełni poznane, ani nie jest znany zakres, w jakim infekcja normalnie odbywa się każdą z różnych dróg.

Sześćdziesiąt lat później wyrażono podobny wniosek dotyczący tej dziedziny:

Nadal względne znaczenie możliwych mechanizmów przenoszenia dla wielu powszechnych chorób układu oddechowego, a także okres zakaźności, pozostają nierozwiązane (Mendell i in., 2002).

Wydawało mi się to niezwykle: nie tylko nauka była niezwykle interesująca, ale miała krytyczne znaczenie dla zdrowia publicznego – dlaczego wiedzieliśmy o niej tak mało?

Misja w Hongkongu nie odbyła się, ponieważ zanim zespół był gotowy, epidemia dobiegła końca i nie było już dowodów na miejscu, aby je badać. Późniejsze, retrospektywne badania modelowe powiązały wybuch epidemii z bardzo nietypową sytuacją: wadliwym systemem rur spustowych w budynku i sytuacją w jednej z łazienek, która pozwoliła na zassanie części ścieków z toalety do powietrza w łazience, a następnie wydalenie ich na zewnątrz przez wentylator i rozproszenie po całym kompleksie budynków. Rozprzestrzenienie się infekcji było zgodne z kierunkiem rozprzestrzeniania się skażonego strumienia i kierunkiem wiatru spowodowanym warunkami metrologicznymi w tym czasie. To odkrycie mogło zakończyć moje rozważania na ten temat, ale pozostała kwestia nieistniejącej wiedzy o emisji cząstek z naszych czynności oddechowych: tak długo, jak żyjemy, emitujemy cząsteczki podczas oddychania, mówienia, śpiewania i kaszlu. Niektóre z tych cząstek zawierają bakterie i/lub wirusy, które pozostają zawieszone w powietrzu po emisji i powodują przenoszenie infekcji dróg oddechowych drogą powietrzną. Wypełnienie luki w badaniach tych procesów stało się moim drugim głównym celem. I znowu, jak w przypadku UFP, momentem eureka było uświadomienie sobie problemu – ale nie było prostej odpowiedzi, jak ten problem rozwiązać. Jednak w oparciu o to, czego już się nauczyłam, wiedziałam, że nauka o emisji cząstek z czynności oddechowych ma kluczowe znaczenie dla kontroli przenoszenia infekcji dróg oddechowych (Morawska, 2006).

Złożyliśmy wniosek o grant od Australijskiej Rady ds. Badań Naukowych w celu zbadania cząstek pochodzących z ludzkiego układu oddechowego. W skład naszego zespołu weszli lekarze zajmujący się układem oddechowym i wirusolodzy. Pierwszym moim pytaniem było, jak uzyskać maksymalną ilość

informacji o cząstkach z tych badań, biorąc pod uwagę wszystkie wyzwania. Wyzwania te obejmowały szybkie zmiany cząstek wraz z odparowywaniem części wody zaraz po ich emisji oraz, zgodnie z oczekiwaniami, ich szeroki rozkład wielkości, od cząstek niewiele większych od samych patogenów do tych mierzonych w milimetrach i widocznych gołym okiem. W jaki sposób moglibyśmy pobierać próbki tylko tych cząstek i nie uwzględniać mieszanki innych cząstek oddechowych, jak moglibyśmy uwzględnić zmieniającą się naturę cząstek i jakich instrumentów powinniśmy użyć, biorąc pod uwagę, że żaden pojedynczy instrument nie miał wystarczająco szerokiego zakresu pomiarowego, aby objąć cały zakres rozkładu wielkości cząstek? Odwiedziłam kolegów w Hongkongu i Singapurze, którzy w tym czasie również rozpoczęli pracę nad cząsteczkami oddechowymi, aby omówić zalety i wady różnych podejść. (Badacze ci stali się później współpracownikami w naszej pracy). W końcu wpadłam na pomysł optymalnego rozwiązania systemu badawczego. Układ, który zbudowaliśmy, składał się z dużego przezroczystego tunelu z pleksiglasu, do którego osoba wkładała głowę, a cząsteczki emitowane przez tę osobę, przenoszone przez delikatny przepływ czystego, przefiltrowanego powietrza, były mierzone lub zbierane za pomocą różnych instrumentów i metod. Oczywiście wszystkie parametry tego systemu były kontrolowane, dzięki czemu mogliśmy mierzyć interesujące nas cząsteczki i tylko je. Znajomość dokładnego wieku cząstek pozwoliła nam przeprowadzić najbardziej kompleksowy program badań, jaki kiedykolwiek podjęto w zakresie rozkładów wielkości cząstek skorygowanych rozcieńczeniem, wytwarzanych podczas różnych czynności oddechowych.

Układ ten pozwolił naszemu rozszerzonemu zespołowi na uzyskanie po raz pierwszy szczegółowej wiedzy o cząstkach pochodzących z ludzkich czynności oddechowych (Morawska i in., 2009c) oraz o zależności charakterystyki cząstek od konkretnych czynności oddechowych, a tym samym od pochodzenia cząstek z różnych części dróg oddechowych (Johnson i Morawska, 2009, Johnson i in., 2011). Następnie kontynuowaliśmy badania zakaźnych cząstek zawierających bakterie *Pseudomonas*, emitowane przez osoby z mukowiscydą (Knibbs i in., 2014, Johnson i in., 2016), wpływu masek/respiratorów na emisję cząstek (Stockwell i in., 2018, Wood i in., 2018), przenoszenia bakterii w emitowanych cząsteczkach (Stockwell i in., 2019), by wymienić tylko najważniejsze z tych badań. Ostatecznie rozszerzyliśmy nasz system pobierania próbek o obrotowy bęben, w którym mogliśmy postarzać cząsteczki wydychane do niego przez ochotników w celu zbadania zmian ich właściwości w czasie lub gromadzenia dużych stężeń cząstek. Chociaż nie na wszystkie nasze początkowe pytania uzyskaliśmy odpowiedzi, w ciągu nieco ponad dziesięciu lat

badan znacznie poszerzyliśmy naszą wiedzę na temat cząstek pochodzących z ludzkich czynności oddechowych, a tym samym ich prawdopodobnej roli jako nośników infekcji dróg oddechowych. Wiedza ta została następnie poparta odkryciami innych badaczy na całym świecie, którzy również zainteresowali się tą dziedziną (np. Asadi i in., 2019).

20 lat później

Kiedy na początku 2020 r. pojawiły się pierwsze wiadomości o nowej chorobie układu oddechowego, SARS-CoV-2/COVID-19, nie zadawaliśmy tych samych pytań, co podczas epidemii SARS-CoV-1. My, naukowcy, byliśmy wyposażeni w wiedzę na temat tego, w jaki sposób generowane są cząsteczki oddechowe zawierające wirusa, jakie są ich cechy i jakiego mechanizmu przenoszenia infekcji można się spodziewać. Sądziłam więc, że nasze społeczeństwo jest wyposażone w niezbędną wiedzę i będzie przygotowane do wykorzystania tej wiedzy, aby odpowiednio zareagować. Tak się jednak nie stało.

Z niedowierzaniem patrzyłam, jak pojawiały się billboardy zalecające ludziom „mycie rąk w celu ratowania życia”. Patrzyłam na ludzi w supermarketach noszących rękawiczki, ale nie maski. Siedzenia były dezynfekowane po spotkaniach, ale nie zapewniono żadnej wentylacji podczas tych spotkań. To było tak, jakbyśmy cofnęli się w czasie, do średniowiecza, kiedy rządzącą teorią przenoszenia infekcji była ta oparta na miazmie: społeczeństwo XXI wieku zareagowało na pandemię w taki sam sposób, jak społeczeństwa setki lat temu.

Aby to zmienić, wraz z kolegą napisaliśmy artykuł: *Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality* (Morawska i Cao, 2020). Ale zagrożenie przybierało na sile, a kiedy WHO napisała na Twitterze, że: *wirus nie jest przenoszony drogą kropelkową*, FAŁSZ, 29 marca 2020 r. (WHO, 2020b), zdałam sobie sprawę, że trzeba coś zrobić i to pilnie. W *Quo Vadis* (Morawska, 2020), opisałam, jak doszłam do tego wniosku i co nastąpiło później. Krótko mówiąc, zebrałam i pokierowałam interdyscyplinarną grupą 36 ekspertów (obecnie zwaną *Grupą 36*), która była następnie wspierana przez kolejnych ekspertów (łącznie 239), aby przekonać organy zdrowia publicznego na całym świecie do uznania znaczenia przenoszenia drogą kropelkową cząstek wirusa SARS-CoV-2 i ogromnego ryzyka, jakie stanowi to dla zdrowia ludzkiego, oraz do przedstawienia wytycznych dotyczących środków wymaganych do jego kontrolowania. Dzięki naszej wspólnej pracy i wiedzy zdobytej w ciągu wielu lat badań byliśmy w stanie sprawić, że świat uznał znaczenie przenoszenia

infekcji dróg oddechowych drogą kropelkową. Następnego dnia po opublikowaniu naszego artykułu, Listu otwartego do krajowych i międzynarodowych organów zdrowia publicznego (Morawska i Milton, 2020), WHO zaakceptowała, że istnieją „dowody na rozprzestrzenianie się nowego koronawirusa drogą kropelkową” i zaktualizowała swoje wytyczne dotyczące „Przenoszenia SARS-CoV-2: implikacje dla środków ostrożności w zakresie zapobiegania zakażeniom” (WHO, 2020a). Skłoniło to władze większości krajów do zaktualizowania swoich zaleceń dotyczących przenoszenia wirusa drogą kropelkową (Allen, 2020, Lewis, 2020). Praca ta jest uważana za jeden z najważniejszych elementów w walce z pandemią i miała ogromne znaczenie globalne. Zostałam uznana za jedną z najbardziej wpływowych osób na świecie TIME100 w 2021 roku, wyróżniając się wśród innych za:

pracę nad uznaniem znaczenia transmisji aerozoli i zebraniem danych, które przekonałyby WHO i inne autorytatywne organy do zrobienia tego samego, co pomogło zmienić praktyki wszędzie, od szkół po miejsca pracy, czyniąc te środowiska bezpieczniejszymi dla większej liczby ludzi na całym świecie.

Później, w 2024 r., WHO wydała *Globalny raport z konsultacji technicznych w sprawie proponowanej terminologii patogenów przenoszonych drogą powietrzną* (WHO, 2024a).

Czy musieliśmy przejść przez tak ekstremalny proces, aby zmusić społeczeństwo do zaakceptowania ugruntowanej nauki? Odnosząc się do tej kwestii (Morawska i in., 2023), doszliśmy do wniosku, że:

tragiczną sytuacją dla naszego społeczeństwa jest to, że fakty naukowe nie są na czas przyjmowane w procesie podejmowania decyzji dotyczących zdrowia publicznego. Zdajemy sobie sprawę, że przy ustalaniu polityki decydenci muszą brać pod uwagę wiele aspektów: naukowe, ekonomiczne, społeczne, etyczne i inne. Jednak nauka nie może być odsuwana na bok w tym procesie, co niestety ma miejsce w przypadku wielu innych decyzji krytycznych dla dobrobytu naszego społeczeństwa. Wierzymy, że jako społeczeństwo możemy i powinniśmy działać znacznie lepiej i zalecamy, jak to zrobić.

Ufamy, że wiedza o tym, że przenoszenie drogą kropelkową stanowi główny mechanizm przenoszenia infekcji dróg oddechowych, jest obecnie

w pełni akceptowana przez praktyków zdrowia publicznego i decydentów, nawet jeśli nie przełożyło się to jeszcze w pełni na odpowiednie środki kontroli (więcej na ten temat poniżej). Czy oznacza to jednak, że wiedza o wytwarzaniu cząstek oddechowych, a zwłaszcza zakaźnych cząstek oddechowych, oraz o losie tych cząstek w powietrzu jest ugruntowana do tego stopnia, że nie ma potrzeby przeprowadzania dalszych badań? Odpowiedź brzmi: nie, a następujące aspekty naukowego zrozumienia wymagają wyjaśnienia.

Ustalono, że ilość i rozkład wielkości cząstek generowanych w drogach oddechowych wynika z dwóch mechanizmów: turbulentnej aerolizacji oraz pęknięcia lub rozerwania płynnego filmu, włókna lub pęcherzyka. Jednak ani odpowiednie właściwości reologiczne, ani ilość i rozkład wielkości generowanych cząstek nie mogą być jeszcze mierzone bezpośrednio w drogach oddechowych żywych ludzi. Chociaż nie możemy zmierzyć tych procesów bezpośrednio, możemy je modelować i symulować, co stanowi podstawę naszej wiedzy. Jak stwierdziliśmy w (Morawska i in., 2022):

Chociaż teoretyczne zrozumienie fizyki związanej z generowaniem cząstek stale się poprawia, w tym poprzez modelowanie numeryczne, postępy w nanotechnologii mogą zapewnić drogę do przeprowadzania takich pomiarów w postaci nanobotów zdolnych do zbierania i raportowania istotnych informacji z wnętrza dróg oddechowych.

Potrzebne jest lepsze zrozumienie dynamiki początkowych momentów strumienia oddechowego, w oparciu o badania eksperymentalne z naciskiem na dynamikę strumienia wielofazowego i wpływ charakterystyki powietrza w pomieszczeniach na stabilność patogenów. Dynamika ta, w szczególności w pierwszych sekundach i minutach po emisji strumienia oddechowego, podobnie jak „wielki wybuch”, jest ważna w przenoszeniu patogenów układu oddechowego drogą powietrzną, ponieważ wpływa na stabilność patogenów, zwłaszcza wirusów. Na przykład ostatnie badania wykazały, że kwasowość powietrza, na którą wpływa w szczególności stężenie CO_2 , jest czynnikiem zwiększającym stabilność wirusów, a tym samym ryzyko infekcji (Haddrell i in., 2024).

Wreszcie, nie jest jeszcze naukowo możliwe zidentyfikowanie patogenów w powietrzu w pomieszczeniach w czasie rzeczywistym, aby ostrzec o zagrożeniach i umożliwić ilościową ocenę ryzyka oraz wdrożenie kontroli systemu. Liczne grupy na całym świecie intensywnie pracują nad wynalezieniem metody, która to umożliwi (w tym nasz zespół w THRIVE), ale czy kiedykolwiek osiągniemy ten cel? Czas pokaże!

Żadne z powyższych nie podważa jednak naszej solidnej wiedzy na temat zasad przenoszenia infekcji drogą powietrzną ani nie podważa ustalonych metod kontroli.



Ryc. 10. Eksperymentalny tunel pomiarowy do badań cząstek emitowanych przez ludzki układ oddechowy, zaprojektowany w 2005 r.



Ryc. 11. Lidia Morawska w 2023 roku na tle tunelu; zdjęcie wykonane przez zespół L'Oreal Award. Prof. Morawska otrzymała międzynarodową nagrodę L'Oréal-UNESCO For Women in Science w 2023 r.

Zanieczyszczenie powietrza: narażenie, ryzyko i wpływ na zdrowie

Od wczesnych lat mojej pracy nad radonem, wpływ na zdrowie był ostatecznym powodem tych badań. Dlatego też zdolność do oceny i kwantyfikacji wpływu na zdrowie miała kluczowe znaczenie. Moje wykształcenie w dziedzinie fizyki posłużyło jako podstawa naukowa do oceny ryzyka i wpływu na zdrowie, a w trakcie mojej kariery przyczyniłam się do rozwoju tej wiedzy, współpracując z kolegami posiadającymi doświadczenie w epidemiologii, toksykologii i ocenie obciążenia chorobami. W tej dziedzinie nie kontrastuję „wtedy” z „teraz”, ale raczej widzę stały postęp i poprawę naszego zrozumienia zagrożeń i skutków w ciągu ostatnich dziesięcioleci.

Istnieje kilka etapów w procesie od obecności zanieczyszczenia w powietrzu do momentu, w którym dana osoba lub społeczność jest przez nie dotknięta.

Ocena narażenia polega na ilościowym określeniu stężenia danego zanieczyszczenia i jego zmienności w czasie podczas wdychania w określonym środowisku (uważanym za mikrośrodowisko) oraz we wszystkich mikrośrodowiskach w danym okresie i/lub w ciągu całego życia. Wymaga to pomiarów zanieczyszczeń, a także modelowania: nie jest możliwe zmierzenie stężenia zanieczyszczeń w każdym miejscu, w którym przebywają ludzie, przez cały czas. Dlatego też stosowane są różne rodzaje modeli. Ocena narażenia była nieodłączną częścią naszej pracy przez lata, w tym badań narażenia w pobliżu dróg (Jamriska i in., 1999) i dojazdów do pracy (Knibbs i Morawska, 2012, Knibbs i in., 2011a); u dzieci we Włoszech (Buonanno i in., 2012), w Bhutanie (Wangchuk i in., 2015) oraz ogólnie w szkołach (Mejia i in., 2011); w odniesieniu do emisji z drukarek laserowych (McGarry i in., 2011), spawania (Buonanno i in., 2011) i działania odkurzaczy (Knibbs i in., 2012a), w celu powiązania osobistego narażenia i ryzyka (Buonanno i in., 2014) oraz zbadania głównych dróg narażenia (Morawska i in., 2017), a lista na tym się nie kończy.

Wdychanie i osadzanie się w płucach (jeśli dane zanieczyszczenie jest cząsteczką) jest konsekwencją narażenia. Wdychanie pochodnych radonu i ich osadzanie się w drogach oddechowych (jak opisano powyżej) stwarza ryzyko napromieniowania. Podobnie, osadzanie się UFP w drogach oddechowych stwarza ryzyko, które jest albo bezpośrednim wpływem na drogi oddechowe, albo przenikaniem cząstek przez nabłonek do układu krwionośnego, powodując ryzyko ogólnoustrojowe. Osadzanie cząstek jest złożonym procesem fizycznym,

a podstawowym wyzwaniem w kwantyfikacji jest to, że nie możemy łatwo wykryć – lub „zobaczyć” – eksperymentalnie, gdzie cząstki się osadzają. Przeprowadziliśmy badania osadzania cząstek od początku naszej pracy nad UFP (Morawska i in., 1999). Udoskonalliliśmy projekt badania, abyśmy mogli przeprowadzić badania osadzania na większą skalę, z udziałem większej liczby ochotników, zwłaszcza dzieci, zarówno w środowisku rzeczywistym, jak i laboratoryjnym (Guo i in., 2020a, Guo i in., 2020b). Ostatecznie, aby określić, gdzie w drogach oddechowych osadzają się cząsteczki (zamiast porównywać to, co było wdychane, z tym, co było wydychane w celu pomiaru całkowitej depozycji), połączyliśmy nasze wyniki eksperymentalne z modelowaniem (Hofmann i in., 1999, Hofmann i in., 2001). Kwantyfikacja cząstek odkładających się w drogach oddechowych w czasie w wyniku ekspozycji pozwala na ilościowe określenie dawki otrzymanej przez osobę/populację, a tym samym można określić wpływ na zdrowie.

Zależność ekspozycja-reakcja jest domeną badań epidemiologicznych, w których oblicza się bezpośredni wpływ ekspozycji (odpowiedzi) na określone aspekty zdrowotne mniejszych lub większych grup osób narażonych, a nie dawkę dla poszczególnych osób. Badania epidemiologiczne, które prowadziliśmy lub do których się przyczyniliśmy, wykazały na przykład, jak opisałam powyżej, ogólnoustrojowe skutki wdychania UFP (Clifford i in., 2018), oraz wpływ wentylacji na zmniejszenie liczby zakażeń SARS-CoV-2 w szkołach (Buonanno i in., 2022).

Badania obciążenia chorobami (BOD) wykorzystują informacje z badań epidemiologicznych (oraz innych rodzajów badań i danych) w celu ilościowego określenia obciążenia zdrowotnego, a czasem także obciążenia ekonomicznego dużych grup populacji lub całego świata (Globalne Obciążenie chorobami [GBD]). Takie aspekty są prowadzone przy udziale wielu ekspertów i od 2012 roku wniosłam wkład do 60 badań nad BOD lub GBD. Co ciekawe, w jednym z pierwszych badań, w których uczestniczyłam (Lim i in., 2012), pył zawieszony ($PM_{2.5}$) został sklasyfikowany jako dziewiąte zagrożenie, na które narażeni są ludzie na całym świecie, ale późniejsze badania sklasyfikowały go znacznie wyżej, jako szóste (GBD, 2019). Prace te są kontynuowane, a jednym z konkretnych obszarów oceny BOD jest zanieczyszczenie powietrza w pomieszczeniach. W szeroko zakrojonym badaniu przeprowadzonym w Chinach (Liu i in., 2023) oceniono BOD zanieczyszczenia powietrza w pomieszczeniach mieszkalnych, wykazując, że spośród wszystkich zanieczyszczeń wpływ $PM_{2.5}$ jest najwyższy, a obciążenie ekonomiczne dla kraju wynosi 3,48% chińskiego produktu krajowego brutto. Moja dalsza analiza tej pracy wykazała, że:

Co ciekawe, podczas gdy ranking zanieczyszczeń różni się w zależności od prowincji oraz między Chinami, Stanami Zjednoczonymi i krajami europejskimi, $PM_{2,5}$ jest głównym zanieczyszczeniem we wszystkich krajach, a jego wpływ pod względem BOD znacznie przewyższa wpływ wszystkich innych zanieczyszczeń. Ogólnie rzecz biorąc, wykazało to, że istnieją główne czynniki, które można uogólnić we wszystkich krajach, niezależnie od poziomu rozwoju (Morawska 2024).

Nasze obecne prace mają na celu rozszerzenie oceny BOD i obciążenia ekonomicznego na przestrzenie publiczne, w szczególności szkoły.

Jednym z rodzajów oceny, który nie został omówiony powyżej, ale był tematem naszych badań przez ostatnie 15 lat, jest ocena ryzyka infekcji przy użyciu istniejących modeli oceny ryzyka i/lub wnoszenie wkładu w nowe modele oceny ryzyka. Począwszy od naszych wczesnych badań nad ryzykiem zakażenia współpasażerów w samochodzie (grypa, Knibbs i in. 2012b) oraz w placówce opieki zdrowotnej z dużym szpitalem klinicznym (grypa, gruźlica i zakażenie rinowirusem, Knibbs i in. 2011b), rozszerzyliśmy te oceny i połączyliśmy je z rzeczywistymi danymi dotyczącymi ryzyka zakażenia SARS-CoV-2 w restauracji w Guangzhou (Chiny) i na próbie chóru w Mount Vernon (USA) (Buonanno i in., 2020), w niewielkiej odległości (Mikszewski i in., 2022, Cortellessa i in., 2021) i w szkołach (Buonanno i in., 2022, Arpino i in., 2022, Stabile i in., 2021, Buonanno i in., 2020, Cortellessa i in., 2021). Modele stosowane w tym celu łączą informacje na temat wydychanego patogenu, charakterystyki przestrzeni wewnętrznej (objętości i szybkości wentylacji), dynamiki cząstek wewnątrz pomieszczeń, czasu ekspozycji i szybkości inhalacji w celu obliczenia probabilistycznego ryzyka infekcji. Oznacza to, że nasza wiedza na temat wszystkich tych aspektów, jak wyjaśniono powyżej, stanowi ważną podstawę do oceny ryzyka zakażeń. Oprócz naszych badań na ten temat, stworzyliśmy również własne narzędzie do oceny ryzyka, Airborne Infection Risk Calculator (AIRC, 2021), a ja współprzewodniczyłam opracowaniu modelu WHO Airborne Risk Indoor Assessment (ARIA) – Technical Working Group (WHO, 2024b).

Czy wiedza na temat narażenia, ryzyka i wpływu na zdrowie jest kompletna? Wiemy wystarczająco dużo, aby działać na wielu frontach w celu kontroli emisji i narażenia, aby wyeliminować lub zmniejszyć ryzyko wpływu na zdrowie. Jednak zanieczyszczenie powietrza i jego skutki są niezwykle złożone i daleko nam do ilościowego określenia wszystkich zagrożeń i ich kosztów – informacje te są potrzebne decydentom w procesie ustalania regulacji opartych na analizie ryzyka. Jeszcze dalej nam do kontrolowania wszystkich zagrożeń. Moja

współpraca z WHO przez prawie trzy dekady rozpoczęła się od udziału w opracowaniu Wytycznych dotyczących zapobiegania pyłom w środowisku pracy (WHO, 1996). To właśnie wtedy dowiedziałam się, że: „zagrożenie, które nie zostało rozpoznane, nigdy nie może być kontrolowane”. Od tego czasu praca, którą wykonuję z moimi współpracownikami, przyczynia się nie tylko do identyfikacji zagrożeń i kwantyfikacji ryzyka, ale także do znajdowania rozwiązań mających na celu zapobieganie lub minimalizowanie ryzyka związanego z zanieczyszczeniem powietrza.



Ryc. 12. Lidia Morawska, dr. Hisashi Ogawa (WHO), prof. Ross Young (dyrektor, Instytut Innowacji Biomedycznych w Ochronie Zdrowia, QUT), prof. Andrew Wilson (Wydział Zdrowia QUT) podczas wizyty WHO w QUT 8 sierpnia 2011 r.

Powietrze wewnętrzne

Powietrze w pomieszczeniach pozostawiłam jako ostatnią sekcję, ponieważ w pewnym sensie obejmuje ona większość obszarów, nad którymi pracowałam. Powietrze w pomieszczeniach jest jednym z najbardziej krytycznych obszarów, w których nauka jest ignorowana, mimo że jest to miejsce, w którym nasza ekspozycja na zanieczyszczenie powietrza jest zazwyczaj najbardziej znacząca – wdychamy powietrze w pomieszczeniach średnio przez ponad 90% naszego czasu.

Od samego początku, choć nie zawsze było to w pełni wyrażone, powietrze w pomieszczeniach i jego jakość były na pierwszym planie, począwszy od moich badań nad radonem. Narażenie na radon i jego pochodne jest generalnie problemem w pomieszczeniach, a nie na zewnątrz. Dlatego też nie było przypadkiem, że konferencje dotyczące powietrza w pomieszczeniach przyciągnęły moją uwagę, gdy przestawiłam się z radonu i radioaktywności środowiskowej na UFP i zanieczyszczenie powietrza w ogóle. Ostatnią konferencją poświęconą radonowi, w której uczestniczyłam, były warsztaty: First International Workshop on Indoor Air Radon Remedial Action, które odbyły się w Rimini we Włoszech w czerwcu 1993 roku, niemal równolegle z moją pierwszą konferencją na temat powietrza w pomieszczeniach, czyli Sixth International Conference on Indoor Air Quality and Climate, która odbyła się w Helsinkach w Finlandii w lipcu 1993 roku. Intensywne dyskusje i interakcje podczas tych dwóch wydarzeń oraz spostrzeżenia kolegów doprowadziły do decyzji o zebraniu ekspertów z całego świata w celu omówienia zintegrowanego podejścia do powietrza w pomieszczeniach.

Powietrze w pomieszczeniach – zintegrowane podejście, 1994

Międzynarodowe warsztaty (Indoor Air – An Integrated Approach) zostały zorganizowane w krótkim czasie nieco ponad roku i odbyły się w Gold Coast w Australii w listopadzie 1994 roku. Ich ogólnym celem było:

zrozumienie interakcji w wieloskładnikowych systemach powietrza, opracowanie podejścia do zintegrowanej oceny ryzyka i zarządzania ryzykiem oraz określenie obszarów przyszłych badań, które doprowadzą do ogólnej poprawy jakości powietrza w pomieszczeniach.

Można powiedzieć, że była to tylko kolejna konferencja, ale dla uczestników, w tym dla mnie, otworzyła nam oczy na złożoność środowiska wewnętrznego. W tamtym czasie myśleliśmy, że drzwi te pozostaną otwarte, ale teraz, z perspektywy trzech dekad, które minęły od tego czasu, jasne jest, że drzwi te nie pozostały szeroko otwarte. Zgodnie z moimi notatkami podsumowanymi we wstępie do materiałów z tego wydarzenia, okazało się, że po raz pierwszy eksperci reprezentujący różne interesy i stanowiska odpowiedzialności publicznej spotkali się razem bez podziału na wąskie, zorientowane na dyscyplinę grupy, aby omówić kwestie związane z środowiskiem wewnętrznym. To nowe doświadczenie podkreśliło, jak trudno było nawiązać komunikację między różnymi grupami ekspertów, nie wspominając o zrozumieniu różnych podejść do powietrza w pomieszczeniach reprezentowanych przez każdą z grup. Czy my, naukowcy zajmujący się różnymi aspektami powietrza w pomieszczeniach, mówimy teraz „tym samym językiem”? Raz po raz zdajemy sobie sprawę, że tak nie jest, jak wykazał raport WHO „Global technical consultation report on proposed terminology for pathogens that transmits through the air” (WHO, 2024a) trzy dekady po warsztatach:

Terminologia używana do opisu przenoszenia patogenów przez powietrze różni się w zależności od dyscypliny naukowej, organizacji i opinii publicznej.

W konsekwencji brak wspólnego języka mógł przyczynić się do powstania mylących informacji i nieporozumień dotyczących sposobu przenoszenia patogenów w populacjach ludzkich, co prowadziło do błędnej kontroli ryzyka przenoszenia infekcji. Oczywiście, jeśli nie będziemy „mówić tym samym językiem”, trudno będzie osiągnąć ogólną poprawę jakości powietrza w pomieszczeniach.

Inną ważną kwestią były różnice w podejściu do powietrza w pomieszczeniach pomiędzy praktykami zajmującymi się projektowaniem i eksploatacją budynków a naukowcami badającymi dynamikę zanieczyszczeń i oddziaływań w środowisku wewnętrznym. Praktycy zauważyli, że ich działania zawsze opierały się na zintegrowanym podejściu z pełnym obrazem, opartym na aktualnej wiedzy i zrozumieniu wszystkich aspektów związanych z wyborem materiałów, projektowaniem budynków i zarządzaniem nimi oraz praktykami mającymi na celu minimalizację problemów. Z kolei naukowcy stwierdzili, że pomimo postępów w wielu dziedzinach, nie ma podstawowej wiedzy naukowej, która pozwoliłaby wyjaśnić lub określić ilościowo oddziaływania między zanieczyszczeniami w powietrzu. Na przykład, chociaż mechanizm oddziaływań między produktami

rozpadu radonu a aerozolami został dobrze zrozumiany, a kwantyfikacja poziomów narażenia z powodu takich interaktywnych mieszanin była możliwa, nie było jeszcze możliwości kwantyfikowania oddziaływań biozanieczyszczeń ze środowiskiem wewnętrznym.

Podczas spotkania osiągnięto konsensus co do tego, że kompleksowe rozwiązania można znaleźć jedynie poprzez zintegrowane podejście na wszystkich poziomach badań, analiz i praktyki.

Gdyby interdyscyplinarne spotkanie o tych samych celach odbyło się teraz, trzydzieści lat później, byłoby skazane na wysnucie podobnych wniosków na temat stanu wiedzy i praktyki w zakresie jakości powietrza w pomieszczeniach. Czy zegar się zatrzymał?

30 lat później

Przez lata nasze badania nad powietrzem wewnętrznym zawsze obejmowały szeroki zakres tematów, z których wiele zostało już wspomnianych powyżej. Jednym z ważnych obszarów badawczych są bioaerozole w środowisku wewnętrznym, w tym grzyby (Salonen i in., 2015, Hargreaves i in., 2003) i endotoksyny (Kumar i in., 2016a, Salonen i in., 2013). Badania nad grzybami zyskują na znaczeniu wraz ze zmianami klimatycznymi i wzrostem wilgotności w budynkach, zwłaszcza wraz ze wzrostem częstotliwości i skali powodzi (He i in., 2014). Jak stwierdził zespół WHO, którego byłam członkiem (WHO, 2009), temat ten wymaga ukierunkowania zainteresowania. Innym obszarem badawczym, który wynika z początkowych szerszych badań, które nie dotyczą tylko środowiska wewnętrznego, jest zastosowanie tanich czujników do monitorowania zanieczyszczeń powietrza (Morawska i in., 2018, Kumar i in., 2016b, Kumar i in., 2016a, Kumar i in., 2015). Ekscytujące było badanie tych nowych technologii, budowanie własnego taniego monitora, znanego jako KOALA, i instalowanie jego sieci w wielu lokalizacjach w Australii (Brisbane, Sydney, Melbourne, Adelaide, Blue Mountains, Gold Coast, Perth, Longreach i Mackay) oraz w Azji i Oceanii (Chiny, Fidżi, Nowa Zelandia, Wyspy Salomona, Sri Lanka, Wietnam). Nasze badania z wykorzystaniem tej nowej technologii dostarczyły danych na temat zanieczyszczenia powietrza w miejscach, w których nie prowadzono monitoringu. Wiedza ta okazała się niezwykle istotna w zastosowaniu do proponowanego przez nas przyszłego monitorowania jakości powietrza w pomieszczeniach, jak omawiam poniżej.

Wraz z rosnącą wiedzą na temat wielu aspektów powietrza wewnętrznego i środowiska wewnętrznego, powoli zdaliśmy sobie sprawę, że chociaż jest to przedmiotem zainteresowania naukowego, niewiele zrobiono, aby zapewnić dobrą jakość powietrza wewnętrznego (*indoor air quality*, IAQ) w budynkach. W przeciwieństwie do sytuacji z powietrzem zewnętrznym, nie istniały żadne regulacje mające na celu ochronę IAQ. W ten sposób podsumowałam sytuację na konferencji Healthy Buildings 2000, która odbyła się w Helsinkach w Finlandii (Morawska, 2000):

Następujące czynniki przyczyniają się do złożoności i trudności w dostarczaniu rozwiązań problemów związanych z jakością powietrza, jak również ograniczają postęp w zakresie jakości powietrza w środowisku australijskim: (1) Nie ma jednego krajowego organu rządowego odpowiedzialnego za jakość powietrza; ustawodawstwo środowiskowe, jak również ustawodawstwo zdrowotne są w gestii poszczególnych stanów, a nie rządu krajowego; (2) W poszczególnych stanach nie ma organów bezpośrednio odpowiedzialnych za IAQ; obowiązki są rozłożone na różne organizacje; (3) Nie istnieją normy wydajności dla środowiska wewnętrznego, a jedynie normy projektowe i eksploatacyjne; (4) Środowiska pracy i środowiska mieszkalne są traktowane inaczej; (5) Brakuje funduszy na oceny IAQ; oraz (6) Informacje na temat oceny środowiska wewnętrznego są często dostępne tylko dla właścicieli budynków (i ich konsultantów) i traktowane jako poufne.

Nie patrząc na datę publikacji, można by dojść do wniosku, że jest to podsumowanie obecnego status quo: nic się nie zmieniło.

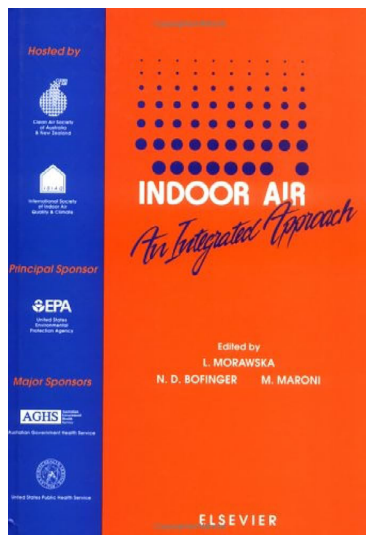
Pomimo naszej pracy i rosnącej wiedzy, zainteresowanie IAQ było niewielkie, a postęp w stosowaniu tej wiedzy w celu ochrony jakości powietrza w pomieszczeniach był niewielki. Po SARS-CoV-1 wydawało się, że pojawiło się małe okno możliwości. Kilka lat po epidemii nasze badania wyposażyły nas w wiedzę na temat cząstek zakaźnych pochodzących z czynności oddechowych oraz wizję zastosowania tej wiedzy do kontrolowania infekcji w budynkach poprzez kontrolę systemów budowlanych (wentylacja, filtracja, przepływ powietrza). Jednak stało się jasne, że nawet ubieganie się o granty było stratą czasu: ta nauka nie została uznana za wystarczająco ważną lub interesującą, aby dać nam szansę na sukces. Skala błędnych przekonań była daleko idąca, a opinie takie jak ta wyrażona przez recenzenta jednego z naszych wniosków o grant od Australijskiej Rady ds. Badań Naukowych w 2014 r.,

że przenoszenie infekcji drogą kropelkową nie jest możliwe były powszechne. To były mroczne lata dla IAQ!

Pandemia COVID-19 to zmieniła. Każda pandemia w historii głęboko zmieniła sposób funkcjonowania społeczeństwa. Oprócz innych skutków, pomogła ona skupić uwagę na znaczeniu IAQ, po pierwsze poprzez akceptację przenoszenia infekcji drogą powietrzną (opisaną powyżej), a następnie szerzej poprzez badanie innych zanieczyszczeń i zagrożeń. Na początku pandemii mówiliśmy: „Świat powinien zmierzyć się z rzeczywistością przenoszenia SARS-CoV-2 drogą powietrzną” (Morawska i Cao, 2020, Morawska i in., 2020, Morawska i Milton, 2020). Później rozszerzyliśmy nasze cele, wzywając do „zmiany paradygmatu w celu zwalczania infekcji dróg oddechowych w pomieszczeniach”, podkreślając potrzebę poprawy systemów wentylacji budynków (Morawska i in., 2024a). Ostatecznie opracowaliśmy plan wprowadzenia IAQ w budynkach użyteczności publicznej (Morawska i in., 2024a). Plan jest konsensusem naukowym ponad czterdziestu ekspertów ze wszystkich dyscyplin, którzy wnoszą wkład w naukę i praktykę jakości powietrza w pomieszczeniach. Zapewnia on pragmatyczną, ale popartą naukowo podstawę, do monitorowania jakości powietrza w pomieszczeniach w każdej przestrzeni publicznej i w każdym pomieszczeniu, podobnie jak obecny obowiązek w większości krajów dotyczący czujników dymu, które są obecnie instalowane w każdym pomieszczeniu. Wzywa również do opracowania przepisów dotyczących jakości powietrza w pomieszczeniach na równi z przepisami, które istnieją od dziesięcioleci w odniesieniu do powietrza na zewnątrz. Monitorowanie zanieczyszczenia powietrza w pomieszczeniach do celów regulacyjnych będzie się różnić od monitorowania powietrza na zewnątrz. Po pierwsze, nie możemy używać dużych i drogich monitorów w każdej przestrzeni wewnętrznej; dlatego zastosowanie tanich czujników $PM_{2.5}$ i CO jest niezbędne: nasza wiedza na temat tych technologii jest kluczową korzyścią. Po drugie, monitorowanie musi obejmować parametry lub ich wskaźniki, które dostarczają informacji na temat aspektów krytycznych dla środowisk wewnętrznych, raczej niż zewnętrznych, takich jak jakość wentylacji i ryzyko infekcji. Podstawą tych zaleceń było nasze rozumienie oceny ryzyka infekcji. Niektóre z tych koncepcji były dalej badane w kontekście wniosków wyciągniętych z pandemii w odniesieniu do wentylacji (Morawska i in., 2024c). Nasze prace są kontynuowane; przedstawiliśmy ramy „jak to zrobić” dla zastosowania tanich czujników $PM_{2.5}$ do monitorowania zgodności jakości powietrza w pomieszczeniach (Morawska i in., 2025).

Czy świat wykorzysta tę wiedzę? Chociaż istnieją dowody na to, że rządy na całym świecie omawiają tę kwestię, czy przełoży się to na regulacje

i trwałe zmiany? Wiele pozostaje jeszcze do zrobienia, ale jestem optymistką, wierząc, że nasz zjednoczony głos naukowy oraz cierpliwe i wytrwałe wysiłki, aby wpłynąć na decydentów, wraz z naszą chęcią współpracy z nimi w celu zapewnienia czystego powietrza w pomieszczeniach dla wszystkich, przyniosą owoce w niedalekiej przyszłości!



Ryc. 13. Przednia okładka książki *Indoor Air: An Integrated Approach*, zawierającej materiały z Międzynarodowych Warsztatów na temat Powietrza Wewnętrznego, które odbyły się w 1994 r. w Gold Coast, Queensland, Australia



Ryc. 14. *Knowing Our Ambient Local Air-quality (KOALA)*, tani monitor opracowany przez International Laboratory for Air Quality and Health (ILAQH), Queensland University of Technology w 2018 r.



Ryc. 15. Spotkanie z premierem Australii, posłem Anthonyem Albanese w dniu 19 sierpnia 2024 r. w celu omówienia krajowej strategii na rzecz czystego powietrza w pomieszczeniach dla Australijczyków; od lewej do prawej, dr Bronwyn King (Burnet Institute), Anna-Maria Arabia (dyrektor naczelny Australijskiej Akademii Nauk), poseł Anthony Albanese (premier Australii), profesor Lidia Morawska (Queensland University of Technology), profesor Brendan Crabb (Burnet Institute)



Ryc. 16. Lidia Morawska z księciem Monako, księciem Albertem II podczas ceremonii otrzymania nagrody Planetary Health Award Fundacji Księcia Alberta II z Monako w 2024 r.

Podróż trwa

Nie ma nic bardziej fundamentalnego niż powietrze, którym oddychamy. Pozbawieni go, umarlibyśmy w ciągu kilku minut. Poświęciłam swoje życie badaniu powietrza i wpływu jego jakości na zdrowie ludzi i środowisko. Złożoność i interdyscyplinarność tej dziedziny nauki nigdy nie przestaje mnie fascynować i inspirować do dalszych badań. „Specjalizacja” może wiązać się z wyborem wąskiego obszaru zainteresowania. Ale w przypadku nauki o powietrzu konieczne jest zrozumienie i zbadanie całego systemu, w tym powietrza (wewnątrz i na zewnątrz), budynków i nas samych (w jaki sposób wpływamy na system i jesteśmy pod jego wpływem). Aby zrozumieć procesy zachodzące w powietrzu i ich wpływ, potrzebna jest nie tylko fizyka, ale także wkład wielu innych dyscyplin. Pracowałam więc z chemikami, inżynierami, epidemiologami i architektami, by wymienić tylko kilku. To interdyscyplinarne podejście jest czymś niezwykłym.

Zapytano mnie kiedyś, co uważam za swój największy sukces lub osiągnięcie. Odpowiedziałam, że jest to pytanie filozoficzne, na które nie mam jeszcze odpowiedzi. Ale jeśli już, to ustanowienie równowagi między wszystkim, co robię i połączenie wszystkich elementów mojej pracy. Podczas gdy fizyka cząstek unoszących się w powietrzu jest moim szczególnym obszarem specjalizacji, moją mocną stroną jest wiedza o systemach atmosferycznych wewnątrz i na zewnątrz, a także jej zastosowanie – innymi słowy, szerszy obraz. Moim wyzwaniem zawsze było znalezienie czasu na wszystko, co muszę i chcę robić. Były rzeczy, które musiałam robić zawodowo (na przykład obowiązki uniwersyteckie przypisane mi jako nauczycielowi akademickiemu), ale było tak wiele zainteresowań badawczych i pomysłów, które chciałam realizować. Gdybym miała dwa razy więcej czasu niż teraz, z łatwością mógłbym go zapłacić. Mam jednak nadzieję, że przyczyniłam się do zmian w interdyscyplinarnej dziedzinie jakości powietrza i jego wpływu na zdrowie ludzi i środowisko, koncentrując się na cząstkach, zarówno antropogenicznych, jak i naturalnych, takich jak nanocząstki, UFP i cząstki, które emitujemy podczas oddychania. Ogólnie rzecz biorąc, mam nadzieję, że moja praca pomogła na nowo zdefiniować naukę o zanieczyszczeniu powietrza i zmieni sposób, w jaki społeczeństwo jest w stanie złagodzić jego ryzyko. W ten sposób zbudowałam pomost od nauki podstawowej do polityki i praktyki. Zmieniłam sposób, w jaki społeczeństwo jest chronione przed obecnymi i przyszłymi zagrożeniami, przyczyniając się do poprawy zdrowia i środowiska.

Podczas gdy ciekawość podsycała moje dziecięce zainteresowanie fizyką jądrową i rozwijała się przez całą moją karierę, obejmując naukę o atmosferze, budynkach i narażeniu ludzi, istota celu mojej pracy i użyteczność wiedzy, którą tworzę, aby bezpośrednio służyć ludziom, poza zaspokajaniem mojej ciekawości, jest tym, co motywuje mnie każdego dnia od najmłodszych lat.

Martin Luther King Jr. powiedział kiedyś: „Najbardziej uporczywe i naglące pytanie życia brzmi: Co robisz dla innych?” Moim marzeniem jest, aby moja praca była jednym z małych filarów w utrzymaniu tej planety jako nadającej się do zamieszkania, z czystą i niezanieczyszczoną atmosferą oraz naszymi pomieszczeniami wypełnionymi powietrzem wolnym od zanieczyszczeń, abyśmy mogli się rozwijać. Ostatecznie moim celem jest przybliżenie nas do bezpiecznego oddychania i sprawienie, aby zniknął problem antropogenicznego zanieczyszczenia powietrza.

Aby tak się stało, społeczeństwo musi wykorzystać naukę, którą tworzymy. Moim marzeniem jest, aby nauka była podstawą decyzji regulujących funkcjonowanie naszego społeczeństwa. Z bólem serca obserwuję, jak decyzje w sprawach kluczowych dla społeczeństwa są podejmowane z lekceważeniem nauki, często wbrew dowodom naukowym, narażając zdrowie i życie ludzi oraz niszcząc nasz dom – Ziemię.

Twierdzę, że nasza rola jako społeczności naukowej jest bardziej złożona niż na początku badań naukowych nad atmosferą. Powinniśmy nadal rozwijać wiedzę w obszarach, w których istnieją luki i w których zmieniający się świat lub dostępność nowych technologii stwarzają nowe możliwości zastosowania nauki o jakości powietrza atmosferycznego i jego wpływie. Powinniśmy jednak również zrozumieć, kiedy przeprowadzanie większej liczby eksperymentów lub modelowanie nie przyczynia się już do rozwoju nauki.

Co najważniejsze, powinniśmy stać na czele zmian: rozwijać naukę, mówić światu o jej znaczeniu i opracowywać sposoby jej wdrażania. Nasz cel, jakim jest wpływanie, by zarządzanie jakością powietrza opierało się na nauce, jest niezwykle trudny, wymagając równowagi między często niekompletnymi informacjami naukowymi, wymogami zdrowia publicznego i względami ekonomicznymi. Jednak nasz głos powinien kierować decyzjami podejmowanymi przez społeczeństwo.



Ryc. 17. Lidia Morawska (drugi rząd, ubrana na czerwono) z rodziną, góry Bunya, Queensland, Wielkanoc 2024 r.



Ryc. 18. Mąż Lidii, Luis Ferreira i ich pies Bella

Podziękowania

Moja podróż zawodowa nigdy nie była samotną przygodą. Od samego początku zdawałam sobie sprawę, że z moim wykształceniem w dziedzinie fizyki istnieje ograniczenie w eksploracji świata powietrza. Tak więc krąg moich kolegów i współpracowników stopniowo powiększał się o ekspertów z całego świata i z każdej istotnej dziedziny, aby holistycznie zrozumieć naukę o aerozolah. Dlatego, chociaż napisałam te refleksje jako moje doświadczenie, to nie jest to tylko moje doświadczenie, ale także nasze doświadczenie, nasza wspólna podróż. To nie „ja”, ale „my”.

W pełni zdaję sobie sprawę, że wszystko, co osiągnęłam, było możliwe dzięki szczeremu poparciu, które otrzymałam podczas mojej podróży zawodowej. Nie było jednego konkretnego mentora, który zainspirował kierunek mojej kariery, ale było wielu mentorów i wzorów do naśladowania, na wszystkich etapach mojego życia. Moi nauczyciele fizyki i matematyki w szkole średniej byli bardzo kompetentni i bardzo mnie wspierali, gdy tylko dostrzegli moje zainteresowanie i zapal w tych dziedzinach. Podobnie jak niektórzy z moich profesorów uniwersyteckich i przełożonych, a także wiele osób, które mam zaszczyt nazywać moimi kolegami. Zainspirowali mnie również ludzie, których nigdy nie spotkałam, ale o których osiągnięciach naukowych i życiowych dążeniach do ulepszania rzeczy czytałam. Jestem głęboko wdzięczna wszystkim, którzy zainspirowali mnie do rozpoczęcia i kontynuowania tej podróży. Dziękuję wszystkim moim współpracownikom z całego świata i ze wszystkich dyscyplin, a także moim studentom, którzy byli i są częścią tej niezwykłej podróży historii.

I wreszcie, jestem dozgonnie wdzięczna całej mojej rodzinie: czym byłoby życie bez was wszystkich?

Dziękuję następującym kolegom i koleżankom, którzy przeczytali i skomentowali wersję roboczą niniejszych refleksji:

Scott Bell, Gold Coast University Hospital, Queensland, Australia

Giorgio Buonanno, University of Casino and Southern Lazio, Casino, Italy

Marzenna Dudzińska, Lublin University of Technology, Lublin, Poland

Werner Hofmann, Retired Professor, University of Salzburg, Austria

Prashant Kumar, Global Centre for Clean Air Research (GCARE), University of Surrey, United Kingdom

Guy Marks, Burnet Institute, Melbourne, Australia

Heidi Salonen, Aalto University, Finland

Tunga Salthammer, Fraunhofer WKI, Germany

Lidia Morawska

The beginnings

I grew up in Przemyśl, a city in the south-eastern corner of Poland. A beautiful city with 1000 years of history, surrounded by hills and forests, and where “the sun shines in the morning on the River San” (“słońce wyżłaca poranek na Sanie”), according to a song that was popular when I was a teenager. The River San, which divides the city into two parts, has been central to the past and present of Przemyśl. This is where I completed my primary and secondary education.

What inspired me to follow a career in science? I always listened to and read with great interest stories related to science. I remember frequent little wonders: one day I was reading about how planetary systems work, the next day about the intricacies of the pollination process and the interactions between insects, plants, and the local environment, and yet another day about the beautiful world of mathematical puzzles.

I had very supportive parents, both with university degrees. My mum (Zofia Jaskuła) was a chemist and my dad (Henryk Jaskuła) was an engineer. So science was frequently a topic of conversation at home. My parents would help me to find scientific articles to read or activities related to science to attend. But that was not all – they also provided me with articles and activities about history, geography, and languages. From there arose my interest in physics, and most strongly, nuclear physics. Growing up in a supportive family where it was taken for granted that I could achieve anything I wanted was probably the most crucial factor in my development, and a lifelong gift.

I don’t remember why nuclear physics specifically inspired my imagination more than other areas; clearly, my desire to become a nuclear physicist was born too early to remember what triggered it. Maybe I was hoping it would give me a deep insight into how the world is built and how it works, while not fully understanding yet what nuclear physics was. But I was absolutely firm in my decision to become a nuclear physicist, and I’m proud to say that I achieved this goal.

So, when asked who I am, I say I’m a physicist with a degree in the nuclear physics of low energies from the Jagiellonian University, Kraków, Poland. From the same university I received my doctorate in 1982 for research on radon and its progeny. From 1982 to 1987, I was a research fellow at the Institute of Physics and Nuclear Techniques at the Academy of Mining and Metallurgy in Cracow, Poland.

However, those who now read my scientific papers on diverse topics related to the atmosphere, public health or regulations don’t necessarily recognise what

my background is. Therefore, a more extended explanation is that I am a physicist who studies indoor and outdoor air, the impacts of polluted air on human health, and environmentally sustainable ways to keep air clean and healthy. To achieve this, my research aims to understand the sources of air pollution and the physicochemical processes and transformations that occur in the air; the fate of pollutants; and their impacts on humans and the environment. This knowledge can then be applied to reduce pollution, exposures, and risks.

When we start our professional lives, we do not know where its path will take us. It's not like a hike to reach the top of a particular mountain: this is the goal, this is the path, at the top of the mountain we take a photo to mark our achievement and then return to the base. Instead, a professional career leads down a path of which we see perhaps only the first hill. Maybe we'll stay on this hill and not go any further. Or maybe, seeing what is beyond that hill, we'll continue to the next one, and the next, and maybe even to that distant mountain on the horizon that we didn't even know existed.

Life opens endless opportunities at every turn of our "climb". The more we look around, the more we realise how many opportunities there are. Which one should we choose, which one is more interesting, more significant, more worthy of pursuing? We don't know. But sometimes there is a feeling of a "green light" that beckons us to take that direction.

Close to fifty years have passed since I began the journey – my professional career – as a scientist. In this book I reflect on how scientific understanding of the fields I investigated have changed over that time, and whether that knowledge has helped us as a society to function wisely.



Fig. 1. Lidia Morawska (then Jaskuła) as a toddler with her parents Zofia and Henryk Jaskuła



Fig. 2. Lidia Morawska (then Jaskuła), a high school student (II Liceum Ogólnokształcące im. Kazimierza Morawskiego „Morawa”, Przemyśl), with parents Zofia and Henryk Jaskuła and sister Aleksandra Jaskuła



Fig. 3. Lidia visits her high school “Morawa” on May 29, 2019. From the centre right to left, sitting, Lidia (with flowers), Deputy Principal, Agata Trzpis, Jolanta Saj, Barbara Morycz and dr Małgorzata Wilgucka



Fig. 4. Lidia Morawska in Torres del Paine National Park, Chile, March 2005

Radon and its progeny

Then, in the nineties

The final year of my five-year undergraduate course leading to a Master of Science degree in nuclear physics was a research project, based on which I wrote a dissertation. At the time I was choosing my research topic, I had been exposed to all areas of radiation physics, including radioactivity of the natural environment. And it was this area that attracted my interest for that final year of research. Again, I don't remember why I was attracted to it. I can speculate that it was the complexity of the system, which was the environment, the natural production of radionuclides in geological formations, and all the processes and mechanisms affecting the fate of radionuclides in that system. In the years that followed, my research led me to investigations of radioactive isotopes of carbon and silicon with applications in hydrology and dating, which I conducted at the Jagiellonian University; investigations of radioactivity in the environment, in particular conducting alpha activity measurements of radioactive fallout during and after passage of the radioactive cloud induced by the Chernobyl nuclear accident (Dulinski et al., 1986) and study of isotope formation in geological formations with applications in radioactive waste disposal at the Institute of Physics and Nuclear Techniques, Academy of Mining and Metallurgy in Cracow (Florkowski et al., 1988); and research on lacustrine deposits from southern Egypt, supported by a fellowship from the International Atomic Energy Agency and conducted at McMaster University, Hamilton, Canada. The aim of this work was to determine the geochronology and hydrology of the region under investigation through a detailed theoretical and experimental study (Schwarcz and Morawska, 1993).

However, my greatest interest was in radon and its progeny in the air. This was the topic of my PhD at the Jagiellonian University, Cracow ("New method of measurement of radon emanation parameters") and later studies at the University of Toronto, Canada.

Radon (radon-222 – the isotope I studied), a radioactive noble gas, originates from the radioactive decay product of radium (radium-226), which is part of the natural uranium (uranium-238) decay series. Uranium, and hence radium, are present in varying degrees in rocks and soil. The half-life of radon-222 is 3.84 days, and it decays to a number of short-lived products, also radioactive, called radon progeny. These are polonium-218, lead-214, bismuth-214 and polonium-214.

Radon, being a gas, escapes from the ground into the air; it also escapes from building materials containing radium. Therefore, when breathing air, we inhale radon and its progeny. Radon is not deposited in the respiratory tract because it is a gas, and the length of time inhaled radon spends in our respiratory tract, which is seconds, is short compared to its half-life, so only a very small fraction of inhaled radon will decay there. But radon progeny are atoms of heavy metals and are particles that can be deposited in the respiratory tract. Because their half-lives are short, they are more likely to decay there, causing radiation damage to the lung tissue before being removed from the respiratory tract by the clearing mechanisms. So, really, it is not radon that is responsible for radiation damage, but its progeny. Radon damage can result in lung cancer, and the more radon progeny we inhale, the higher the risk. It has been well established for decades that:

The greatest fraction of the natural radiation exposure in humans results from inhalation of the short-lived decay products of radon (radon-222) and thoron (radon-220), which occur in the free atmosphere and in higher concentrations in the room air of buildings (Porstendörfer, 1994).

In fact, radon concentrations in buildings can be as high as in underground mines, according to the same review; this has serious consequences for public health. Thus, to lower the risk of inhaling radon progeny, we should control the radon concentration in the air, particularly indoor air (as we cannot control the outdoor radon concentration). The radon concentration in indoor air can be controlled by implementing building design measures that prevent radon penetration through the foundations (basement) into the building, choosing building materials that do not contain radium, sealing the surface of building materials to prevent radon emission (Morawska, 1983), and using effective ventilation systems that remove radon and its progeny from indoor air.

There is one other scientific aspect which is particularly interesting for physicists: the fate of radon progeny in the air. Being very small (atomic size) and being initially charged and having a high diffusion coefficient, these progeny can easily attach to particles in the air, particularly the smallest particles, such as those emitted from combustion processes. But they can also remain unattached, usually in clusters of atmospheric trace gases and molecules of water vapour in the air, typically not larger than 5 nm. Does it matter if they are attached or unattached? It does: smaller, unattached radon progeny can reach the deepest bronchial regions of the respiratory system and be deposited there, resulting in a higher radiation dose than deposition of larger attached progeny deposited in upper parts of

the respiratory tract. So the questions are: What fraction of the progeny is attached? What fraction is unattached? What parameters impact the attachment process? and How can we make calculations that consider all the mechanisms involved? These were unanswered scientific questions when I entered this field and addressing them was the focus of my PhD thesis and subsequent research.

One of the critical elements of these processes is airborne particle size distribution, and particularly that of the smallest particles, up to about 100 nm. During my PhD studies, I did not have access to instrumentation to measure particle size distribution – such instruments were very rare then. While I could and did measure the size distribution of radioactive particles using wire screen diffusion battery systems that I built, my quantitative understanding of the process was incomplete without knowing the airborne particle size distribution. This situation changed when I was appointed as a postdoctoral fellow in Toronto from 1988 to 1991. There, for the first time, I had access to an instrument called a differential mobility particle sizer (DMPS), and this opened a whole new perspective on the topic. I could “see” the particles to which the radon progeny attached, and I could quantify their entire size distribution from about 10 nm up to one micrometre – which is almost the entire submicrometre size range.

Even though the experiments I conducted in Toronto were only laboratory chamber experiments, not real-world measurements, I was still able to quantify the entire process of radon progeny attachment to particles in the air (Morawska and Phillips, 1992). I concluded that the science of the process was now understood, and I couldn’t see what else could be done beyond this to further expand scientific understanding.

But what about the significance of this knowledge for radiation exposure control in the real world? While I’m not sure I was thinking about this problem in these terms then, somehow I did not consider that investigation of the attachment processes of radon progeny should be routinely conducted in the real world, to properly account for the exposure to attached and unattached radon progeny, and in turn the radiation dose and risk of cancer everywhere and in every situation. I thought it was obvious that the prime issue was indoor radon, and that it was radon concentrations that should be controlled. In other words, rather than quantifying the risk through complex measurements of attached and unattached radon progeny fractions (or modelling, based on measurements of all the relevant parameters), preventing the risk by removing the source – radon – was the best way to go. And for this, as I understood it, technologies already existed, and even some regulations (even so I did not investigate them). So, the issue was resolved.

But was it resolved? I was still learning, and I didn't understand then how big the gaps were between the availability of knowledge and its implementation.

35 years later

While I moved on from radon research after concluding that the topic was scientifically resolved, I still loosely followed developments in that field and conducted some limited research on this topic in later years (Morawska and Jamriska, 1996, Morawska and Jamriska, 1997, Jayaratne et al., 2011).

Research into the distribution of radon progeny in the real world continues. Work similar to what we did 35 years ago is still conducted in some countries, albeit using better instrumentation and better models.

However, the issue of radiation exposure due to radon still exists and is far from being resolved. There are regulations, but are they obeyed? Recently published studies demonstrate that they are not obeyed: high radon concentrations are encountered in numerous schools (USEPA, 2024), homes and workplaces (HPSC, 2011, EU, 2014).

So now I am returning to the issue of radon and I'm currently working with colleagues on a review titled *Occupants' exposure to indoor radon in European educational environments*. The problem is not resolved, as I mistakenly thought 35 years ago; however, its resolution requires regulatory action, rather than more science. The science already existed decades ago!

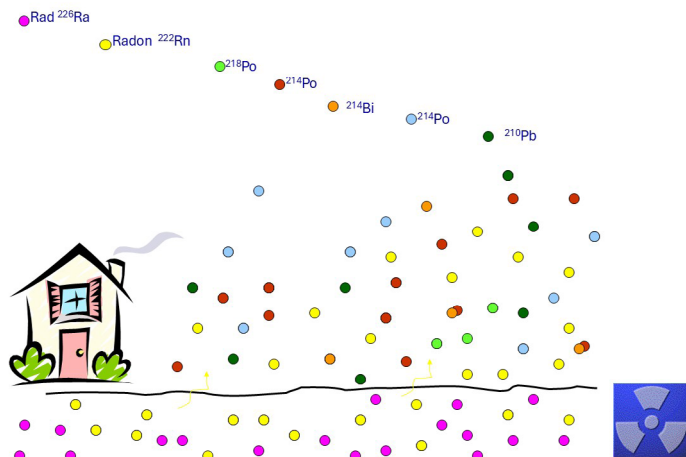


Fig. 5. Schematic diagram of radon-222 emanation from the ground and decays into a chain of short-lived, radioactive progenies

Ultrafine particles

A discovery in Toronto in 1990 and what followed

Towards the end of my postdoctoral years at the University of Toronto when I began to consider that the science of radon and radon progeny in the air was resolved, my mind was clearly open to identifying and addressing new scientific challenges. I don't think I consciously asked myself: "What next?"; but I was searching for ideas. As I once said in response to a question about my eureka moment: "My eureka moments were not finding solutions to problems but discovering scientific problems."

One of my most important eureka moments was there in Toronto, while I was still conducting experiments on the interaction between radon progeny and particles in an experimental chamber. On a summer day in 1990, on a whim, I took the probe of my DMPS out of the chamber and extended it through the laboratory window. To my surprise, I found that the concentrations of submicrometre particles on this busy street in downtown Toronto were extremely high: tens to hundreds of thousands of particles per cubic centimetre, comparable to those that I was creating in the experimental chamber. What were they? Where were they coming from? I searched the literature but couldn't find anything. Of course, I associated the particles with traffic emissions, which come from combustion. The source of the test particles for my chamber experiments of the interactions between particles and radon progeny was also combustion. I found similarities in the size spectra between the test particles and those from outside the window. At that time, there were only a handful of instruments of the type I was using, and they were usually used for laboratory studies, so no one seemed to investigate these small particles in ambient air. I then realised what an interesting scientific problem this presented and how this was a significant gap in knowledge – knowledge that was vitally important for our health and wellbeing. This became my new direction!

Soon after that discovery, in 1991, I was offered a position as a senior lecturer at the Queensland University of Technology (QUT) in Brisbane, Australia. Although the university expected me to take over the environmental radioactivity laboratory whose senior academic was retiring, my personal interest was already somewhere else. I was extremely grateful to my then Head of School who recognised my vision and allowed me to "spread my wings", rather than

constraining me to focus on the field of environmental radioactivity. I made the most of this opportunity and in the following few years I applied for and obtained external funds for instrumentation and for research into what are now called ultrafine particles (UFP, defined as particles < 100 nm), which were then in a broader way known as submicrometre particles. At the time, no research institutions in Australia were specialising in environmental aerosol science, so when our first scanning mobility particle sizer (SMPS) – a newer version of the DMPS that I used in Toronto – arrived at the laboratory, it was the first in the country.

Of course, it was not only instrumentation that was needed, but a research team. With the first students and research staff joining in 1993, we became the Environmental Aerosol Laboratory (EAL) at QUT. The EAL's focus was the science of airborne fine and ultrafine particles, but it was clear from the start that we could not restrict our interest to the science of this system, but also needed to consider its impact on public health – on the people who inhale the particles and other components and pollutants in the air – as well as the impact on the environment. With our realisation of the existence of these impacts came the responsibility for finding solutions to prevent or minimise them. Therefore, the EAL's aims were defined as follows:

Comprehensive characterisation of indoor and outdoor air; Integrated health and environmental risk assessments; and Strategies for controlling and managing air pollutants.

In 1995 we joined forces with the Queensland Department of Environment and the Air Monitoring and Research Station (AMRS), part of Queensland's air quality monitoring network was established within the EAL, and it is still in operation today, allowing us access to a broader spectrum of air quality data, beyond that of airborne particles.

Recognising the need to consider what else is in the air apart from particles, and to understand the entire system in which the particles exist, in 2002 the EAL was renamed as the International Laboratory for Air Quality and Health (ILAQH), QUT. While its aims did not change, its broad scope was described as follows:

The laboratory conducts fundamental and applied research in the complex, interdisciplinary field of air quality and its impact on human health, with a specific focus on atmospheric fine, ultrafine and nanoparticles.

In 2004, the ILAQH obtained designation as a World Health Organisation (WHO) Collaborating Centre on Air Quality and Health, and it has maintained this status to this day.

The early years of our investigations of UFP were an amazing scientific adventure. With the team growing and expanding in expertise (in physics, chemistry, microbiology, engineering) we were able to expand to cover any aspect of the particles we could imagine existed or we came across by accident. Within a few years the diverse range of our research studies encompassed the application of state-of-the-art instrumental techniques to UFP research; quantification of emission levels from various pollution sources, particularly combustion of fossil fuels and natural sources (e.g., bushfires); investigation of the physico-chemical processes of particle generation and transport in air; studies of marine aerosols and their characteristics; application of the knowledge of air filtration and ventilation systems; investigations into particle characteristics in health care settings, schools, offices and residences; determination of particle deposition characteristics in the human lung; linkage of particle sources and their contributions to environmental and health risks; development and refining of the risk assessment process; and characterisation of nanoparticles (the smallest fraction of UFP) from engineering processes – the list goes on. The outcomes of our research have been presented in hundreds of journal publications and are considered by others to be visionary and pioneering work in this emerging field of applied science. At the presentation of my 2017 David Sinclair Award from the American Association for Aerosol Research, I was honoured with the following description:

... considered as one of the top researchers in the field of aerosol science, covering a broad scientific spectrum including radon, traffic exhaust, indoor-related particle emissions, modelling and occupational exposure. For more than 30 years, she has worked in challenging and important areas of aerosol research, with her outstanding results of substantial value for other researchers.

To me, those years were a scientific feast where almost every measurement campaign revealed something new, and the subsequent data analysis revealed the mechanism of the processes involved, the magnitude of the effects, or the interactions between various aspects of the system encompassing the natural atmosphere and the anthropogenic world.

On numerous occasions these discoveries were completely accidental as they were not based on the exploration of any hypothesis, and they initially caused confusion. One key example was our discovery of particles generated by office printers. We were conducting a project in one of the Queensland Government office buildings adjacent to a major freeway in the Brisbane CBD. Our government colleagues wanted to know if the emissions from the freeway traffic had an impact on the UFP concentrations in the building, and if so, how could they be controlled. We had conducted similar measurements before, linking outdoor and indoor particle concentrations and tracing their respective sources, and I did not expect this particular work to reveal any new interesting phenomena. However, after the first few days of measurements it became clear that there was an emission source within the building that was sometimes elevating the particle concentrations well above the building background, and that it was not related to the outdoor concentrations. What was it? It was suspected that there was a combustion source somewhere within the building. So, every space in the building was thoroughly investigated to identify the source. Was someone cooking in one of the kitchens, or even worse, was someone secretly smoking? Neither of these was the source. The culprits were office printers, dozens of them present in the buildings and some of them emitting large amounts of particles (He et al., 2007).

What were these particles? We didn't know, although it was clear that they were very small, the smallest fraction of UFP. This opened a whole new area of investigation, where we tested scores of printers using the most advanced methods we had, including one developed by our team and initially used to study marine aerosols (a volatilisation and humidification tandem differential mobility particle sizer), to study the hygroscopicity and volatility of the printer-generated particles. These investigations ultimately revealed that these were secondary organic aerosols that were formed in the air from volatile organic compounds emitted during high temperature printing (He et al., 2010, Morawska et al., 2009b).

As fascinating as the science of this discovery was, even more interesting was the reaction of the public to it: after all, so many people had printers on their desks, in the office or at home. This became an enormous QUT media story; I gave dozens of interviews in the weeks following publication of our first paper on this topic. Importantly, the printing industry took notice of the discovery and the interest it generated. When we repeated our measurements of printer emissions ten years later, the levels were much lower than those reported in the 2007 study (Morawska et al., 2019).

Another memorable discovery was that of extremely high concentrations of particles in a school classroom on the outskirts of the Brisbane CBD. The topic of investigation was again the impact of vehicle emissions on indoor air, and particularly the potential increase in bus emissions on the classroom concentrations of UFP from a proposed busway nearby. Parents of the students attending the school demanded answers about this from the government. In my mind, this was another “routine” project. But on the first day of the measurements, we were surprised by extremely high indoor concentrations of particles, well above outdoor concentrations, which steadily increased soon after the beginning of school hours and eventually decreased towards the evening. As in the case of printer emissions, the entire building was searched for the source. We investigated the kitchen, and some gardening equipment and lawnmowers located near the classroom windows, but the high levels were not picked up by the SMPS in the outside monitoring area. The only thing we discovered was a teacher smoking afterhours when preparing experiments for the following day. However, this only appeared as a small bump in the declining concentration of particles at that time of day. The teacher was reprimanded, but this didn’t resolve our problem. The Queensland Department of Education was overseeing these investigations, so we had to report the discovery of the high particle concentrations to them. Department of Education officials asked me if the school should be closed because we couldn’t identify the source of the particles or their potential health impacts. I couldn’t recommend this, as I could not imagine that the particles would create a serious hazard but justifying this was not easy. Over the following days the same phenomenon recurred; however, particle concentrations were decreasing.

Sometime later I formed a hypothesis that these were secondary particles from volatile organic compounds emitted from products used during school art classes. We saw dozens of different paints and glues in the classrooms – were they the source? The Department agreed to conduct another round of measurements several months later. The investigation designed to test this hypothesis revealed that these products were indeed the source; however, the concentrations we encountered during the second round were lower than those of the first round. Retrospectively, we concluded that at the time of our initial measurements at the beginning of the school year, many large paintings were hung on the walls to dry, because the children had been asked to document what they did during the summer holidays. We must have seen these paintings, but who would have thought that they were the source of precursors for secondary particle formation (Morawska et al., 2009a)?

With time, there were fewer surprises: we could identify sources by looking at the size distribution spectra and the environment. Still, new scenarios arose. We did a lot of work in the developing countries of Africa, Asia and Oceania through my students and collaborators. One of my PhD students was investigating school children's exposure to UFP in Accra, Ghana, and was surprised to discover extremely high particle concentrations in bedrooms during the night, when all the daytime activities involving burning, such as cooking and waste burning, had ceased. The puzzle was solved when he realised that the source was the mosquito coils that were lit in the bedrooms each night (Nyarku et al., 2019).

These examples are good stories to tell. But many discoveries are even more interesting for their scientific complexity.

It is one thing to be able to develop a hypothesis of the processes and contributing sources based on the size distribution spectra, but it is another thing to gather enough information about particle characteristics to quantify the source contribution, to quantitatively describe the process, and to link the particle characteristics with their impacts.

Therefore, our focus gradually expanded. One example was the UPTECH project: "Ultrafine Particles from Traffic Emissions and Children's Health". Work on this major interdisciplinary study was conducted in 25 schools in the Brisbane metropolitan area. The internationally assessed design incorporated the first comprehensive quantification of spatial, temporal and personal exposure to UFP. Among the many findings from the study, the key conclusion was that UFPs do not affect respiratory health outcomes in children but do have systemic effects in the form of a positive association with a biomarker for systemic inflammation. We considered this to be consistent with the known propensity of UFPs to be deposited deep in the lungs and to penetrate into the circulatory system (Clifford et al., 2018).

Over the years we developed the science and provided answers to the questions I asked in Toronto. Our research has delivered novel tools for detecting and analysing ambient particulate matter, and new insights into the characteristics of human exposure to air pollution, including key emission sources, physico-chemical processes, interactions in both ambient air and indoor environments, and impacts on human health. Were those tools used and knowledge utilised?

Now, 35 years later

A key requirement for the use of scientific knowledge in real life is the existence of regulations based on this knowledge. Such regulations relate to air quality, emissions, product standards and building codes, among others. A prerequisite for setting standards, which is usually a lengthy process, is, that there is an established cause and effect in relation to the specific pollutants and an exposure–response relationship that can be quantified. Unfortunately, despite increased knowledge about the science of UFP, and acknowledgement of the impacts of these particles on health, there was still an insufficient quantitative basis to derive an exposure–response relationship for UFP. This was summarised in a paragraph that I wrote and was accepted for inclusion in the WHO Air Quality Guidelines of 2005:

While there is considerable toxicological evidence of potential detrimental effects of ultrafine particles on human health, the existing body of epidemiological evidence is insufficient to reach a conclusion on the exposure–response relationship to ultrafine particles. (WHO, 2006).

This was the only mention of UFPs in the document.

Years were passing and this situation was not changing, largely because of the significant complexity and cost of mobility particle size spectrometers (MPSS) – the instrumentation needed for measuring particle size distribution and concentration. During the decades since I used my first DMPS in Toronto, these instruments had become neither simpler nor cheaper. The expertise required for running the instruments for epidemiological studies (in sufficient locations in relation to human exposure and for a sufficient duration) has been beyond the capabilities of the teams involved in UFP research. It was clear that until UFP exposure–response relationships were established, there would be no health guidelines!

My colleagues and I knew so much about UFP that we became increasingly frustrated that this knowledge developed over decades was not being used for public health protection. This frustration reached a critical point during the AEROSOLS2018 conference in Cassino, Italy, in April 2018. In my lead plenary presentation at the conference, I challenged the participants by asking:

As an adviser to the minister of health/environment how would you answer the questions: “Do UFP cause health effects? How do we measure them? What are the concentration trends of them in your city (are they going up or down)? What is their source apportionment? What standard values would you recommend?”

Given that the answer to all these questions was “nothing” or “we don’t know”, I proposed that we, as scientists, must do something about this situation, and this is how a group was formed to find a solution. We called ourselves the “Thinking Outside the Box” group. There were 28 of us, experts in exposure (like me), epidemiology and toxicology, and over the months that followed we worked on a White Paper titled, “Ambient ultrafine particles: evidence for policy makers”. We met again later that year, in Munich, hosted by the German Research Center for Environmental Health, Helmholtz Zentrum München, in November 2018, to discuss the final shape of the document. The White Paper was announced in 2019 and made available by the European Federation of Clean Air and Environmental Protection Associations (EFCA) (Cassee et al., 2019).

The achievement of scientific consensus on this matter by our group was a turning point in the approach to public health risk caused by UFP: a bridge was built to translate science into public health applications. At that time, the WHO was working on a new version of air quality guidelines (I was a co-chair of that process), and the Guideline Development Group considered it important to include UFP in that document. However, since the exposure–response relationships were not available for UFP (the same situation as in 2005), it was not possible to consider numerical recommendations for UFP in the new AQG (WHO, 2021). However, our White Paper was included in the document as a “best practice” chapter, including a new, broader definition of UFP (quasi UFP, with particle number concentrations in a range down to at least 10 nm, with no restriction on the upper limit), “typical values” of the particles and their averaging times, and recommendations for further work on this topic. This means that environmental and public health authorities around the world now have the basis to consider national regulations to control this significant pollutant, improving health and saving lives.

Public health authorities took notice of this. In October 2024, the EU Parliament issued a directive on ambient air quality and cleaner air for Europe (EU Commission, 2024), in which it stated:

It is important that pollutants of emerging concern, such as ultrafine particles, black carbon and elemental carbon, as well as ammonia and the oxidative potential of particulate matter, be measured at monitoring supersites at both rural background locations and urban background locations in order to support scientific understanding of their effects on human health and the environment, as recommended by the WHO.

This work continues! One recommendation to progress efforts in relation to UFP included in the WHO 2021 AQG was:

Efforts should be stepped up to utilize the emerging science and technology to advance approaches to the assessment of exposure to UFP for application in epidemiological studies and management.

Inspired by the progress in instrumentation for UFP monitoring, during the 2023 European Aerosol Conference in Malaga, Spain, I proposed that large-scale UFP monitoring is now possible by using a simplified approach based on unipolar diffusion chargers. We assembled a group of over twenty colleagues from around the world who acquired the specific instrument out of their own resources. In 2024, we commenced a project planned to be finalised at the end of 2025, which aims to monitor UFP for a year in locations around the world using the Partector2-Pro to demonstrate its comparability with MPSS; quantify to what extent the size distribution accuracy requirements specified in CEN/TS 17434 can be fulfilled; and demonstrate its robustness in terms of long-term stability, operation and ease of operation (Morawska et al., 2024b). Successful completion of the study will be a step towards future prospective exposure–response studies, and will provide the basis for establishing UFP health-based guideline values. There is now a new target for this work. While to date the main focus has been on inhalation of UFP and their impact on respiratory health or penetration through the lungs to the blood and in turn causing systemic effects (Clifford et al., 2018), it is now acknowledged that an even more significant impact could be the direct penetration of UFP to the brain through the olfactory system. When we smell, some molecules of gaseous compounds that penetrate through this system are not much smaller than the lower size of the UFP size spectrum. The significance of this on our health cannot be overestimated!

However, beyond the expert community, there is widespread ignorance of the impact of airborne particles and air pollution on health. The presence of particles from many locally operated combustion or dust sources is accepted as perfectly normal: think of a smoky home barbeque, candles on your restaurant table, and leaf and dust blowers. We all need to cook, but emissions and exposure can be completely eliminated by switching to electric stoves and using range hoods. Think of the many instances when we generate pollution for pleasure – not only candles or incense sticks, but also fireworks (Salma et al., 2023). Think of combustion for cultural or religious purposes. We find these activities acceptable until it is impossible to see or breathe, or if someone has a respiratory condition. We have done enough investigations to know that we need to eliminate these pollution sources. But there is a large gap between scientific knowledge and public understanding of the associated risks and the application of this knowledge to protect health.

With all the progress we have made, has the last page of the textbook on UFP been written? I argue that we are not there yet. There is still much to do and understand before we can say that this field of science has been completely explored (if ever). For example, how can we better model new particle formation to predict local and global trends based on our understanding of their precursors and meteorology? What future trends in ambient UFP concentrations and characteristics will occur with the transition to clean energies, when direct emissions of particles from combustion processes disappear as well as emissions of gaseous precursors for subsequent new particle formation? Will there be a significant decrease in UFP concentrations, or a changing trend with a larger role played by secondary particles (particles formed in the air from gaseous precursors) at places and times when natural or anthropogenic emissions of such precursors are enhanced? What will be the global effect of climate-enhanced fires on UFP concentrations? The scale of such events is forecast to increase, as will the impact on air pollution in general, and specifically on combustion-generated UFP. There are still many questions to answer, and so the “textbook” on UFP will continue to be written.



Fig. 6. Lidia Morawska with Dr Congrong He in 2007, a discovery of ultrafine particles emitted by printers



Fig. 7. The "Thinking Outside the Box" team in November 2018, hosted by the Helmholtz Munich Institute



Fig. 8. International Laboratory for Air Quality and Health (ILAQH), Queensland University of Technology, group photo, June 2019. Lidia, founder and director, sitting in the second row

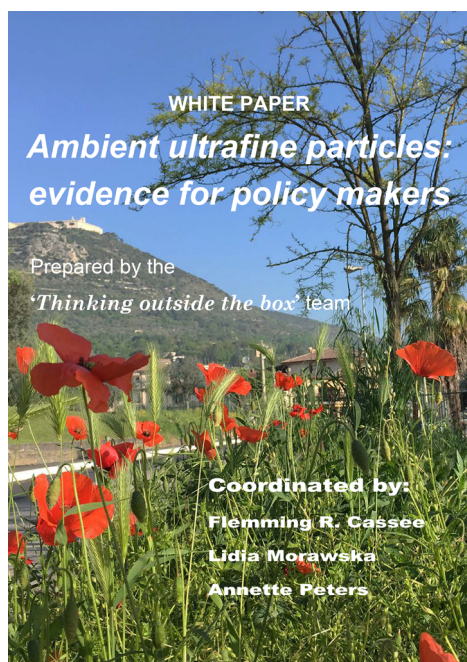


Fig. 9. Cover of White Paper: Ambient ultrafine particles: evidence for policy makers, prepared for the European Federation of Clean Air and Environmental Protection Associations (EFCA), published October 29, 2019

Airborne infection transmission

Questions during SARS-CoV-1

While the first eureka moment for me was in Toronto when I discovered the world of UFP in the air, the second was at my desk in Brisbane during the SARS-CoV-1 epidemic in 2003. As the epidemic grew, many questions were asked, including one mystery to resolve about an outbreak in Amoy Gardens, a residential complex of high-rise apartment buildings in Hong Kong. Over 300 people were infected from one infected person who spend only one night with his relative in one of the buildings. The case was so unusual that wild theories were developed about the mechanism of transmission. The WHO deployed a team of epidemiologists to help explain how this happened, but the team was unable to uncover the mechanism. The WHO then began to assemble a team of aerosol experts, and I was invited to participate. I felt both privileged by the invitation and horrified by the prospect of traveling to Hong Kong in the midst of a deadly epidemic, with so many unknowns about its transmission.

Alongside my personal feelings about the situation, I had no expertise in infectious particles generated from the human respiratory activities of breathing, speaking, coughing, and singing, as these activities were not under investigation by our team at that stage. We had investigated the deposition of UFP in the human respiratory tract (Morawska et al., 1999, Hofmann et al., 2001, Hofmann et al., 2009), but not the process of particle formation during respiratory activities and carrying pathogens. Sure, these are particles in the air, so their physics cannot be different to the physics of other similar size particles from other sources. They are bigger than UFP, the main focus of our investigations until then, because in addition to components such as water, salts and proteins which line the respiratory tract, they also contain pathogens. How are these particles generated? What are their characteristics, in particular their concentration and size distribution? In preparation for the mission in Hong Kong, I frantically searched the literature for answers, but to my great surprise I found only three papers published over the span of 60 years on any aspects related to the physics of respiratory particles. The first was Duguid (1945) who concluded that:

...the mechanisms of airborne infection are not yet fully understood, nor the extent known to which infection normally takes place by each of the different routes

Sixty years later, a similar conclusion about the field was expressed:

Still, the relative importance of possible transmission mechanisms for many common respiratory illnesses, as well as the period of infectivity, remains unresolved (Mendell et al., 2002).

This seemed extraordinary to me: not only was the science extremely interesting, but it was of critical importance to public health – why did we know so little about it?

The mission in Hong Kong did not take place, as by the time the team was ready for deployment, the outbreak was over and there was no more evidence on the ground to investigate it there. Later, retrospective modelling studies linked the outbreak to a very unusual situation: a faulty building downpipe system and so-called dry floor in one of the bathrooms, which allowed some of the toilet sewage to be sucked into the air of the bathroom, then expelled outside by a fan and dispersed around the building complex. The infection pattern aligned well with the direction of the dispersion of the contaminated plume and the wind direction caused by metrological conditions at that time. This finding could have closed my thinking about this topic, but the issue remained of our non-existent science of particle emissions from our respiratory activities: as long as we are alive, we emit particles when breathing speaking, singing, and coughing. Some of these particles contain bacteria and/or viruses which stay suspended in the air after emission and cause airborne transmission of respiratory infections. Uncovering the science of these processes became my second major goal. And again, as in the case of UFP, the eureka moment was the realisation of the problem – but there was no simple answer. Yet, based on what I had already learned, I knew that the science of particle emissions from respiratory activities was critical to the control of respiratory infection transmission (Morawska, 2006).

We applied for a grant from the Australian Research Council to investigate particles from human respiratory activities. Our team now included respiratory physicians and virologists. The first question for me was how to obtain maximum information about the particles from these investigations, considering all the challenges. The challenges included rapid changes in the particles

with evaporation of some of the water content as soon as they are emitted and, as expected, their size diversity, ranging from particles not much larger than the pathogens themselves to those measurable in millimetres and visible to the naked eye. How could we sample only these particles and not include a mix of other respiratory particles, how could we account for the changing nature of the particles, and what instruments should we use, given that no single instrument had a sufficiently wide range to encompass the entire particle size distribution range? I visited colleagues in Hong Kong and Singapore, who at the time had also started working on respiratory particles, to discuss the pros and cons of different approaches. (These researchers later became collaborators in our work.) Finally, I formulated an idea for an optimal system for our study. The system that we built consisted of a large Plexiglas transparent tunnel, into which a person's head could be inserted, and particles emitted by the person were sampled or collected by different instruments or methods downstream of the emissions, carried by a gentle flow of clean, filtered air. Of course, all parameters of this system were controlled so we could sample the particles of interest, and only them. Knowing the exact age of the particles allowed us to conduct the most comprehensive program of study ever undertaken on dilution-corrected particle size distributions produced during different respiratory activities.

This system allowed our expanded team to obtain the first detailed understanding of particles from human respiratory activities (Morawska et al., 2009c) and an insight into the dependence of particle characteristics on specific respiratory activities and thus on the origin of particles from different parts of the respiratory tract (Johnson and Morawska, 2009, Johnson et al., 2011). We then continued to investigate infectious particles containing *Pseudomonas* bacteria generated by people with cystic fibrosis (Knibbs et al., 2014, Johnson et al., 2016), the impacts of masks/respirators on particle emissions (Stockwell et al., 2018, Wood et al., 2018), the transmission of bacteria in caught aerosol (Stockwell et al., 2019), and more. Eventually we expanded our sampling system to add a device called a rotating drum, in which we could age particles exhaled into it by volunteers to investigate changes in their properties over time, or accumulate large concentrations of particles. While not all our initial questions were answered, within just over ten years of research, we had significantly advanced our knowledge of particles from human respiratory activities and thus their likely role as carriers of respiratory infections. This knowledge was subsequently supported by the findings of other researchers around the world who also developed an interest in this field (e.g., Asadi et al. 2019).

20 years later

When in early 2020 the first news about a new respiratory disease, SARS-CoV-2/COVID19 appeared, we were not asking the same questions as we had during the SARS-CoV-1 epidemic. We, the scientists, were equipped with an understanding of how respiratory particles containing the virus are generated, what their characteristics are, and what mechanism of infection transmission to expect. Therefore, I thought, our society was equipped with the necessary knowledge and would be prepared to use this knowledge to respond accordingly. But this was not the case.

I watched in disbelief as billboards appeared advising people to “wash hands to save lives”. I was looking at people in supermarkets wearing gloves but not masks. Seats were disinfected after meetings, but no ventilation was provided during these meetings. It was as though we went back in time, to the Middle Ages, when the governing theory of infection transmission was that based on miasma: the twenty-first century society reacted to the pandemic the same way as societies did hundreds of years ago.

To help change this, my colleague and I submitted a paper: *Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality* (Morawska and Cao, 2020). But dark clouds continued to gather and when the WHO tweeted that *The virus is not airborne, FALSE*, on 29 March 2020 (WHO, 2020b), I realised that something needed to be done and done urgently. In *Quo Vadis* (Morawska, 2020), I described how I came to this conclusion and what followed. In short, I assembled and led an interdisciplinary group of 36 experts (now called the Group of 36), which was then further supported by more experts (a total of 239), to convince public health authorities worldwide to recognise the significance of airborne transmission of SARS-CoV-2 virus-laden particles and the immense risk it posed to human health, and to provide guidance on the measures required to control it. Thanks to the work we have done together, and the scientific understanding we have built over many years, we were able to make the world recognise the importance of airborne transmission of respiratory infections. The next day after our paper, an *Open Letter* to national and international public health authorities, was published (Morawska and Milton, 2020), the WHO accepted that there is “evidence emerging of the airborne spread of the novel coronavirus”, and updated its brief for the *Transmission of SARS-CoV-2: implications for infection prevention precautions* (WHO, 2020a). This prompted national authorities of most countries to update their advice on airborne transmission (Allen, 2020, Lewis, 2020). This work is considered one of the most critical elements in the fight against the pandemic and

was of great global significance. I was named one of the TIME100 world's most influential people for 2021, standing out among peers for:

work in recognising the importance of aerosol transmission and marshalling the data that would convince the WHO and other authoritative bodies to do the same, which helped change practices everywhere from schools to workplaces, making these environments safer for more people around the world.

Later, in 2024, the WHO issued a “Global technical consultation report on proposed terminology for pathogens that transmit through the air”(WHO, 2024a).

Did we have to go through such an extreme process to force society to accept established science? In addressing this (Morawska et al., 2023), we concluded that:

It is a tragic situation for our society that scientific fact is not timely adopted in public health decision-making. We recognize that when setting policy, decision-makers must weigh numerous considerations: scientific, economic, social, ethical, and others. However, science must not be sidelined in the process, which unfortunately is the case in many other decisions critical to the wellbeing of our society. We believe that as a society, we can and should do much better and we recommend how to do it.

We trust that the knowledge that airborne transmission is the main mechanism of respiratory infection transmission is now fully accepted by public health practitioners and decision-makers even though this hasn't yet fully translated into appropriate control measures (more on this below). Does it, however, mean that the science of the generation of respiratory particles, and particularly infectious respiratory particles, and the fate of these particles in the air is settled to the point that no more studies need to be conducted? The answer is no, and the following aspects of scientific understanding need further expansion.

It has been established that the quantity and size distribution of particles generated in the respiratory tract result from two mechanisms: turbulent aerosolisation, and the breakage or bursting of a fluid film, filament or bubble. However, neither the relevant rheological properties nor the quantity and size distribution of generated particles can yet be measured directly in

the respiratory tract of living humans. Although we cannot measure these processes directly, we can model and simulate them, which is the basis of our knowledge. As we stated in (Morawska et al., 2022):

Although the theoretical understanding of the physics involved in particle generation continues to improve, including through numerical modelling, advances in nanotechnology may provide a pathway to conduct such measurements in the form of nanobots capable of collecting and reporting relevant information from inside the respiratory tract.

Better understanding is needed of the dynamics of the initial moments of the respiratory plume, based on experimental studies with a focus on multi-phase jet dynamics and the impact of indoor air characteristics on the stability of pathogens. These dynamics, in particular in the first seconds and minutes after emission of the respiratory plume, like a “big bang”, are important in the airborne transmission of respiratory pathogens, because they affect the stability of pathogens, particularly viruses. For example, recent studies demonstrate that the acidity of the air affected in particular by CO₂ concentration is a factor in enhancing viral stability, and hence infection risk (Haddrell et al., 2024).

Finally, it is not yet scientifically possible to identify pathogens in indoor air in real time to warn of hazards and enable quantitative risk assessment and implementation of system controls. Numerous groups around the world are working intensely to invent a method to enable this (including our team at THRIVE), but will we ever achieve this goal? Time will tell!

None of the above, however, undermines our solid knowledge of the principles of airborne infection transmission or challenges the established control methods.

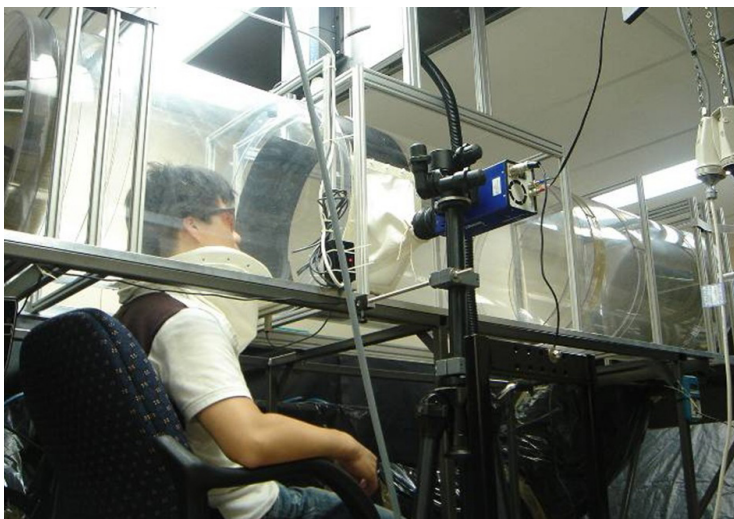


Fig. 10. Experimental flow tunnel for investigations under control conditions particles emitted from human respiratory activities, designed in 2005



Fig. 11. Lidia Morawska in 2023 with the background of the tunnel; the photo taken by the L'Oreal Award team: Lidia received L'Oreal-UNESCO For Women in Science International Award in 2023

Air pollution: exposure, risk and health impacts

From my early years of working on radon, the impact on health was the ultimate reason for this research. Therefore, the ability to assess and quantify the health impacts was critical. My background in physics has served to provide a scientific basis for health risk and impact assessments, and I have contributed to this knowledge through my career while working with colleagues with expertise in epidemiology, toxicology and burden of disease assessment. In this field I do not contrast “then” versus “now”, but rather see steady progress and enhancement of our understanding of the risks and impacts over past decades.

There are several steps in the process from the presence of a pollutant in the air to the point at which a person or community is impacted by it.

Exposure assessment is quantification of the concentration of the pollutant in question and its variation over time during inhalation in a particular environment (considered a microenvironment), and in all microenvironments over a period and/or during a lifetime. This requires measurement of the pollutants as well as modelling: it is not possible to measure the concentration of pollutants in every place where people are, all the time. Therefore, different types of models are used. Exposure assessment has been an intrinsic part of our work over the years, including exposure studies in proximity to roads (Jamriska et al., 1999) and in commuting (Knibbs and Morawska, 2012, Knibbs et al., 2011a); in children in Italy (Buonanno et al., 2012), Bhutan (Wangchuk et al., 2015) and in schools in general (Mejia et al., 2011); in relation to emissions from laser printers (McGarry et al., 2011), welding (Buonanno et al., 2011) and vacuum cleaner operation (Knibbs et al., 2012a), with the aim of linking personal exposure and risk (Buonanno et al., 2014) and investigating the main routes of exposure (Morawska et al., 2017), and again, this list goes on.

Inhalation and deposition in the lung (if the pollutant in question is a particle) is a consequence of exposure. Inhalation of radon progeny and their deposition in the respiratory tract (as described above) creates radiation risk. Likewise, deposition of UFP in the respiratory tract creates a risk, which is either a direct impact on the respiratory tract or penetration of the particles through the epithelium to the blood system, causing a systemic risk. Particle deposition is a complex physical process, and the fundamental challenge in quantification is that we cannot easily detect – or “see” – experimentally where

the particles are deposited. We have conducted particle deposition studies since our early days working on UFP (Morawska et al., 1999). We have been refining the study design so we can conduct larger scale deposition studies, including more volunteers, particularly children, in both real environments and laboratory settings (Guo et al., 2020a, Guo et al., 2020b). Ultimately, to determine where in the respiratory tract the particles are deposited (rather than just comparing what was inhaled with what was exhaled to measure total deposition), we have combined our experimental results with modeling (Hofmann et al., 1999, Hofmann et al., 2001). Quantification of particles deposited in the respiratory tract over time as a result of exposure allows the dose received by the person/population to be quantified, and the effects on health can thus be determined.

The exposure–response relationship is the domain of epidemiological studies, where the direct impact of the exposure (response) on specific health aspects of smaller or larger groups of people exposed is calculated, rather than the dose to individuals. Epidemiological studies we led or contributed to showed, for example, as discussed above, the systemic effects of inhalation of UFP (Clifford et al., 2018), and the impact of ventilation on reduction of SARS-CoV-2 infections at schools (Buonanno et al., 2022).

Burden of disease (BOD) studies take information from epidemiological studies (and other types of studies and data) to quantify the health burden and sometimes also the economic burden of large population groups or the entire world (global burden of disease [GBD]). Such aspects are conducted with the input of many experts, and since 2012 I have contributed to 60 BOD or GBD studies. Interestingly, one of the first studies I participated in (Lim et al., 2012) ranked particulate matter ($PM_{2.5}$) as the number nine risk to which people around the globe are exposed, but later studies ranked it much higher, as number six (GBD, 2019). This work continues, and one specific area of BOD assessment is in relation to indoor air pollution. An extensive study conducted in China (Liu et al., 2023) assessed the BOD of residential indoor air pollution, showing that among all the pollutants, the impact of $PM_{2.5}$ is the highest and that the economic burden to the country is 3.48% of Chinese gross domestic product. My further analysis of this work concluded that:

Interestingly, while the ranking of pollutants varies between provinces and between China, the US and European countries, the main pollutant, $PM_{2.5}$, is the same for all the countries, and its impact in terms of BOD exceeds by far the impacts of all other pollutants. Overall, this

demonstrated that there are major factors that are generalisable across countries, regardless of the level of development (Morawska, 2024).

Our current work aims to extend the assessment of BOD and economic burden to public spaces, in particular schools.

One type of assessment that has elements not discussed above but has been a topic of our studies for the past 15 years, is risk assessment of infections using existing risk assessment models and/or making contributions to new risk assessment models. From our early studies investigating the risk of infection during car commutes (with influenza, Knibbs et al., 2012b), and in a health care setting with a large teaching hospital (influenza, tuberculosis, and rhinovirus infection, Knibbs et al., 2011b), we expanded these assessments and combined them with real world data for SARS-CoV-2 infection risk in a restaurant in Guangzhou (China) and at a choir rehearsal in Mount Vernon (USA) (Buonanno et al., 2020), at close proximity (Mikszewski et al., 2022, Cortellessa et al., 2021), in schools (Buonanno et al., 2022, Arpino et al., 2022, Stabile et al., 2021, Buonanno et al., 2020, Cortellessa et al., 2021). Models used for this combine information on exhalation of a pathogen, indoor space characteristics (volume and ventilation rate), indoor particle dynamics, exposure time and inhalation rate to calculate a probabilistic risk of infection. This means that our knowledge of all these aspects, as explained above, is an important basis for infection risk assessment. In addition to our research on this topic, we have also built our own risk assessment tool, the Airborne Infection Risk Calculator (AIRC, 2021), and I co-chaired the development of and contributed to a WHO model Airborne Risk Indoor Assessment (ARIA) – Technical Working Group (WHO, 2024b).

With the progress we have made, is the knowledge on exposure, risk and health impacts complete? We know enough to act on many fronts to control emissions and exposure to eliminate or lower the risk of health impacts. However, air pollution and its impacts are extremely complex, and we are far from having quantified all the risks and their costs – this information is needed for decision-makers in the risk regulatory process. We are even further away from having controlled all the risks. My involvement with the WHO for almost three decades began with my participation in the development of the WHO Guidelines for Dust Prevention in Workplaces (WHO, 1996). It was then that I learned that “A hazard not recognised can never be controlled”. Since then, the work I conduct with my colleagues contributes not only to hazard

identification and risk quantification, but also to the identification of solutions to prevent or minimise risks due to airborne pollution.



Fig. 12. Lidia Morawska with Dr Hisashi Ogawa (WHO), Prof. Ross Young (Director, Institute of Health Biomedical Innovation, QUT), Prof. Andrew Wilson (QUT Faculty of Health) during the WHO visit at QUT on August 8, 2011

Indoor air

I left indoor air as the last section because it in a way encompasses most areas I have worked on. Indoor air is among the most critical frontiers in which science is ignored, even though this is where our exposure to air pollution is typically the most significant – we inhale indoor air on average over 90% of our time.

Since the very beginning, while not always fully articulated, indoor air and its quality has always been in the picture, starting from my studies of radon. Exposure to radon and its progeny is generally a concern indoors, not outdoors. Therefore, it was no accident that indoor air conferences attracted my attention when I shifted from radon and environmental radioactivity to UFP and air pollution in general. The last radon conference I attended was the First International Workshop on Indoor Radon Remedial Action, held in Rimini, Italy, in June 1993, back-to-back with my first indoor air conference, the Sixth International Conference on Indoor Air Quality and Climate, held in Helsinki, Finland, in July 1993. Intense discussions and interactions during these two events and insights from colleagues led to a decision to bring together experts from around the world to discuss an integrated approach to indoor air.

Integrated approach, 1994

An international workshop (Indoor Air – An Integrated Approach) was organised in a tight timeframe of just over a year, and held at the Gold Coast, Australia, in November 1994. Its general aim was:

to develop an understanding of the interactions in the multicomponent air systems, to develop an approach for integrated risk assessment and risk management and to define areas for future research that will lead to overall improvement in indoor air quality.

One could say that this was just another conference, but for those participating, including me, it opened a hidden door to the complexity of the indoor environment. We thought at the time that this door would stay open from then on, but now, from the perspective of the three decades that have passed since then, it is clear that the door didn't stay wide open. According to my notes summarised in the preface to the proceedings from the event, it appeared that it was

the first time that experts representing different interests and positions of public responsibility met together without being divided into narrow, discipline-oriented groups to discuss issues relating to indoor areas. This novel experience highlighted how difficult it often was to establish communications between different expert groups, not to mention understanding the different approaches to indoor air represented by each group. Do we, scientists who work on different and diverse aspects of indoor air, now speak “the same language”? Time and again we realise this is not the case, as the WHO *Global technical consultation report on proposed terminology for pathogens that transmit through the air* (WHO, 2024a) demonstrated three decades after the workshop:

Terminology used to describe the transmission of pathogens through the air varies across scientific disciplines, organizations and the general public.

The consequence is that this lack of a common language may have contributed to misleading information and confusion about how pathogens are transmitted in human populations, resulting in misguided control of the risk of infection transmission. Clearly, unless we “speak the same language”, it will be difficult to achieve overall improvement in indoor air quality.

Another important realisation was the differing approaches to indoor air between practitioners involved in building design and operation and scientists studying pollutant behaviour and interactions within the indoor environment. Practitioners noted that their actions always followed an integrated approach with a complete picture in view, based on current knowledge and an understanding of all aspects relating to material selection, building design and management, and mitigation practices. In contrast, scientists stated that despite advances in many areas, there was no basic scientific knowledge available to explain or quantify interactions between pollutants in the air. For example, although the interaction mechanism between radon progeny and aerosols was well understood and quantification of exposure levels due to such interactive mixtures was possible, quantification of bio-pollutant interactions with the indoor environment was not yet achievable.

A consensus was established during the meeting that comprehensive solutions can only be established through integrated approaches at all levels of research, investigation and practice.

If an interdisciplinary meeting with the same objectives were held now, thirty years later, it would be destined to reach similar conclusions on the state of the art in indoor air quality science and practice. Has the clock stopped?

30 years later

Over the years, the study of indoor air has always encompassed a broad range of topics, many of them already mentioned above. One important research area is bioaerosols in the indoor environment, including fungi (Salonen et al., 2015, Hargreaves et al., 2003) and endotoxins (Kumar et al., 2016a, Salonen et al., 2013). The study of fungi has been growing in importance as the climate changes and dampness in buildings has become more prevalent, particularly with the increasing frequency and the magnitude of floods (He et al., 2014). As concluded by a WHO team in which I participated (WHO, 2009), this topic requires a targeted focus. Another research area, which stems from initial broader research not specifically focused on the indoor environment, is the application of low-cost sensors for monitoring air pollutants (Morawska et al., 2018, Kumar et al., 2016b, Kumar et al., 2016a, Kumar et al., 2015). It was exciting to explore these new technologies, building our own low-cost monitor, known as KOALA, and installing its networks in numerous locations around Australia (Brisbane, Sydney, Melbourne, Adelaide, Blue Mountains, Gold Coast, Perth, Longreach and Mackay) and in Asia and Oceania (China, Fiji, New Zealand, Solomon Islands, Sri Lanka, Vietnam). Our research with this new technology provided data on air pollution in locations where there was no regulatory monitoring. This knowledge emerged as critically important in its application to our proposed future regulatory monitoring of indoor air quality, as discussed below.

With our growing knowledge of the many aspects of indoor air and the indoor environment came the slow realisation that while it was of scientific interest, little was done to actually ensure good indoor air quality (IAQ) in buildings. Unlike the situation for outdoor air, there were no regulations to safeguard IAQ. This is how I summarised the situation at the Healthy Buildings 2000 Conference held in Helsinki, Finland (Morawska, 2000):

The following factors contribute to the complexity and the difficulties in providing solutions to IA problems as well as limiting progress in IAQ in the Australian environment: (1) There is no single national government authority with responsibility for air quality; environmental legislation

as well as health legislation are at the discretion of individual States, not the Commonwealth; (2) In individual States there are no bodies directly responsible for IAQ; responsibilities are spread between different organisations; (3) There are no performance standards for indoor environment only design and operation standards; (4) Occupational and residential environments are treated differently; (5) There is a lack of funding for IAE evaluations; and (6) Information on assessment of indoor environments is often available only to building owners (and their consultants) and treated as confidential.

Not looking at the date of the publication, one could conclude that it is a summary of the current status quo: nothing has changed.

Despite our work and increasing knowledge, there has been little interest in IAQ and little progress in the application of this knowledge to safeguard indoor air quality. After SARS-CoV-1, there seemed to be a little window of opportunity. A few years after the epidemic, our research had equipped us with knowledge about infectious particles from respiratory activities and a vision as to how to apply this knowledge to controlling infection in buildings through the control of building systems (ventilation, filtration, air flow). However, it became clear that it was a waste of time even applying for grants: this science was not considered important enough or interesting enough to give us a chance of success. The scale of misconceptions was far-reaching, and opinions like this one expressed by a reviewer of one of our ARC grant applications in 2014 that “airborne infection transmission is not possible” were common. These were dark years for IAQ!

The COVID-19 pandemic changed this. Every pandemic in history has profoundly changed how society operates. Among other impacts, this pandemic helped to focus attention on the importance of IAQ, firstly through the acceptance of airborne infection transmission (described above) and then more broadly through the study of other pollutants and risks. At the beginning of the pandemic we were saying “The world should face the reality of airborne transmission of SARS-CoV-2” (Morawska and Cao, 2020, Morawska et al., 2020, Morawska and Milton, 2020). We later expanded our aims to call for “a paradigm shift to combat indoor respiratory infection”, highlighting the need to improve building ventilation systems (Morawska et al., 2021). We ultimately developed a blueprint for mandating IAQ in public buildings (Morawska et al., 2024a). The blueprint is a scientific consensus of over forty experts from all disciplines who contribute to the science and practice of indoor air quality. It provides a pragmatic yet scientifically supported basis to monitor indoor air quality in every public space and

every room, similar to the current mandate in most countries for smoke alarms, which are nowadays installed in every room. It also calls for the development of indoor air quality legislation on a par with the legislation that has existed for decades for outdoor air. Monitoring of air pollution indoors for regulatory purposes will be different from outdoor air monitoring. First, we cannot use bulky and expensive regulatory monitors in every indoor space; therefore, the application of low-cost sensors for $PM_{2.5}$ and CO is essential: our knowledge of these technologies is a critical benefit. Second, monitoring must include parameters or their proxies that provide information on factors that are critical to indoor rather than outdoor environments, such as the quality of ventilation and infection risk. Our understanding of infection risk assessment was the basis for these recommendations. Some of these concepts were further explored in the context of lessons learnt from the pandemic in relation to ventilation (Morawska et al., 2024c). Our work continues; we have provided a “how to do it” framework for the application of $PM_{2.5}$ low-cost sensors for indoor air quality compliance monitoring (Morawska et al., 2025).

Will the world use this knowledge? While there is evidence that governments around the world are discussing this issue, will it translate into regulations and permanent change? Much work is still to be done, but I am optimistic that our united scientific voice and patient and persistent efforts to influence decision-makers, together with our willingness to work with them to ensure clean indoor air for all, will bear fruit in the not-too-distant future!

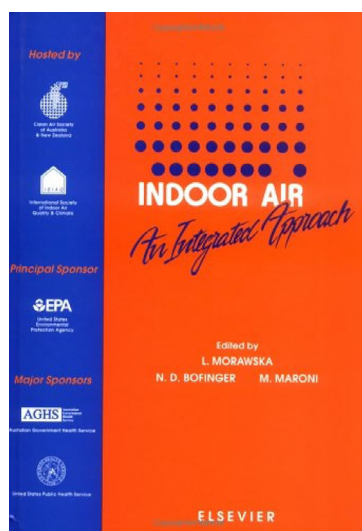


Fig. 13. Front cover of the *Indoor Air: An Integrated Approach* book of proceedings from the International Workshop on Indoor Air 1994 held on the Gold Coast, Queensland, Australia



Fig. 14. Knowing Our Ambient Local Air-quality (KOALA), low-cost sensor developed by the International Laboratory for Air Quality and Health (ILAQH), Queensland University of Technology in 2018



Fig. 15. Meeting with the Prime Minister of Australia, The Honourable Anthony Albanese MP on August 19, 2024 to discuss A Clean Indoor Air for Australians National Strategy; from left to right, Dr Bronwyn King (Burnet Institute), Anna-Maria Arabia (Chief Executive of The Australian Academy of Sciences), The Honourable Anthony Albanese MP (Prime Minister of Australia), Professor Lidia Morawska (Queensland University of Technology), Professor Brendan Crabb (Brunet Institute)

The journey continues

Nothing is more fundamental than the air we breathe. Deprived of it, we would die in minutes. I have dedicated my life to the study of air and the impact of its quality on human health and the environment. The complexity and cross-disciplinary nature of this field of science never ceases to fascinate me and inspire me to explore further. “Specialisation” may involve selecting a narrow area of focus. But in the case of the science of the air it is necessary to understand and explore the entire system including the air (indoor and outdoor), buildings and ourselves (how we affect the system and are affected by it). To understand the processes in the air and their impacts, not only is physics necessary, but also contributions from many other disciplines. So, I have been working with chemists, engineers, epidemiologists and architects, to name a few. This big picture interdisciplinary approach is unique.

I was asked once what I consider to be my greatest success or achievement. My response was that this is a philosophical question to which I do not have an answer yet. But if anything, it would be establishing a balance between everything I do and a connection between all the elements of my work. While the physics of airborne particles is my specific area of expertise, my strength is in the science of, and its application to, indoor and outdoor atmospheric systems – the big picture in other words. My challenge has always been finding time for everything I have to do and want to do. There were things I had to do professionally (for example, university duties assigned to me as an academic), but there were so many research interests and ideas I wanted to pursue. If I had twice the amount of time I have, I would easily be able to fill it. But I hope I have driven change in the interdisciplinary field of air quality and its impact on human health and the environment, focusing on particles, both anthropogenic and natural, such as nanoparticles, UFP, and particles we emit when we breathe. Overall, I hope my work has helped redefine the science of air pollution and will transform the way society is able to mitigate its risks. In doing this, I have built a bridge from hard science to real-world policy and practice. I have transformed how society is armed against present and future risks, contributing to improved health and environment.

While curiosity fuelled my childhood interest in nuclear physics, and expanded throughout my career to encompass atmospheric, building, and human exposure science, the need for a purpose of my work, and the usefulness of the knowledge I generate to directly serve people, beyond satisfying curiosity, is what has motivated me every day since I was very young.

Martin Luther King Jr. once said: “Life’s most persistent and urgent question is: What are you doing for others?”. My dream is for my work to be one small pillar in keeping this planet habitable, with a clean and unpolluted atmosphere, and to fill our indoor spaces with pollution-free air to help us thrive. Ultimately, my aim is to bring us closer to breathing safely and to make the field of anthropogenic air pollution obsolete. For this to happen society must use the science that we create. My dream is that science is the basis for decisions that govern the functioning of our society. It is heartbreaking to see how decisions on critical matters for society are made with a disregard of science, often against scientific evidence, putting people’s health and lives at risk and damaging our home – the Earth.

I argue that our role as a scientific community is more complex than it was at the onset of atmospheric science studies. We should continue to advance knowledge in areas where there are gaps and where the changing world or availability of new technologies create new opportunities for the application of the science of atmospheric air quality and its impacts. But we should also understand when conducting more experiments or modelling is no longer advancing science.

Most importantly, we should be at the forefront of change: generating new science, telling the world about its importance, and developing ways to implement it. Our goal to influence the implementation of science-based air-quality management is extremely challenging, requiring a balance between often incomplete scientific inputs, public health requirements and economic considerations. However, our voice should be guiding decisions society takes.



Fig. 16. Lidia Morawska with the Prince of Monaco, Prince Albert II at the ceremony when receiving The Prince Albert II of Monaco Foundation Planetary Health Award in 2024



Fig. 17. Lidia Morawska (second row, in red) with family, Bunya Mountains, Queensland, Easter 2024



Fig. 18. Lidia's husband, Luis Fereira and their dog Bella

Acknowledgement

My professional journey has never been a solo adventure. Since its very beginnings I realised that with my background in physics, there was a limit to my exploration of the world of the air. So, the circle of my colleagues and collaborators gradually grew to include experts from around the world and from every relevant area to holistically understand aerosol science. Therefore, while I wrote these reflections as my experience, it is not only my experience, but also our experience, our joint journey. It is not “me”, but “we”.

I fully recognise that everything I accomplished was possible because of the generous support I received during my professional journey. There was no one specific mentor who inspired the direction of my career, but there were many mentors and role models, at all stages of my life. My high school physics and math teachers were so knowledgeable and very supportive once they recognised my interest and drive in these areas. And so were some of my university professors and supervisors, and the many people who I have the privilege to call my colleagues. But I have also been inspired by people I’ve never met, but about whose scientific achievements and lifelong quests to make things better I have read.

I am deeply grateful to everyone who inspired me to start and continue this journey. I thank each and every one of my colleagues from all over the world and from all disciplines, and my students who have all been part of this incredible story.

And last but not least, I am eternally grateful to my entire family: what would life be without all of you?

Thank you to the following colleagues who read and provided comments on the draft of these reflections:

Scott Bell, Gold Coast University Hospital, Queensland, Australia

Giorgio Buonanno, University of Casino and Southern Lazio, Casino, Italy

Marzenna Dudzińska, Lublin University of Technology, Lublin, Poland

Werner Hofmann, Retired Professor, University of Salzburg, Austria

Prashant Kumar, Global Centre for Clean Air Research (GCARE), University of Surrey, United Kingdom

Guy Marks, Burnet Institute, Melbourne, Australia

Heidi Salonen, Aalto University, Finland

Tunga Salthammer, Fraunhofer WKI, Germany

Lidia Morawska

Literatura/References

- AIRC 2021. Airborne Infection Risk Calculator. <https://research.qut.edu.au/ilaqh/wp-content/uploads/sites/174/2021/04/AIRC-Tool-v3.0-Beta.xlsx>.
- ALLEN, J. G. 2020. Need some good news about covid-19? Here are six reasons for optimism. *The Washington Post*. https://www.washingtonpost.com/opinions/2020/07/14/need-some-good-news-about-covid-19-here-are-six-reasons-optimism/?utm_campaign=wp_the_optimist&utm_medium=email&utm_source=newsletter&wpisrc=nl_optimist.
- ARPINO, F., GROSSI, G., CORTELLESA, G., MIKSZEWSKI, A., MORAWSKA, L., BUONANNO, G. & STABILE, L. 2022. Risk of SARS-CoV-2 in a car cabin assessed through 3D CFD simulations. *Indoor Air*, 32, e13012.
- ASADI, S., WEXLER, A. S., CAPP, C. D., BARREDA, S., BOUVIER, N. M. & RISTENPART, W. D. 2019. Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness. *Scientific Reports*, 9, 2348.
- BUONANNO, G., MARINI, S., MORAWSKA, L. & FUOCO, F. C. 2012. Individual dose and exposure of Italian children to ultrafine particles. *Science of the Total Environment*, 438, 271–7.
- BUONANNO, G., MORAWSKA, L. & STABILE, L. 2011. Exposure to welding particles in automotive plants. *Journal of Aerosol Science*, 42, 295–304.
- BUONANNO, G., MORAWSKA, L. & STABILE, L. 2020. Quantitative assessment of the risk of airborne transmission of SARS-CoV-2 infection: prospective and retrospective applications. *Environment International*, 145, 106–112.
- BUONANNO, G., RICOLFI, L., MORAWSKA, L. & STABILE, L. 2022. Increasing ventilation reduces SARS-CoV-2 airborne transmission in schools: a retrospective cohort study in Italy's Marche region. *Frontiers in Public Health*, 10, 1087087.
- BUONANNO, G., STABILE, L. & MORAWSKA, L. 2014. Personal exposure to ultrafine particles: the influence of time-activity patterns. *Science of the Total Environment*, 468, 903–907.
- CASSEE, F., MORAWSKA, L., PETERS, A., WIERZBICKA, A., BUONANNO, G., CYRYS, J., SCHNELLEKREIS, J., KOWALSKI, M., RIEDIKER, M. & BIRMILI, W. 2019. White Paper: Ambient ultrafine particles: evidence for policy makers. *European Federation of Clean Air and Environmental Protection Associations (EFCA)*. [https://efca.net/files/WHITE%20PAPER-UFP%20evidence%20for%20policy%20makers%20\(25%20OCT\).pdf](https://efca.net/files/WHITE%20PAPER-UFP%20evidence%20for%20policy%20makers%20(25%20OCT).pdf).
- CLIFFORD, S., MAZAHARI, M., SALIMI, F., EZZ, W. N., YEGANEH, B., LOW-CHOY, S., WALKER, K., Mengersen, K., MARKS, G. B. & MORAWSKA, L. 2018. Effects of exposure to ambient ultrafine particles on respiratory health and systemic inflammation in children. *Environment International*, 114, 167–180.
- CORTELLESA, G., STABILE, L., ARPINO, F., FALEIROS, D. E., BOS, W. V. D., MORAWSKA, L. & BUONANNO, G. 2021. Close proximity risk assessment for SARS-CoV-2 infection. *Science of the Total Environment*, 794, 148–749.
- DUGUID, J. 1945. The numbers and the sites of origin of the droplets expelled during expiratory activities. *Edinburgh Medical Journal*, 52, 385.

- DULINSKI, M., FLORKOWSKI, T., GRABCZAK, J., JANCZYSZYN, J., KALITA, S., KUC, T., MORAWSKA, L. & ROZANSKI, K. 1986. Tracing of the radioactive cloud in Krakow after the Chernobyl nuclear accident. Preliminary results. *Acta Geophysica Polonica. Polonica. In print.*
- EU 2014. Council Directive 2013/59/EURATOM of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom. *The Official Journal of the European Union*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2013/59/oj>.
- EU COMMISSION 2024. Air quality: Council gives final green light to strengthen standards in the EU. In: EUROPEAN COUCIL OF THE EUROPEAN UNION (ed.). Brussels, Belgium: <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/PE-88-2024-INIT/en/pdf>.
- FLORKOWSKI, T., MORAWSKA, L. & ROZANSKI, K. 1988. Natural production of radionuclides in geological formations. *Nucl. Geophys. (United Kingdom)*, 2.
- GBD 2019. Global Burden of Disease (GBD) Visualization Hub. *Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME)*. <https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare/>.
- GUO, L., SALIMI, F., WANG, H., HOFMANN, W., JOHNSON, G. R., TOELLE, B. G., MARKS, G. B. & MORAWSKA, L. 2020a. Experimentally determined deposition of ambient urban ultrafine particles in the respiratory tract of children. *Environment International*, 145, 106094.
- GUO, L. L., JOHNSON, G. R., HOFMANN, W., WANG, H. & MORAWSKA, L. 2020b. Deposition of ambient ultrafine particles in the respiratory tract of children: A novel experimental method and its application. *Journal of Aerosol Science*, 139, 105–465.
- HADDRELL, A., OSWIN, H., OTERO-FERNANDEZ, M., ROBINSON, J. F., COGAN, T., ALEXANDER, R., MANN, J. F., HILL, D., FINN, A. & DAVIDSON, A. D. 2024. Ambient carbon dioxide concentration correlates with SARS-CoV-2 aerostability and infection risk. *Nature Communications*, 15, 34–87.
- HARGREAVES, M., PARAPPUKKARAN, S., MORAWSKA, L., HITCHINS, J., HE, C. & GILBERT, D. 2003. A pilot investigation into associations between indoor airborne fungal and non-biological particle concentrations in residential houses in Brisbane, Australia. *Science of the Total Environment*, 312, 89–101.
- HE, C., MORAWSKA, L. & TAPLIN, L. 2007. Particle Emission Characteristics of Office Printers. *Environmental Science & Technology*, 41, 6039–6045.
- HE, C., MORAWSKA, L., WANG, H., JAYARATNE, R., MCGARRY, P., JOHNSON, G. R., BOSTROM, T., GONTHIER, J., AUTHEMAYOU, S. & AYOKO, G. 2010. Quantification of the relationship between fuser roller temperature and laser printer emissions. *Journal of Aerosol Science*, 41, 523–530.
- HE, C., SALONEN, H., LING, X., CRILLEY, L., JAYASUNDARA, N., CHEUNG, H. C., HARGREAVES, M., HUYGENS, F., KNIBBS, L. D. & AYOKO, G. A. 2014. The impact of flood and post-flood cleaning on airborne microbiological and particle contamination in residential houses. *Environment International*, 69, 9–17.
- HOFMANN, W., MORAWSKA, L. & BERGMANN, R. 1999. Deposition of environmental tobacco smoke in the human respiratory tract. *Journal of Aerosol Science*, 30, S799–S800.

- HOFMANN, W., MORAWSKA, L. & BERGMANN, R. 2001. Environmental tobacco smoke deposition in the human respiratory tract: differences between experimental and theoretical approaches. *Journal of Aerosol Medicine*, 14, 317–326.
- HOFMANN, W., MORAWSKA, L., WINKLER-HEIL, R. & MOUSTAFA, M. 2009. Deposition of combustion aerosols in the human respiratory tract: Comparison of theoretical predictions with experimental data considering nonspherical shape. *Inhalation Toxicology*, 21, 1154–1164.
- HPSC 2011. Radon and health. *Health Protection Surveillance Centre (HPSC)*. <https://www.hpsc.ie/a-z/environmentandhealth/radon/#:~:text=The%20average%20indoor%20radon%20concentration,homes%20and%20workplaces%20in%20Ireland>.
- JAMRISKA, M., THOMAS, S., MORAWSKA, L. & CLARK, B. 1999. Relation between indoor and outdoor exposure to fine particles near a busy arterial road. *Indoor Air*, 9, 75–84.
- JAYARATNE, E., LING, X. & MORAWSKA, L. 2011. Role of vegetation in enhancing radon concentration and ion production in the atmosphere. *Environmental Science & Technology*, 45, 6350–6355.
- JOHNSON, G., MORAWSKA, L., RISTOVSKI, Z., HARGREAVES, M., MENGENSEN, K., CHAO, C. Y. H., WAN, M., LI, Y., XIE, X. & KATOSHEVSKI, D. 2011. Modality of human expired aerosol size distributions. *Journal of Aerosol Science*, 42, 839–851.
- JOHNSON, G. R., KNIBBS, L. D., KIDD, T. J., WAINWRIGHT, C. E., WOOD, M. E., RAMSAY, K. A., BELL, S. C. & MORAWSKA, L. 2016. A novel method and its application to measuring pathogen decay in bioaerosols from patients with respiratory disease. *PLOS One*, 11, e0158763.
- JOHNSON, G. R. & MORAWSKA, L. 2009. The mechanism of breath aerosol formation. *Journal of Aerosol Medicine and Pulmonary Drug Delivery*, 22, 229–237.
- KNIBBS, L. D., COLE-HUNTER, T. & MORAWSKA, L. 2011a. A review of commuter exposure to ultrafine particles and its health effects. *Atmospheric Environment*, 45, 2611–2622.
- KNIBBS, L. D., HE, C., DUCHAINE, C. & MORAWSKA, L. 2012a. Vacuum cleaner emissions as a source of indoor exposure to airborne particles and bacteria. *Environmental Science & Technology*, 46, 534–542.
- KNIBBS, L. D., JOHNSON, G. R., KIDD, T. J., CHENEY, J., GRIMWOOD, K., KATTENBELT, J. A., O'ROURKE, P. K., RAMSAY, K. A., SLY, P. D. & WAINWRIGHT, C. E. 2014. Viability of *Pseudomonas aeruginosa* in cough aerosols generated by persons with cystic fibrosis. *Thorax*, 69, 740–745.
- KNIBBS, L. D. & MORAWSKA, L. 2012. Traffic-related fine and ultrafine particle exposures of professional drivers and illness: an opportunity to better link exposure science and epidemiology to address an occupational hazard? *Environment International*, 49, 110–114.
- KNIBBS, L. D., MORAWSKA, L. & BELL, S. C. 2012b. The risk of airborne influenza transmission in passenger cars. *Epidemiology & Infection*, 140, 474–478.
- KNIBBS, L. D., MORAWSKA, L., BELL, S. C. & GRZYBOWSKI, P. 2011b. Room ventilation and the risk of airborne infection transmission in 3 health care settings within a large teaching hospital. *American Journal of Infection Control*, 39, 866–872.

- KUMAR, P., MARTANI, C., MORAWSKA, L., NORFORD, L., CHOUDHARY, R., BELL, M. & LEACH, M. 2016a. Indoor air quality and energy management through real-time sensing in commercial buildings. *Energy and Buildings*, 111, 145–153.
- KUMAR, P., MORAWSKA, L., MARTANI, C., BISKOS, G., NEOPHYTOU, M., DISABATINO, S., BELL, M., NORFORD, L. & BRITTER, R. 2015. The rise of low-cost sensing for managing air pollution in cities. *Environment International*, 75, 199–205.
- KUMAR, P., SKOULOUDIS, A. N., BELL, M., VIANA, M., CAROTTA, M. C., BISKOS, G. & MORAWSKA, L. 2016b. Real-time sensors for indoor air monitoring and challenges ahead in deploying them to urban buildings. *Science of the Total Environment*, 560, 150–159.
- LEWIS, D. 2020. Mounting evidence suggests coronavirus is airborne – but health advice has not caught up. *Nature News*. <https://www.nature.com/articles/d41586-020-02058-1>.
- LIM, S. S., VOS, T., FLAXMAN, A. D., DANAEI, G., SHIBUYA, K., ADAIR-ROHANI, H., ALMAZROA, M. A., AMANN, M., ANDERSON, H. R. & ANDREWS, K. G. 2012. A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990–2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *The Lancet*, 380, 2224–2260.
- LIU, N., LIU, W., DENG, F., LIU, Y., GAO, X., FANG, L., CHEN, Z., TANG, H., HONG, S. & PAN, M. 2023. The burden of disease attributable to indoor air pollutants in China from 2000 to 2017. *The Lancet Planetary Health*, 7, e900–e911.
- MCGARRY, P., MORAWSKA, L., HE, C., JAYARATNE, R., FALK, M., TRAN, Q. & WANG, H. 2011. Exposure to particles from laser printers operating within office workplaces. *Environmental Science & Technology*, 45, 6444–6452.
- MEJIA, J. F., CHOY, S. L., Mengersen, K. & MORAWSKA, L. 2011. Methodology for assessing exposure and impacts of air pollutants in school children: data collection, analysis and health effects—a literature review. *Atmospheric Environment*, 45, 813–823.
- MENDELL, M. J., FISK, W. J., KREISS, K., LEVIN, H., ALEXANDER, D., CAIN, W. S., GIRMAN, J. R., HINES, C. J., JENSEN, P. A., MILTON, D. K., REXROAT, L. P. & WALLINGFORD, K. M. 2002. Improving the health of workers in indoor environments: Priority research needs for a national occupational research agenda. *American Journal of Public Health*, 92, 1430–1440.
- MIKSZEWSKI, A., STABILE, L., BUONANNO, G. & MORAWSKA, L. 2022. Increased close proximity airborne transmission of the SARS-CoV-2 Delta variant. *Science of the Total Environment*, 816, 151–499.
- MORAWSKA, L. 1983. Influence of sealants on 222radon emanation rate from building materials. *Health Physics*, 44, 416–418.
- MORAWSKA, L. 2000. Indoor Air policies and programs in Australia. *Proceeding of the Healthy Buildings Conference*. Espoo, Finland, 6-10 August 2000.
- MORAWSKA, L. 2006. Droplet fate in indoor environments, or can we prevent the spread of infection? *Indoor Air*, 16, 335–347.
- MORAWSKA, L. 2020. Quo Vadis – Where Are You Going? Beyond Limitations. In: QUT CHAPLAINCY, QUESTED, F. L., SATO, R., PUN, M. S. (eds.). *Reflections Collection 2020*. <https://digitalcollections.qut.edu.au/6242/>.

- MORAWSKA, L. 2024. The burden of disease due to indoor air pollution and why we need to know about it. *Science Bulletin*, 69, 1161–1164.
- MORAWSKA, L., ALLEN, J., BAHNFLETH, W., BENNETT, B., BLUYSSSEN, P. M., BOERSTRA, A., BUONANNO, G., CAO, J., DANCER, S. J. & FLOTO, A. 2024a. Mandating indoor air quality for public buildings. *Science*, 383, 1418–1420.
- MORAWSKA, L., ALLEN, J., BAHNFLETH, W., BLUYSSSEN, P. M., BOERSTRA, A., BUONANNO, G., CAO, J., DANCER, S. J., FLOTO, A. & FRANCHIMON, F. 2021. A paradigm shift to combat indoor respiratory infection. *Science*, 372, 689–691.
- MORAWSKA, L., ASBACH, C., BUONANNO, G., ELEFThERIADIS, K., FIERZ, M., GREEN, D., HABRE, R., HARRISON, R., HÜGLIN, C., JAYARATNE, E. R., KANNINEN, K., LAZARIDIS, M., QUEROL, X., RÖNNKÖ, T., SILVONEN, V., STABILE, L., VIANA, M., WANG, H. & WANG, L. Ultrafine particle monitoring to support WHO 2021 UFP Good Practice. European Aerosol Conference (EAC2024), Tampere, Finland, 25–30 August, 2024b.
- MORAWSKA, L., ASBACH, C. & PATEL, H. 2025. Application of PM_{2.5} low-cost sensors for indoor air quality compliance monitoring. *Aerosol Science & Technology*, Accepted 20 January 2025, In Press.
- MORAWSKA, L., AYOKO, G., BAE, G., BUONANNO, G., CHAO, C., CLIFFORD, S., FU, S. C., HÄNNINEN, O., HE, C. & ISAXON, C. 2017. Airborne particles in indoor environment of homes, schools, offices and aged care facilities: The main routes of exposure. *Environment International*, 108, 75–83.
- MORAWSKA, L., BAHNFLETH, W., BLUYSSSEN, P. M., BOERSTRA, A., BUONANNO, G., DANCER, S. J., FLOTO, A., FRANCHIMON, F., HAWORTH, C. & HOGELING, J. 2023. Coronavirus Disease 2019 and Airborne Transmission: Science Rejected, Lives Lost. Can Society Do Better? *Clinical Infectious Diseases*, 76, 1854–1859.
- MORAWSKA, L., BARRON, W. & HITCHINS, J. 1999. Experimental deposition of environmental tobacco smoke submicrometer particulate matter in the human respiratory tract. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 60, 334–339.
- MORAWSKA, L., BUONANNO, G., MIKSZEWSKI, A. & STABILE, L. 2022. The physics of respiratory particle generation, fate in the air, and inhalation. *Nature Reviews Physics*, 4, 723–734.
- MORAWSKA, L. & CAO, J. 2020. Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality. *Environment International*, 139, 105–730.
- MORAWSKA, L., HE, C., JOHNSON, G., GUO, H., UHDE, E. & AYOKO, G. 2009a. Ultrafine particles in indoor air of a school: possible role of secondary organic aerosols. *Environmental Science & Technology*, 43, 9103–9109.
- MORAWSKA, L., HE, C., JOHNSON, G. R., JAYARATNE, R., SALTHAMMER, T., WANG, H., UHDE, E., BOSTROM, T., MODINI, R., AYOKO, G., MCGARRY, P. & WENSING, M. 2009b. An Investigation into the Characteristics and Formation Mechanisms of Particles Originating from the Operation of Laser Printers. *Environmental Science & Technology*, 43, 1015–1022.
- MORAWSKA, L. & JAMRISKA, M. 1996. Deposition of radon progeny on indoor surfaces. *Journal of Aerosol Science*, 27, 305–312.
- MORAWSKA, L. & JAMRISKA, M. 1997. Determination of the activity size distribution of radon progeny. *Aerosol Science and Technology*, 26, 459–468.

- MORAWSKA, L., JOHNSON, G., RISTOVSKI, Z., HARGREAVES, M., MENGENSEN, K., CORBETT, S., CHAO, C., LI, Y. & KATOSHEVSKI, D. 2009c. Size distribution and sites of origin of droplets expelled from the human respiratory tract during expiratory activities. *Journal of Aerosol Science*, 40, 256–269.
- MORAWSKA, L., LI, Y. & SALTHAMMER, T. 2024c. Lessons from the COVID-19 pandemic for ventilation and indoor air quality. *Science*, 385, 396–401.
- MORAWSKA, L. & MILTON, D. K. 2020. It is time to address airborne transmission of coronavirus disease 2019 (COVID-19). *Clinical Infectious Diseases*, 71, 2311–2313.
- MORAWSKA, L. & PHILLIPS, C. 1992. Attachment of radon progeny to cigarette smoke aerosol. *Aerosol science and technology*, 17, 149–158.
- MORAWSKA, L., TANG, J. W., BAHNFLETH, W., BLUYSEN, P. M., BOERSTRA, A., BUONANNO, G., CAO, J., DANCER, S., FLOTO, A. & FRANCHIMON, F. 2020. How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimised? *Environment International*, 142, 105–832.
- MORAWSKA, L., THAI, P. K., LIU, X., ASUMADU-SAKYI, A., AYOKO, G., BARTONOVA, A., BEDINI, A., CHAI, F., CHRISTENSEN, B. & DUNBABIN, M. 2018. Applications of low-cost sensing technologies for air quality monitoring and exposure assessment: How far have they gone? *Environment International*, 116, 286–299.
- MORAWSKA, L., XIU, M., HE, C., BUONANNO, G., MCGARRY, P., MAUMY, B., STABILE, L. & THAI, P. K. 2019. Particle emissions from laser printers: have they decreased? *Environmental Science & Technology Letters*, 6, 300–305.
- NYARKU, M., BUONANNO, G., OFOSU, F., JAYARATNE, R., MAZAHARI, M. & MORAWSKA, L. 2019. Schoolchildren's personal exposure to ultrafine particles in and near Accra, Ghana. *Environment International*, 133, 105–223.
- PORSTENDÖRFER, J. 1994. Properties and behaviour of radon and thoron and their decay products in the air. *Journal of Aerosol Science*, 25, 219–263.
- SALMA, I., FARKAS, Á., WEIDINGER, T. & BALOGH, M. 2023. Firework smoke: Impacts on urban air quality and deposition in the human respiratory system. *Environmental Pollution*, 328, 121–612.
- SALONEN, H., DUCHAINE, C., LÉTOURNEAU, V. R., MAZAHARI, M., CLIFFORD, S. & MORAWSKA, L. 2013. Endotoxins in indoor air and settled dust in primary schools in a subtropical climate. *Environmental science & technology*, 47, 9882–9890.
- SALONEN, H., DUCHAINE, C., MAZAHARI, M., CLIFFORD, S. & MORAWSKA, L. 2015. Airborne culturable fungi in naturally ventilated primary school environments in a subtropical climate. *Atmospheric Environment*, 106, 412–418.
- SCHWARCZ, H. P. & MORAWSKA, L. 1993. Uranium-series dating of carbonates from Bir Tarfawi and Bir Sahara East. In: *Egypt during the Last Interglacial: the Middle Paleolithic of Bir Tarfawi and Bir Sahara East*, 205–217.
- STABILE, L., PACITTO, A., MIKSZEWSKI, A., MORAWSKA, L. & BUONANNO, G. 2021. Ventilation procedures to minimize the airborne transmission of viruses in classrooms. *Building and Environment*, 202, 108042.
- STOCKWELL, R. E., CHIN, M., JOHNSON, G. R., WOOD, M. E., SHERRARD, L. J., BALLARD, E., O'ROURKE, P., RAMSAY, K. A., KIDD, T. J. & JABBOUR, N. 2019. Transmission of bacteria in bronchiectasis and chronic obstructive pulmonary disease: Low burden of cough aerosols. *Respirology*, 24, 980–987.

- STOCKWELL, R. E., WOOD, M. E., HE, C., SHERRARD, L. J., BALLARD, E. L., KIDD, T. J., JOHNSON, G. R., KNIBBS, L. D., MORAWSKA, L. & BELL, S. C. 2018. Face masks reduce the release of *Pseudomonas aeruginosa* cough aerosols when worn for clinically relevant periods. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 198, 1339–1342.
- USEPA 2024. Radon in Schools. *US Environmental Protection Agency (USEPA)*. <https://www.epa.gov/radon/radon-schools#:~:text=A%20nationwide%20survey%20of%20radon,action%20to%20reduce%20the%20level>.
- WANGCHUK, T., MAZAHARI, M., CLIFFORD, S., DUDZINSKA, M. R., HE, C., BUONANNO, G. & MORAWSKA, L. 2015. Children's personal exposure to air pollution in rural villages in Bhutan. *Environmental Research*, 140, 691–698.
- WHO 1996. WHO Guidelines for Dust Prevention in Workplaces. *World Health Organization*.
- WHO 2006. Air Quality Guidelines: Global Update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. *World Health Organization*. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/107823>: Regional Office for Europe.
- WHO 2009. *Guidelines for Indoor Air Quality: Dampness and Mould*, Geneva, Switzerland, <https://www.who.int/publications/i/item/9789289041683>.
- WHO 2020a. Scientific Brief: Transmission of SARS-CoV-2: implications for infection prevention precautions (9 July 2020). *World Health Organization*. <https://www.who.int/publications/i/item/modes-of-transmission-of-virus-causing-covid-19-implications-for-ipc-precaution-recommendations>.
- WHO 2020b. Tweet 29 March 2020: Fact Check: COVID-19 is not airborne. *World Health Organization*. <https://twitter.com/WHO/status/1243972193169616898>.
- WHO 2021. WHO Global Air Quality Guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. *World Health Organization*. Geneva, Europe: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>.
- WHO 2024a. Global technical consultation report on proposed terminology for pathogens that transmit through the air. *World Health Organization*. <https://www.who.int/publications/m/item/global-technical-consultation-report-on-proposed-terminology-for-pathogens-that-transmit-through-the-air>.
- WHO 2024b. Indoor airborne risk assessment in the context of SARS-CoV-2: description of airborne transmission mechanism and method to develop a new standardized model for risk assessment. *World Health Organization*. <https://iris.who.int/handle/10665/376346>: World Health Organization.
- WOOD, M. E., STOCKWELL, R. E., JOHNSON, G. R., RAMSAY, K. A., SHERRARD, L. J., JABBOUR, N., BALLARD, E., O'ROURKE, P., KIDD, T. J. & WAINWRIGHT, C. E. 2018. Face masks and cough etiquette reduce the cough aerosol concentration of *Pseudomonas aeruginosa* in people with cystic fibrosis. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 197, 348–355.

Tłumaczenie tekstu prof. L. Morawskiej, *The science of air that helps us thrive* na język polski: **Szymon Obrusewicz**
Tłumaczenie Laudacji na język angielski: **Katarzyna Sienkiewicz**

Redaktor prowadzący: **Karolina Famulska-Ciesielska**
Skład i łamanie: **Katarzyna Pełka-Smętek**
Projekt graficzny serii: **Łukasz Maj**

Publikacja wydana za zgodą **Rrektora Politechniki Lubelskiej**

ISBN: 978-83-7947-637-4 (wersja drukowana)
ISBN: 978-83-7947-638-1 (wersja elektroniczna)
DOI: 10.35784/9788379476381
Wydawca: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej
www.wpl.pollub.pl
ul. Nadbystrzycka 36C, 20-618 Lublin
tel. (81) 538-46-59



**WYDAWNICTWO
POLITECHNIKI
LUBELSKIEJ**

Książka udostępniona jest na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa – na tych samych warunkach
4.0 Międzynarodowe (CC BY-SA 4.0)

Nakład: 100 egz.