

Politechnika Warszawska  
pl. Politechniki 1, 00-661 Warszawa  
za pośrednictwem:  
Rady Doskonałości Naukowej  
pl. Defilad 1, 00-901 Warszawa  
(Pałac Kultury i Nauki, p. XXIV, pok. 2401)

Magdalena Reizer

Politechnika Warszawska,  
Wydział Instalacji Budowlanych,  
Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska  
ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa

## Wniosek

z dnia 21 września 2023 r.

o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie **nauk inżynieryjno-technicznych** w dyscyplinie<sup>1</sup> **inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka**.

Określenie osiągnięcia naukowego będącego podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego:

**Cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2b Ustawy pt.:**

***Modelowanie receptorowe jako narzędzie do identyfikacji pochodzenia i właściwości pyłu zawieszonego w powietrzu atmosferycznym***

Wnioskuje – na podstawie art. 221 ust. 10 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 zm.) – aby komisja habilitacyjna podejmowała uchwałę w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w głosowaniu **tajnym/jawnym**\*<sup>2</sup>

Zostałam poinformowana, że:

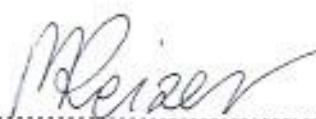
Administratorem w odniesieniu do danych osobowych pozyskanych w ramach postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego jest Przewodniczący Rady Doskonałości Naukowej z siedzibą w Warszawie (pl. Defilad 1, XXIV piętro, 00-901 Warszawa).

Kontakt za pośrednictwem e-mail: [kancelaria@rdn.gov.pl](mailto:kancelaria@rdn.gov.pl), tel. 22 656 60 98 lub w siedzibie organu. Dane osobowe będą przetwarzane w oparciu o przesłankę wskazaną w art. 6 ust. 1 lit. c) Rozporządzenia UE 2016/679 z dnia 27 kwietnia 2016 r. w związku z art. 220 – 221 oraz art. 232 – 240 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w celu przeprowadzenia postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego oraz realizacji praw i obowiązków oraz środków odwoławczych przewidzianych w tym postępowaniu.

Szczegółowa informacja na temat przetwarzania danych osobowych w postępowaniu dostępna jest na stronie [www.rdn.gov.pl/klauzula-informacyjna-rodz.html](http://www.rdn.gov.pl/klauzula-informacyjna-rodz.html)

Podpisane elektronicznie przez Magdalena Marta Reizer

(Certyfikat kwalifikowany) w dniu 2023-09-21



(podpis wnioskodawcy)

<sup>1</sup> Klasyfikacja dziedzin i dyscyplin wg. rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin w zakresie sztuki (Dz. U. z 2018 r. poz. 1818).

<sup>2</sup> \* Niepotrzebne skreślić.

Załączniki:

1. Kopia dyplomu potwierdzającego uzyskanie stopnia doktora
2. Dane wnioskodawcy
3. Autoreferat
4. Wykaz osiągnięć naukowych
5. Publikacje stanowiące osiągnięcie naukowe
6. Oświadczenia współautorów publikacji określające indywidualny wkład w ich powstanie
7. Dokumenty potwierdzające odbyte staże i szkolenia
8. Lista rankingowa konkursu NCN SONATA-17
9. Analiza danych naukometrycznych opracowana przez Oddział Informacji Naukowej i  
Analiz Bibliometrycznych Biblioteki Głównej Politechniki Warszawskiej

**Załącznik nr 3** do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego



**Politechnika Warszawska**

**Wydział Instalacji Budowlanych,  
Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska**

## **Autoreferat**

**dr inż. Magdalena Reizer**

Warszawa, wrzesień 2023

## Spis treści

|                                                                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Imię i nazwisko .....                                                                                                                                                         | 3  |
| 2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.....                                         | 3  |
| 3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.....                                                                                                         | 3  |
| 4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.)..... | 4  |
| 4.1. Osiągnięcie naukowe.....                                                                                                                                                    | 4  |
| 4.1.1. Tytuł osiągnięcia naukowego.....                                                                                                                                          | 4  |
| 4.1.2. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego.....                                                                                                                   | 4  |
| 4.1.3. Wprowadzenie do tematyki badań .....                                                                                                                                      | 8  |
| 4.1.4. Cel naukowy badań .....                                                                                                                                                   | 13 |
| 4.1.5. Metody badawcze.....                                                                                                                                                      | 13 |
| 4.1.6. Uzyskane wyniki i ich znaczenie .....                                                                                                                                     | 19 |
| 4.1.7. Kierunki dalszych badań .....                                                                                                                                             | 35 |
| 4.2. Pozostałe osiągnięcia.....                                                                                                                                                  | 36 |
| 5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej .....                     | 41 |
| 6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę.....                                                                                    | 48 |
| 6.1. Osiągnięcia dydaktyczne.....                                                                                                                                                | 48 |
| 6.2. Osiągnięcia organizacyjne.....                                                                                                                                              | 50 |
| 6.3. Osiągnięcia popularyzatorskie.....                                                                                                                                          | 51 |
| 7. Inne informacje dotyczące kariery zawodowej .....                                                                                                                             | 52 |
| 7.1. Finansowanie uzyskane na badania.....                                                                                                                                       | 52 |
| 7.2. Zestawienie liczbowe dorobku naukowego.....                                                                                                                                 | 52 |
| 7.3. Nagrody i wyróżnienia .....                                                                                                                                                 | 53 |



**1. Imię i nazwisko****Magdalena Reizer****2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej****Doktor nauk technicznych**

Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Środowiska, 21 stycznia 2014

Dyscyplina: Inżynieria Środowiska, specjalność: Ochrona atmosfery

Tytuł rozprawy doktorskiej: *Metodyka identyfikacji przyczyn występowania epizodów pyłowych w warunkach polskich*. Rozprawa z wyróżnieniem.

Promotor: prof. dr hab. inż. Katarzyna Juda-Rezler.

Recenzenci: prof. dr hab. inż. Jerzy Zwoździak, prof. dr hab. inż. Jarosław Zawadzki.

**Magister Inżynier**

Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Środowiska, 3 października 2006

Kierunek: Inżynieria Środowiska, specjalność: Informacja i Zarządzanie

**3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych****Politechnika Warszawska (PW)****Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska (WIBHiŚ)**  
(przed 01.01.2016 Wydział Inżynierii Środowiska (WiŚ))**Katedra Ochrony i Kształtowania Środowiska (KOiKŚ)**  
(przed 1 maja 2011 Zakład Ochrony i Kształtowania Środowiska)15.05.2014 – obecnie                      *Adiunkt*01.11.2009 – 14.05.2014                *Asystent*01.11.2007 – 31.05.2008                *Starszy technik*01.10.2007 – 30.09.2013                *Studia doktoranckie WiŚ PW*

#### 4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.)

##### 4.1. Osiągnięcie naukowe

###### 4.1.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Osiągnięcie naukowe stanowi cykl 7 powiązanych tematycznie artykułów naukowych pod wspólnym tytułem:

*Modelowanie receptorowe jako narzędzie do identyfikacji pochodzenia i właściwości pyłu zawieszonego w powietrzu atmosferycznym*

###### 4.1.2. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego

<sup>✉</sup> autor korespondencyjny

- I.1. Juda-Rezler K.<sup>✉</sup>, Reizer M., Oudinet J.-P., 2011. Determination and analysis of PM<sub>10</sub> source apportionment during episodes of air pollution in Central Eastern European urban areas: The case of wintertime 2006. *Atmospheric Environment*, 45 (36), 6557-6566. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2011.08.020.

---

IF<sub>2011</sub> = 3.465; Pkt. MNiSW<sub>2011</sub> (przed reformą)<sup>1</sup> = 40; Liczba cytowań (wg WoS) = 112

---

*Wkład własny w przygotowanie publikacji: zgromadzenie danych pomiarowych stężeń PM<sub>10</sub> i jego składników oraz parametrów meteorologicznych; utworzenie bazy danych stężeń i parametrów meteorologicznych; przeprowadzenie analiz statystycznych w bazie danych (statystyki opisowe, analiza korelacji i współprzebiegów stężeń); przeprowadzenie modelowania receptorowego (podejście Lenshowa, analiza PCA), interpretacja wyników i identyfikacja źródeł pyłu; przeprowadzenie obliczeń i analiza trajektorii wstecznych mas powietrza; przeprowadzenie analizy sytuacji synoptycznej w trakcie epizodów; graficzna prezentacja wyników.*

*Wkład wspólnie ze współautorami: opracowanie koncepcji i metodyki badań; analiza wyników i sformułowanie wniosków; przygotowanie manuskryptu artykułu, odpowiedzi na recenzje i korekta manuskryptu po uwagach recenzentów.*

---

<sup>1</sup> „przed reformą” oznacza punktację osiągnięcia zgodnie z zasadami obowiązującymi do 2018 r., natomiast „po reformie” oznacza punktację osiągnięcia zgodnie z zasadami określonymi w aktach wykonawczych do ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668 ze zm.).

- I.2. Reizer M.**<sup>✉</sup>, Juda-Rezler K., 2016. Explaining the high PM<sub>10</sub> concentrations observed in Polish urban areas. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 9, 517-531, DOI: 10.1007/s11869-015-0358-z.

---

**IF<sub>2016</sub> = 3.184; Pkt. MNiSW<sub>2016</sub> (przed reformą) = 25; Liczba cytowań (wg WoS) = 77**

---

*Wkład własny w przygotowanie publikacji: opracowanie koncepcji i metodyki badań; utworzenie bazy danych stężeń i parametrów meteorologicznych; przeprowadzenie analiz statystycznych w bazie danych (statystyki opisowe, analiza korelacji i współprzebiegów stężeń); przeprowadzenie modelowania receptorowego (podejście Lenshowa, analiza PCA-MLRA), interpretacja wyników i identyfikacja źródeł pyłu; przeprowadzenie obliczeń i analiza trajektorii wstecznych mas powietrza; przeprowadzenie analizy sytuacji synoptycznej w trakcie epizodów; graficzna prezentacja wyników; prowadzenie korespondencji z Redaktorem (autor korespondencyjny).*

*Wkład wspólnie ze współautorką: analiza wyników i sformułowanie wniosków; przygotowanie manuskryptu artykułu, odpowiedzi na recenzje i korekta manuskryptu po uwagach recenzentów.*

- I.3. Reizer M.**<sup>✉</sup>, Orza J.A.G., 2018. Identification of PM<sub>10</sub> air pollution origins at a rural background site. *E3S Web of Conferences*, 28, Numer artykułu: 01031, 1-7, DOI: 10.1051/e3sconf/20182801031.

---

**Pkt. MNiSW<sub>2018</sub> (przed reformą) = 15; Liczba cytowań (wg WoS) = 7**

---

*Wkład własny w przygotowanie publikacji: opracowanie koncepcji badań; zgromadzenie danych pomiarowych dotyczących stężeń PM<sub>10</sub> i jego składników z okresu 10 lat i utworzenie bazy danych; obliczenie trajektorii wstecznych mas powietrza dla okresu 10 lat; przeprowadzenie analizy trajektorii wstecznych mas powietrza (analiza klastrow; analiza CWT) oraz analizy statystycznej stężeń PM<sub>10</sub> w poszczególnych klastrach trajektorii; graficzna prezentacja wyników; pozyskanie finansowania badań (grant dziekański Dziekana Wydziału Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej; Kierownik grantu); prowadzenie korespondencji z Redaktorem (autor korespondencyjny).*

*Wkład wspólnie ze współautorem: opracowanie metodyki badań; analiza wyników i sformułowanie wniosków; przygotowanie manuskryptu artykułu, odpowiedzi na recenzje i korekta manuskryptu po uwagach recenzentów.*



- I.4.** Belis C.A.<sup>✉</sup>, Pernigotti D., Pirovano G., Favez O., Jaffrezo J.L., Kuenen J., Denier van Der Gon H., **Reizer M.**, Riffault V., Alleman L.Y., Almeida M., i in., 2020. Evaluation of receptor and chemical transport models for PM<sub>10</sub> source apportionment. *Atmospheric Environment: X*, 5, ID artykułu: 100053, 1-23. DOI: 10.1016/j.aaoa.2019.100053.

---

**IF<sub>2020</sub> = 0 (IF<sub>2022</sub> = 4.6); Pkt. MEiN<sub>2020</sub> = 20; Liczba cytowań (wg WoS) = 59**

---

Artykuł powstał w wyniku udziału ZOA PW w eksperymencie porównawczym modeli receptorowych i modeli jakości powietrza (*European Source Apportionment intercomparison for Receptor and Chemical Transport Models*), organizowanym w ramach grupy roboczej WG3 (*Source Apportionment*) międzynarodowej inicjatywy FAIRMODE (*Forum for Air quality Modeling*). Eksperyment był koordynowany przez Dr Claudio Belisa z Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability (JRC-IES). W eksperymencie uczestniczyły 44 zespoły badawcze z Europy, Stanów Zjednoczonych i Chile, w tym 2 z Polski.

Wkład własny w przygotowanie publikacji: przeprowadzenie ze strony ZOA PW modelowania receptorowego z wykorzystaniem modelu PMF, interpretacja wyników i identyfikacja źródeł pyłu; nadzór nad przygotowaniem danych meteorologicznych do modelowania jakości powietrza z wykorzystaniem modelu WRF, weryfikacją i dostarczeniem tych danych wszystkim zespołom badawczym wykorzystującym w eksperymencie modele dyspersji; udział w korekcie tekstu manuskryptu. Warto podkreślić, iż należę do głównych 9 autorów manuskryptu, pozostali autorzy (od 10. z 74) wymienieni są w kolejności alfabetycznej.

- I.5.** Juda-Rezler K.<sup>✉</sup>, **Reizer M.**, Maciejewska K., Błaszczak B., Klejnowski K., 2020. Characterization of atmospheric PM<sub>2.5</sub> sources at a Central European urban background site. *Science of the Total Environment*, 713, ID artykułu: 136729. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.136729.

---

**IF<sub>2020</sub> = 7.963; Pkt. MEiN<sub>2020</sub> = 200; Liczba cytowań (wg WoS) = 67**

---

Wkład własny w przygotowanie publikacji: przeprowadzenie obliczeń współczynników wzbogacania pierwiastków śladowych (EF); przygotowanie danych wejściowych, obliczenie niepewności pomiarowych, przeprowadzenie modelowania receptorowego (PMF), interpretacja wyników i identyfikacja źródeł pyłu wraz z analizą statystyczną i wyznaczeniem przebiegu stężeń zidentyfikowanych źródeł; graficzna prezentacja wyników (Abstrakt graficzny, Rys. 1-3, 8-11).

Wkład wspólnie ze współautorami: opracowanie metodyki badań; przeprowadzenie badań terenowych (kampania pomiarowa); analiza wyników i sformułowanie wniosków; przygotowanie manuskryptu artykułu, odpowiedzi na recenzje i korekta manuskryptu po uwagach recenzentów.



- I.6. Reizer M.<sup>2a</sup>, Calzolari G., Maciejewska K., Orza J.A.G., Carraresi L., Lucarelli F., Juda-Rezler K., 2021. Measurement report: Receptor modeling for source identification of urban fine and coarse particulate matter using hourly elemental composition. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14471-14492. DOI: 10.5194/acp-21-14471-2021.

---

IF<sub>2021</sub> = 7.197; Pkt. MEiN<sub>2021</sub> = 140; Liczba cytowań (wg WoS) = 4

---

Wkład własny w przygotowanie publikacji: opracowanie metodyki badań; przeprowadzenie analiz statystycznych stężeń pierwiastków zawartych w 2 frakcjach PM (statystyki opisowe, analiza korelacji i współprzebiegów stężeń); przygotowanie danych wejściowych, obliczenie niepewności pomiarowych, przeprowadzenie modelowania receptorowego (PMF), interpretacja wyników i identyfikacja źródeł pyłu wraz z analizą statystyczną i wyznaczeniem przebiegu stężeń zidentyfikowanych źródeł; przeprowadzenie analizy PSCF trajektorii wstecznych mas powietrza; graficzna prezentacja wyników (Abstrakt graficzny, Rysunki 1-6, 7 (częściowo), 9 oraz Tab. 1); przygotowanie manuskryptu artykułu, odpowiedzi na recenzje i korekta manuskryptu po uwagach recenzentów; prowadzenie korespondencji z Redaktorem (autor korespondencyjny).

Wkład wspólnie ze współautorami: opracowanie koncepcji badań; przeprowadzenie badań terenowych (kampania pomiarowa); analiza wyników i sformułowanie wniosków; przygotowanie manuskryptu artykułu, odpowiedzi na recenzje i korekta manuskryptu po uwagach recenzentów.

- I.7. Juda-Rezler K.<sup>2a</sup>, Zajusz-Zubek E., Reizer M., Maciejewska K., Kurck E., Bulska E., Klejnowski K., 2021. Bioavailability of elements in atmospheric PM<sub>2.5</sub> during winter episodes at Central Eastern European urban background site. *Atmospheric Environment*, 245, ID artykułu: 117993. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2020.117993.

---

IF<sub>2021</sub> = 5.755; Pkt. MEiN<sub>2021</sub> = 100; Liczba cytowań (wg WoS) = 15

---

Wkład własny w przygotowanie publikacji: przeprowadzenie obliczeń i analizy ryzyka kancerogennego i niekancerogennego narażenia na pierwiastki śladowe; graficzna prezentacja wyników (Abstrakt graficzny, Rys. 4, Tab. 1, 5).

Wkład wspólnie ze współautorami: opracowanie metodyki badań; przeprowadzenie badań terenowych (kampania pomiarowa); analiza wyników i sformułowanie wniosków; przygotowanie manuskryptu artykułu, odpowiedzi na recenzje i korekta manuskryptu po uwagach recenzentów.

Na osiągnięcie naukowe składają się publikacje o sumarycznym IF wynoszącym 27.564 (zgodnie z rokiem publikacji), sumie punktów MEiN (MNIŚW) równej 540 oraz łącznej liczbie cytowań – 341, z wykluczeniem autocytowań 329 (według Web of Science, stan na 21 września 2023).



#### 4.1.3. Wprowadzenie do tematyki badań

Narażenie na zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego oraz wewnątrz pomieszczeń zostało obecnie zidentyfikowane jako największe zagrożenie środowiskowe dla zdrowia ludzkiego i czwarty czynnik wiodący ryzyka przedwczesnych zgonów na świecie, po wysokim ciśnieniu krwi, paleniu tytoniu i ryzyku związanym z nawykami żywieniowymi (GBD, 2020). Najnowsze globalne szacunki Światowej Organizacji Zdrowia (WHO, ang. *World Health Organization*), wskazują, że każdego roku zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego powoduje ponad 4 miliony przedwczesnych zgonów, przy czym największe zagrożenie związane jest z pyłem zawieszonym (PM, ang. *Particulate Matter*) (WHO, 2022).

Pył zawieszony jest złożoną mieszaniną cząstek stałych i ciekłych, różniących się rozmiarem, kształtem i powierzchnią, a także składem chemicznym i mineralogicznym. Jednocześnie, jest to zanieczyszczenie o zarówno pierwotnym, jak i wtórnym pochodzeniu. Tak duża niejednorodność pyłu ma decydujące znaczenie dla rodzaju i wielkości jego oddziaływania, przy czym różne właściwości PM mogą być istotne dla różnych skutków zdrowotnych (WHO, 2021). Spośród wszystkich frakcji pyłu zawieszonego, pył drobny PM<sub>2.5</sub> (cząstki o średnicy aerodynamicznej  $d_a \leq 2.5 \mu\text{m}$ ) jest uznawany za kluczowe zanieczyszczenie powietrza pod względem negatywnego wpływu na zdrowie. Liczne badania epidemiologiczne prowadzone od ponad 70 lat pokazują, że zarówno krótko-, jak i długoterminowe oddziaływanie PM ma znaczący wpływ na występowanie i/lub potęgowanie wielu chorób, a notowane objawy mają bardzo szerokie spektrum. Dotychczasowe badania wskazują na związki przyczynowe pomiędzy narażeniem na zanieczyszczenie powietrza PM<sub>2.5</sub> a śmiertelnością z przyczyn ogólnych, a także ostrymi infekcjami dolnych dróg oddechowych, przewlekłą obturacyjną chorobą płuc (POChP), chorobą niedokrwienną serca, nowotworem płuc i udarem mózgu (np. Chen & Hoek, 2020; Orellano i in., 2020). Coraz więcej badań wskazuje również na związki przyczynowe długoterminowej ekspozycji na PM<sub>2.5</sub> z cukrzycą typu 2, a także częstością występowania chorób neurodegeneracyjnych, w tym choroby Alzheimera i choroby Parkinsona (np. Dimakakou i in., 2020; Shi i in., 2020). Warto podkreślić, że już w 2013 r. Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem (IARC, ang. *International Agency for Research on Cancer*) zakwalifikowała zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego i oddzielnie jego główny składnik – pył zawieszony – do grupy 1, obejmującej czynniki o potwierdzonym działaniu kancerogennym na organizm człowieka (IARC, 2016). We wrześniu 2021 r., opierając się na silnych naukowych dowodach dotyczących pozytywnego związku między długo- i krótkoterminową ekspozycją na PM<sub>2.5</sub> a śmiertelnością, WHO obniżyła, ustanowione w 2006 r., rekomendowane stężenia dla tego zanieczyszczenia w powietrzu atmosferycznym (AQG, ang. *Air Quality Guidelines*). Nowe AQG zostały ustalone na poziomie 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (obniżenie o 50%) i 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (obniżenie o 60%), odpowiednio dla stężeń średniorocznych i dobowych. Jednocześnie WHO ostrzegła, że przekroczenie nowych AQG wiąże się ze znacznym ryzykiem dla zdrowia ludzkiego (WHO, 2021).

Według oszacowań WHO, w 2019 r. aż 99% populacji na świecie żyło na obszarach, na których są przekraczane nowe AQG, przy czym najgorsza jakość powietrza obserwowana jest w regionie Azji Południowo-Wschodniej (WHO, 2022). Jak wynika z najnowszej oceny Europejskiej Agencji ds. Środowiska (EEA, ang. *European Environment Agency*), pomimo



znacznej redukcji emisji zanieczyszczeń powietrza w całej Unii Europejskiej (UE) w ostatnich ok. 20 latach, często dochodzi do przekroczeń standardów jakości powietrza, a stężenia zanieczyszczeń powietrza, w tym zwłaszcza pyłów, znacznie przekraczają najnowsze AQG. W szczególności, w 2021 r. 97% i 76% ludności miejskiej UE było narażonych na stężenia przekraczające wartości AQG odpowiednio dla pyłu  $PM_{2.5}$  i  $PM_{10}$  ( $d_o \leq 10 \mu m$ ) (EEA, 2023). Należy podkreślić, że w Polsce stężenia pyłów należą do jednych z najwyższych w Europie. W 2021 r. obowiązujące w krajach członkowskich poziomy dopuszczalne  $PM_{10}$  i  $PM_{2.5}$  (znacznie łagodniejsze od AQG) zostały przekroczone odpowiednio w ponad 50% oraz ponad 60% stref, w których dokonywana jest krajowa ocena jakości powietrza. Jednocześnie, przekroczenia poziomów dopuszczalnych wystąpiły w 6 ( $PM_{10}$ ) oraz 7 ( $PM_{2.5}$ ) z 12 aglomeracji o liczbie mieszkańców powyżej 250 000 (IOŚ, 2022).

Do głównych składników pyłu można zaliczyć: materiał mineralny (ang. *crustal material*), sól morską (ang. *sea salt*), pierwotny bioaerozol (PBAP, ang. *Primary Biogenic Aerosol Particles*), węgiel elementarny (EC, ang. *Elemental Carbon*), węgiel organiczny (OC, ang. *Organic Carbon*), wtórne aerozole organiczne (SOA, ang. *Secondary Organic Aerosols*), wtórne aerozole nieorganiczne (SIA, ang. *Secondary Inorganic Aerosols*), pierwiastki śladowe. Skład chemiczny pyłu atmosferycznego w danym miejscu zależy przede wszystkim od rodzaju naturalnego bądź antropogenicznego źródła lub procesu, z którego został wyemitowany oraz od przebiegu procesów tworzenia w atmosferze cząstek wtórnych. Pył pierwotny emitowany jest zarówno ze źródeł naturalnych, jak i praktycznie ze wszystkich rodzajów działalności antropogenicznej, przy czym spalanie paliw kopalnych w przemyśle energetycznym i hutniczym, sektorze komunalno-bytowym (indywidualnie ogrzewane budynki, małe ciepłownie lokalne) i transporcie drogowym są najważniejszymi antropogenicznymi źródłami zarówno pierwotnych cząstek stałych, jak i gazowych prekursorów cząstek wtórnych – ditlenku siarki ( $SO_2$ ), tlenków azotu ( $NO_x$ ) oraz lotnych związków organicznych (LZO). Zapobieganie zanieczyszczeniu powietrza u źródła jest jedną z priorytetowych zasad według obecnie obowiązujących Dyrektyw dotyczących jakości powietrza: Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy (2008/50/WE, tzw. Dyrektywa CAFE) oraz Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie arsenu, kadmu, rtęci, niklu i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w otaczającym powietrzu (2004/107/WE), a także według projektu rewizji Dyrektywy CAFE, wyznaczającej ostrzejsze poziomy dopuszczalne zanieczyszczeń powietrza z terminem osiągnięcia do 2030 roku. Dodatkowo, Dyrektywa CAFE zezwala państwom członkowskim na odejmowanie udziału zanieczyszczeń pochodzących ze źródeł naturalnych oraz z posypywania dróg piaskiem lub solą w okresie zimowym, w przypadku kiedy są one przyczyną przekroczeń poziomów dopuszczalnych. Skuteczna implementacja Dyrektyw wymaga wielu działań, dla których kluczowa jest identyfikacja źródeł zanieczyszczeń powietrza (SA, ang. *Source Apportionment*) oparta o rzetelne i ilościowe informacje. Ponadto, metody SA stosowane są w zakresie określania przyczyn występowania przekroczeń wartości dopuszczalnych, niezbędnych działań naprawczych w strefach, w których zostały przekroczone standardy jakości powietrza, a także w trakcie ustalania lokalizacji stacji pomiarowych zarówno regionalnych, jak i tła miejskiego.



W celu określenia udziałów poszczególnych typów źródeł w obserwowanych stężeniach pyłu atmosferycznego aktualnie stosowane są dwa podejścia SA (Belis i in., 2020 [1.4]):

- tzw. **bottom-up**, z wykorzystaniem modeli bazujących na źródłach emisji (modeli dyspersji, rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń powietrza)
- tzw. **top-down**, z wykorzystaniem modeli zorientowanych na receptor (modeli receptorowych, ang. *Receptor Model*, RM).

W podejściu bottom-up, modele rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu za punkt wyjścia przyjmują emisję zanieczyszczeń ze źródeł, śledząc ich drogę – wraz ze wszystkimi procesami fizycznymi i chemicznymi, którym podlegają w atmosferze – od emitora do receptora. Współczesne modele dyspersji mają bardzo skomplikowaną budowę, wymagają ogromnej liczby danych wejściowych (emisyjnych, meteorologicznych, o ukształtowaniu i wykorzystaniu terenu) oraz potężnych mocy obliczeniowych komputerów. Matematyczny opis fizyki i chemii atmosfery jest uproszczeniem, zatem wyniki modeli są zawsze obciążone błędami wynikającymi z przyjętych założeń. Równocześnie, wszystkie dane wejściowe obciążone są pewnymi błędami, z których największy wpływ na dokładność wyników symulacji ma niepewność w szacowaniu emisji zanieczyszczeń. Przygotowanie bazy danych emisyjnych narzuca bowiem konieczność przeprowadzenia szczegółowej inwentaryzacji źródeł emisji, obejmującej charakterystykę ich parametrów, lokalizację (współrzędne geograficzne źródeł), wielkość emisji oraz jej zmienność czasową (miesięczną, dzienną, godzinową). Należy podkreślić, że zwłaszcza modelowanie stężeń zanieczyszczeń pyłowych stanowi trudne wyzwanie, przede wszystkim ze względu ich złożoną charakterystykę fizykochemiczną, różnorodność źródeł emisji zarówno naturalnych, jak i antropogenicznych, a także liczne przemiany, którym pyły podlegają w atmosferze. W Polsce najważniejszym źródłem emisji PM jest spalanie paliw w sektorze komunalno-bytowym, odpowiadające za ok. 70% emisji PM<sub>10</sub> oraz ok. 75% emisji PM<sub>2.5</sub> (KOBiZE, 2023). Jest to szczególnie istotny problem, ze względu na fakt, że emisja ze źródeł powierzchniowych, do których zaliczany jest sektor komunalno-bytowy, jest obliczana na podstawie danych dotyczących wielkości powierzchni ogrzewanej na rozpatrywanym obszarze i stosowanych paliw, a także odpowiednich wskaźników emisji. Brak dobrej jakości danych prowadzi do niedoszacowania emisji pyłu, a w konsekwencji również i jego stężeń, co ma miejsce w Polsce.

Określenie udziału pojedynczego źródła i/lub grupy źródeł emisji w oszacowanych przez modele dyspersji stężeniach zanieczyszczeń powietrza wymaga zaimplementowania dodatkowego narzędzia (modułu) SA. Moduł SA oblicza stężenia pierwotnych i wtórnych składników pyłu, a także ich prekursorów, pochodzących z określonych wcześniej przez użytkownika kategorii źródeł i/lub obszarów źródłowych. W trakcie obliczeń analizowane są przebiegi przemian chemicznych oraz interakcje pomiędzy poszczególnymi grupami źródeł, a także rozprzestrzenianie się pyłu pierwotnego (np. Belis i in., 2020 [1.4]). Niektóre modele dyspersji mają również opracowane wersje rozszerzone (w literaturze anglojęzycznej nazywane *adjoint*) wykorzystujące do identyfikacji źródeł zanieczyszczeń powietrza tzw. modelowanie odwrotne (ang. *inverse modelling*). W podejściu tym wyniki modelu dyspersji są łączone z asymilacją danych pomiarowych, analizą wrażliwości oraz metodami optymalizacji w celu określenia, w jaki sposób w danym punkcie siatki obliczeniowej zmiany emisji z danego źródła



lub obszaru źródłowego wpływają na zmiany stężeń zanieczyszczeń powietrza lub danych zagregowanych, jak np. liczba przekroczeń poziomu dopuszczalnego (np. Brasseur i Jacob, 2017).

W podejściu top-down, modele receptorowe określają udział poszczególnych źródeł zanieczyszczeń powietrza przy wykorzystaniu wielowymiarowej analizy statystycznej. Nie wymagają one przy tym potężnych mocy obliczeniowych komputerów, a także są niezależne od jakości inwentaryzacji źródeł emisji, danych meteorologicznych czy danych topograficznych. Podstawą obliczeń w modelach RM są pomiary stężeń zanieczyszczeń powietrza, powszechnie uznawane za obarczone najmniejszym błędem oszacowanie rzeczywistego stanu atmosfery. Rozwijane od początku lat 60. XX wieku modele RM rozwiązują równanie bilansu masy (1), które zakłada, że stężenie zanieczyszczenia w danym punkcie (receptorze) zależy od jego stężenia w źródle emisji oraz udziału tego źródła w stężeniach zanieczyszczenia zmierzonych w tym receptorze (Belis i in., 2020 [14]):

$$\mathbf{X} = \mathbf{G} \cdot \mathbf{F} + \mathbf{E} \quad (1)$$

gdzie:  $\mathbf{X}$  to macierz o wymiarach  $n \times m$ , zawierająca pomiary stężeń  $m$  zanieczyszczeń powietrza w  $n$  próbkach,  $\mathbf{G}$  to macierz o wymiarach  $n \times p$ , której kolumny przedstawiają udział źródeł  $p$ ,  $\mathbf{F}$  to macierz o wymiarach  $p \times m$ , zawierająca profile  $p$  źródeł, zaś  $\mathbf{E}$  to macierz resztkowa (część niewyjaśniona przez model).

Liczba istniejących modeli receptorowych jest stosunkowo duża – od prostych technik eksploracyjnych, opartych na empirycznych współczynnikach oraz podstawowych obliczeniach matematycznych i założeniach fizycznych, do rozbudowanych modeli opartych na wielowymiarowej analizie wielu danych pomiarowych jednocześnie, wymagających zazwyczaj dodatkowego przetwarzania danych wejściowych i wyjściowych. Każda z technik RM wymaga również od użytkownika innego poziomu wiedzy na temat źródeł emisji zanieczyszczeń na danym terenie – od stosunkowo niewielkiego zakresu wiedzy aż do pełnej znajomości liczby źródeł na danym terenie oraz profilu emisji każdego z nich (Belis i in., 2013; Hopke i in., 2020).

Aktualnie modele receptorowe są powszechnie wykorzystywane na całym świecie do identyfikacji źródeł pyłów, przede wszystkim  $\text{PM}_{10}$  i  $\text{PM}_{2.5}$  (np. Belis i in., 2013; Hopke i in., 2020). Do połowy pierwszej dekady XXI w. najczęściej stosowanymi modelami RM były modele niewymagające pełnej wiedzy o źródłach pyłów – analiza składowych głównych (PCA, ang. *Principal Component Analysis*) oraz tzw. podejście Lenschowa (Fragkou i in., 2012). W ostatnich latach szerokie zastosowanie znalazły bardziej zaawansowane i złożone metody, takie jak dodatnia faktoryzacja macierzy (PMF, ang. *Positive Matrix Factorization*) oraz model bilansu masy chemicznej (CMB, ang. *Chemical Mass Balance*) (Hopke i in., 2020). Analizy te są często uzupełniane przez wykorzystanie RM opartych na analizie prędkości i kierunku wiatru mierzonych w punkcie receptorowym, a także analizie trajektorii wstecznych mas powietrza obliczonych za pomocą modelu Lagrange’a (np. Belis i in., 2013).

Wszystkie modele RM wymagają danych wejściowych dotyczących stężeń masowych pyłu oraz jego składników, najczęściej są to stężenia jonów SIA, materii węglowej: EC i OC,



pierwiastków śladowych i markerów organicznych, jak np. lewoglukoza, a także LZO i wielopierścieniowych węglowodórów aromatycznych (WWA). Źródła pochodzenia pyłu są identyfikowane na podstawie specyficznych markerów – składników PM, które są emitowane z określonych procesów lub źródeł. Dla przykładu, powszechnie znanymi markerami emisji z transportu drogowego są EC, a także pierwiastki śladowe Fe, Ba, Zn, Cu i Pb. Spalanie biomasy identyfikowane jest głównie na podstawie zawartości K lub lewoglukozy, natomiast emisja z przemysłowych źródeł punktowych – na podstawie zawartości pierwiastków śladowych, takich jak V, Ni, Mn, Co, As, Se. Pył mineralny charakteryzuje się zawartością pierwiastków występujących w skorupie ziemskiej i glebie, jak Al, Si, Ti, Ca i Fe, z kolei sól morską wiąże się z wysokimi stężeniami Na, Cl i Mg, zaś aerozol pochodzący ze źródeł odległych charakteryzowany jest za pomocą zawartości jonów SIA (np. Belis i in., 2013; Banerjee i in., 2015; Hopke i in., 2020). Zdarzają się jednak niejednoznaczności w przypisaniu markerów do jednego konkretnego źródła emisji, jako że niektóre pierwiastki śladowe mogą być charakterystyczne dla kilku źródeł jednocześnie. Przykładem może być wapń, który jest zarówno składnikiem skorupy ziemskiej, jak i jest emitowany z cementowni, a także może pochodzić z prac remontowo-budowlanych czy transportu drogowego – jest składnikiem dodatków do olejów i benzyn (np. Banerjee i in., 2015). Ważnym zagadnieniem badawczym z punktu widzenia polskiej specyfiki emisji pyłów jest trudność w rozróżnieniu źródeł spalania węgla (lub jego substytutów) – źródeł dużej mocy (elektrownie, elektrociepłownie) od instalacji małej mocy (paleniska domowe czy osiedlowe kotłownie). To rozróżnienie stało się jednym z celów prac prowadzonych w naszym zespole badawczym; w kilku pracach udało nam się scharakteryzować odmiennosć tych źródeł (Juda-Rezler i in. (2011) [1.1]; Reizer i Juda-Rezler, 2016 [1.2]; Juda-Rezler i in., 2020 [1.5]).

Stężenia pyłu są rutynowo monitorowane na całym świecie, jednak pomiary często ograniczają się do całkowitych stężeń  $PM_{10}$  i  $PM_{2.5}$ , bez szczegółowej informacji na temat składu chemicznego, co z jednej strony uniemożliwia ocenę wpływu aerozoli atmosferycznych na zdrowie człowieka, z drugiej zaś nie pozwala na ilościowe określenie źródeł odpowiedzialnych za obserwowane w powietrzu poziomy pyłu. Większość badań SA opiera się zatem na dedykowanych kampaniach pomiarowych, w których oprócz stężeń masowych różnych frakcji PM wykonywane są analizy składu chemicznego. W większości przypadków analiza obejmuje oznaczenie około 20-40 pierwiastków głównych i śladowych, jonów nieorganicznych – głównie  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$  i  $NH_4^+$  oraz związków węglowych. Kampanie takie wymagają zaangażowania dużych zespołów badawczych.

W związku z brakiem odpowiednich pomiarów różnych frakcji i składu chemicznego PM, powszechnie wykorzystywane modele receptorowe nie znajdują szerokiego zastosowania w Polsce. W ciągu ostatnich 15 lat identyfikację źródeł zanieczyszczeń pyłowych z wykorzystaniem wielowymiarowych modeli RM przeprowadzono w kraju dla kilku lokalizacji miejskich i pozamiejskich. Najczęściej do identyfikacji źródeł pyłu wykorzystywano analizę PCA i/lub PCA połączoną z wielowymiarową analizą regresji liniowej (PCA-MLRA, ang. *Multivariate Linear Regression Analysis*). Analiza PCA została przeprowadzona dla  $PM_{10}$  obserwowanego na stacji tła regionalnego w Dąbiej Górze (Juda-Rezler i in., 2011 [1.1]), a także dla  $PM_{2.5}$  na stacjach tła miejskiego w Poznaniu i Wrocławiu (Sówka i in., 2019) oraz w Gdyni (Siudek, 2020). Analizy PCA-MLRA zastosowano dla  $PM_{10}$  na stacjach pozamiejskich



w Brzezynie (Zwoździak i in., 2012) i Diablej Górze (Reizer i Juda-Rezler, 2016 [I.2]) oraz na 2 stacjach tła miejskiego w Krakowie (Samek, 2012). Źródła  $PM_{2.5}$  były identyfikowane za pomocą PCA-MLRA na stacjach miejskich we Wrocławiu (Sówka i in., 2012), w Zabrzu i Katowicach (Rogula-Kozłowska i in., 2013), w Warszawie (Majewski i Rogula-Kozłowska, 2016), w Szczecinie i Trzebini (Błaszczak, 2018) oraz na stacjach pozamiejskich w Raciborzu (Rogula-Kozłowska i in., 2016) i Złotym Potoku (Błaszczak, 2018), z kolei źródła  $PM_{10}$  – w Zabrzu (Rogula-Kozłowska i in., 2017) i w Warszawie (Majewski i in., 2018). Bardziej zaawansowane modele RM, tj. CMB i PMF, zastosowano do identyfikacji źródeł pyłu w Krakowie dla  $PM_{10}$  (Junninen i in., 2009) oraz  $PM_{2.5}$  i  $PM_{10}$  (Samek i in., 2018; Samek i in., 2020). Jednak wszystkie powyższe badania zostały przeprowadzone przy użyciu stosunkowo krótkich serii czasowych – od kilku tygodni do kilku miesięcy i/lub ograniczonej liczby badanych składników chemicznych PM. Analiza PMF oparta na pełnej rocznej serii dobowych stężeń pyłu  $PM_{2.5}$  i jego 31 składników (EC, OC, 8 jonów, 21 pierwiastków śladowych) została przeprowadzona po raz pierwszy w Warszawie (Juda-Rezler i in., 2020 [I.5]).

#### 4.1.4. Cel naukowy badań

Celem naukowym prowadzonych przeze mnie badań było poszerzenie wiedzy dotyczącej składu chemicznego i właściwości pyłu atmosferycznego oraz źródeł odpowiedzialnych za jego stężenia, w tym zrozumienie przyczyn, przebiegu i skutków epizodów wysokich stężeń zanieczyszczeń powietrza, a także relacji źródło – receptor, ze szczególnym uwzględnieniem specyfiki polskiej struktury emisji zanieczyszczeń. Realizacji celu głównego służyły cele szczegółowe obejmujące:

- (1) Rozwój metod modelowania receptorowego (publikacje I.1, I.2, I.3, I.4, I.5, I.6);
- (2) Identyfikację źródeł pyłu wpływających na kształtowanie się jego stężeń, w tym w trakcie epizodów smogowych (publikacje I.1, I.2, I.5, I.6);
- (3) Wypełnienie luki w wiedzy na temat rozróżniania w badaniach SA źródeł spalania węgla (lub jego substytutów) – źródeł dużej mocy od instalacji małej mocy (I.1, I.2, I.5, I.6);
- (4) Identyfikację obszarów źródłowych zanieczyszczenia powietrza (publikacje I.1, I.2, I.3, I.5, I.6);
- (5) Analizę składu chemicznego i właściwości aerozolu miejskiego (publikacje I.5, I.6, I.7).

#### 4.1.5. Metody badawcze

##### *Definicja epizodu*

Pomimo znacznej redukcji emisji zanieczyszczeń powietrza, w wielu krajach, w tym także w Polsce, obserwowane są poważne epizody wysokich stężeń zanieczyszczeń powietrza, zwłaszcza pyłu  $PM_{10}$  i  $PM_{2.5}$ . W dziedzinie ochrony atmosfery granica, powyżej której stężenie danego zanieczyszczenia można uznać za epizod, nie jest precyzyjnie określona, a w literaturze istnieją różne sposoby określania wartości progowej dla epizodów. W odniesieniu do pyłów, jako epizody uznawane są najczęściej średniodobowe stężenia przekraczające poziom



dopuszczalny (np. Aarnio i in., 2008). Epizody mogą być również określane subiektywnie, w oparciu o doświadczenia badaczy. Zazwyczaj jako kryterium definiowania epizodu przyjmowane są maksymalne stężenia zanieczyszczeń w analizowanym okresie (np. Bessagnet i in., 2005), wartości progowe określone przez badaczy (np. Niemi i in., 2009), a także poziomy przekraczające wartość określonego percentyla rozkładu statystycznego stężeń, np. stężenia wyższe od wartości 75. percentyla (np. Karaca i in. 2009). Kolejny problem stanowi określenie czasu trwania epizodu. W literaturze, jako epizod zazwyczaj uznawany jest tylko dzień, w którym wystąpiło wysokie stężenie lub ciąg kilku kolejnych dni z wysokimi stężeniami zanieczyszczeń (np. Im i in., 2010).

W związku z tym, że stężenia  $PM_{10}$  znacznie przekraczające średniodobowy poziom dopuszczalny ( $50 \mu g/m^3$ ) są w Polsce zjawiskiem powszechnym, zwłaszcza w okresie zimowym, w publikacjach stanowiących osiągnięcie naukowe jako epizod zdefiniowano średniodobowe stężenie  $PM_{10}$  wynoszące powyżej  $100 \mu g/m^3$  (200% poziomu dopuszczalnego), obserwowane przez co najmniej 3 dni z rzędu (publikacje I.1 i I.2). Dodatkowo, w przypadku stężeń  $PM_{2.5}$  za epizod przyjęto okres, w którym dobowe stężenie  $PM_{2.5}$  przekracza  $35 \mu g/m^3$  oraz przez co najmniej jeden dzień w tym okresie stężenie jest wyższe niż  $50 \mu g/m^3$ . Obie wartości progowe zostały wyznaczone w oparciu o średnioroczny poziom dopuszczalny obowiązujący w UE oraz dobowe wartości AQG dla  $PM_{2.5}$  (oba standardy do 2020 r. wynosiły  $25 \mu g/m^3$ ) i stanowią one odpowiednio 140% oraz 200% tych poziomów (publikacja I.6).

#### *Eksploracyjne techniki modelowania receptorowego*

Techniki eksploracyjne zazwyczaj są wykorzystywane do wstępnej analizy danych lub oszacowania zależności pomiędzy stężeniami mierzonymi na różnych typach stacji pomiarowych, a także do uzupełnienia i/lub potwierdzenia wiedzy dotyczącej poszczególnych składników PM i ich źródeł emisji, dla których dostępna informacja jest ograniczona (np. Belis i in., 2013).

Tzw. **podejście Lenschowa** jest eksploracyjną techniką analizy danych pomiarowych opracowaną przez Lenschowa i in. (2001) przede wszystkim w celu określenia udziału w całkowitym stężeniu  $PM_{10}$  zanieczyszczeń pochodzących z transportu drogowego. Opiera się ona na założeniu, że stężenia zmierzone na stacji typu komunikacyjnego są sumą stężeń PM i/lub ich składników chemicznych rejestrowanych na stacjach tła regionalnego, tła miejskiego oraz na stacji typu komunikacyjnego. Udziały poszczególnych typów źródeł emisji są wyznaczone na podstawie różnic stężeń zmierzonych jednocześnie na wszystkich typach stacji pomiarowych. Stężenia określone na stacji regionalnej reprezentują transport zanieczyszczeń spoza danego regionu, natomiast różnice stężeń na stacji tła miejskiego i regionalnego oraz na stacji komunikacyjnej i tła miejskiego wyznaczają odpowiednio udział emisji ze źródeł zlokalizowanych w danym mieście oraz lokalny charakter źródeł emisji (w tym przypadku transport drogowy).

Analiza **współczynników wzbogacenia (EF)** składników pyłu zawieszonego jest metodą SA stosowaną od połowy lat 70. XX wieku do określenia pochodzenia pierwiastków. Współczynnik EF obliczany jest na podstawie zawartości badanego pierwiastka i pierwiastka referencyjnego w pyłce oraz w skorupie ziemskiej, według wzoru (2) (np. Belis i in., 2013):



$$EF = \frac{X_{PM} / R_{PM}}{X_{crust} / R_{crust}} \quad (2)$$

gdzie:  $X_{PM}$  oraz  $X_{crust}$  oznaczają stężenie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] badanego pierwiastka, odpowiednio w próbce pyłu oraz w skorupie ziemskiej, natomiast  $R_{PM}$  oraz  $R_{crust}$  – stężenie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] pierwiastka referencyjnego, odpowiednio w próbce pyłu oraz w skorupie ziemskiej.

Jako pierwiastki referencyjne najczęściej w badaniach wykorzystywane są Al, Fe i Si (np. Belis i in., 2013). Do określenia składu chemicznego górnej warstwy skorupy ziemskiej najczęściej stosowane są profile pierwiastków wyznaczone przez Wedepohla (1995) oraz McLennana (2001). Na podstawie współczynnika EF wyznaczane są kategorie źródeł pochodzenia pierwiastków: (1)  $EF < 10$  wskazuje na naturalne pochodzenie pierwiastka; (2)  $10 < EF < 100$  wskazuje na mieszané pochodzenie pierwiastków z udziałem zarówno antropogenicznych, jak i naturalnych źródeł; (3)  $EF > 100$  świadczy o antropogenicznym pochodzeniu danego pierwiastka.

#### *Wielowymiarowe metody modelowania receptorowego*

Wielowymiarowe metody modelowania receptorowego wykorzystywane są do jakościowej i/lub ilościowej identyfikacji źródeł zanieczyszczeń powietrza, zwłaszcza pyłów, w przypadku kiedy liczba i charakter źródeł emisji na analizowanym obszarze nie są znane (np. Hopke i in., 2020). Metody te nie posiadają tylko jednego, definitywnego rozwiązania. Ich wykorzystanie, zwłaszcza modelu PMF, pozwala na uzyskanie różnych wariantów rozwiązań, spośród których należy wskazać rozwiązanie stabilne i jednocześnie umożliwiające fizyczną interpretację otrzymanych wyników.

**Analiza składowych głównych (PCA)** jest metodą analizy czynnikowej pozwalającą na redukcję liczby zmiennych, w której równanie bilansu masy (1) rozwiązywane jest z wykorzystaniem analizy wektorów własnych macierzy. Celem analizy PCA jest ortogonalne przekształcenie wielowymiarowego zbioru skorelowanych zmiennych w zbiór nieobserwowalnych, nieskorelowanych zmiennych (składowych głównych – PC, ang. *Principal Component*), będących liniową kombinacją zmiennych początkowych. W analizie PCA, pierwsza składowa główna jest wyodrębniana w taki sposób, aby wyjaśniała możliwie największą część wariancji danych wejściowych. Każda kolejna składowa PC jest definiowana tak, aby nie była skorelowana z poprzednią oraz wyjaśniała jak najwięcej zmienności niewyjaśnionej przez poprzednie składowe. PCA nie zakłada redukcji badanych zmiennych – w jej wyniku otrzymujemy tyle składowych głównych, ile było zmiennych wejściowych, a całkowita wariancja obserwowalnych zmiennych jest równa sumie wariancji składowych głównych. Zazwyczaj jednak już kilka pierwszych składowych wyjaśnia prawie całą zmienność oryginalnych danych. Najczęściej stosowanym w analizie PCA algorytmem określania kąta o jaki należy dokonać obrotu osi czynnikowych jest rotacja Varimax, polegająca na maksymalizacji wariancji surowych ładunków czynnikowych zmiennych dla każdego czynnika, czyli maksymalizacji wariancji w kolumnach macierzy surowych ładunków (Aczel, 2000).

Głównym problemem spotykanym w analizie PCA jest wybór liczby składowych głównych do dalszej analizy. Najczęściej decyzję taką podejmuje się w oparciu o kryterium



Kaisera, polegające na wyborze do dalszej analizy tylko tych składowych PC, których wartości własne są większe od 1. Często stosowane jest również kryterium Cattella (wykres osypiska), w którym liczba składowych wybieranych do analizy wybierana jest na podstawie wykresu liniowego wartości własnych składowych PC (Aczel, 2000).

Kolejnym problemem, a zarazem najbardziej krytycznym etapem analizy PCA, jest interpretacja poszczególnych składowych głównych oraz przypisanie ich do potencjalnych źródeł pyłów. W przeciwieństwie do pozostałych metod analizy czynnikowej, PCA nie uwzględnia analizy niepewności danych wejściowych, co powoduje, że są one włączane do poszczególnych składowych. Ponadto, profile emisji wielu źródeł są współliniowe, co prowadzi do tego, iż podstawowe założenie PCA o ortogonalności kolejnych składowych nie odzwierciedla struktury rzeczywistych danych pomiarowych. W rezultacie, kilka współliniowych źródeł emisji może zostać przypisanych do jednej składowej lub jedno źródło przydzielone do wielu składowych głównych (np. Belis i in., 2013).

W związku z tym, że analiza PCA pozwala jedynie na jakościową identyfikację źródeł zanieczyszczeń powietrza, często jest łączona z wielowymiarową analizą regresji MLRA, zgodnie z metodyką zaproponowaną przez Thurstona i Spenglera (1985). W metodzie tej stężenia pyłu zawieszonego zmierzone w receptorze traktowane są jako zmienna zależna, natomiast wartości czynnikowe wyznaczone w analizie PCA dla każdej obserwacji w obrębie każdej składowej głównej PC – jako zmienne niezależne. Pozwala to na ilościowe określenie stężeń zidentyfikowanych źródeł i ich udziałów w stężeniu PM.

**Dodatnia faktoryzacja macierzy (PMF)**, zaproponowana przez Paatero i Tappera (1994), jest wielowymiarowym modelem analizy czynnikowej, pozwalającym na oszacowanie profili źródeł pyłu oraz ich udziału w całkowitym stężeniu PM. Rozwiązanie uzyskiwane jest ważoną metodą najmniejszych kwadratów, przy założeniu nieujemności udziału źródeł uzyskiwanych w procesie optymalizacji. Obliczenia wykonywane są na podstawie stężeń poszczególnych składników chemicznych pyłu, które są wazowane ich oszacowaną niepewnością pomiarową. Równanie bilansu masy (1) jest rozwiązywane w PMF poprzez minimalizację funkcji celu  $Q$ , zgodnie z Równaniem (3):

$$Q = \left\| \frac{(X - GF)}{\sigma} \right\|_F^2 \quad (3)$$

gdzie:  $\sigma$  – macierz niepewności danych pomiarowych.

Równanie (3) jest rozwiązywane iteracyjnie, do momentu, gdy różnica wartości funkcji  $Q$  pomiędzy kolejnymi iteracjami jest mniejsza od wyznaczonego progu tolerancji. W celu uzyskania optymalnego rozwiązania proces ten jest powtarzany kilkakrotnie z wykorzystaniem różnych wartości początkowych elementów macierzy  $G$  i  $F$ .

Model PMF jest darmowym oprogramowaniem zalecanym przez Amerykańską Agencję ds. Ochrony Środowiska (US EPA, ang. *U.S. Environmental Protection Agency*) do zarządzania jakością powietrza. W aktualnej wersji EPA PMF 5.0 zastosowano szybki algorytm jednoczesnego wyznaczania macierzy  $G$  i  $F$ , oraz szereg narzędzi umożliwiających wstępną analizę danych pomiarowych, wykrywanie wartości odstających, a także uzupełnianie braków



danych. Wszystkie te cechy modelu PMF sprawiają, że zdobywa on coraz większą popularność wśród badaczy na całym świecie, stając się obecnie najczęściej wykorzystywanym narzędziem do identyfikacji źródeł pyłów, LZO i aerozoli organicznych (Hopke i in., 2020).

W związku z tym, że model PMF wymaga pełnej kompletności danych wejściowych, ważnym etapem jest analiza i przygotowanie danych do modelowania. Serie pomiarowe stężeń bardzo często są niekompletne lub stężenia składników PM są bardzo niskie – poniżej granicy oznaczalności (LOQ, ang. *Limit of quantification*). Wartość stężeń LOQ zazwyczaj jest zwiększana do połowy LOQ, natomiast brakujące dane są uzupełniane wartością oszacowaną na podstawie istniejących danych pomiarowych, najczęściej jest to średnia, średnia geometryczna lub mediana. W obu przypadkach niepewności dla tych danych wejściowych są zwiększane (Polissar i in., 1998). W związku z tym, że stężenia składników PM są ważone niepewnościami, ich oszacowanie jest szczególnie istotne. Niepewności pomiarowe są najczęściej obliczane na podstawie zmierzonych stężeń, progu wykrywalności, a także pewnych określonych stałych (Belis i in., 2013).

Kolejnym ważnym etapem w procedurze analizy danych wejściowych jest ocena danych według kryterium sygnału do szumu (S/N, ang. *Signal-to-Noise*), zaproponowanym przez Paatero i Hopke (2003). Zgodnie z tym kryterium, zmienne wejściowe zawierające znaczące informacje (sygnał) są oddzielane od tych, które są zdominowane przez niepożądane informacje (szum). Składniki PM o  $S/N < 0.2$  są usuwane z dalszej analizy, składniki o  $S/N$  pomiędzy 0.2 i 2 są włączane do analizy, ale ich niepewności są zwiększane, natomiast składniki o  $S/N > 2$  są wykorzystywane w PMF w niezminionej formie (Paatero i Hopke, 2003).

#### *Analiza trajektorii wstecznych mas powietrza i lokalnych danych dotyczących wiatru*

**Analiza trajektorii wstecznych mas powietrza** wykorzystywana jest zazwyczaj jako uzupełnienie i/lub potwierdzenie wyników wielowymiarowych technik identyfikacji źródeł pyłów, zwłaszcza transportu zanieczyszczeń powietrza z dalekich odległości. W celu określenia prawdopodobnych obszarów źródłowych zanieczyszczenia powietrza zastosowanie znajduje zarówno **analiza pojedynczych trajektorii wstecznych** obliczonych dla określonych dni, jak i zaawansowane analizy oparte na analizie statystycznej trajektorii: **analiza skupień** oraz **model trajektorii ważonych średnimi stężeniami zanieczyszczeń powietrza** (CWT, ang. *Concentration Weighted Trajectory*).

Zmiany stężeń zanieczyszczeń powietrza rejestrowanych w punktach pomiarowych w dłuższych okresach związane są z sezonową i/lub roczną zmiennością aktywności źródeł emisji, natomiast w skali czasowej rzędu dni lub krótszej zmienność stężeń zanieczyszczeń powietrza ma ścisły związek z historią przemieszczania się mas powietrza bezpośrednio przed dotarciem do punktu pomiarowego (Cape i in., 2000). Najczęściej do określenia źródła pochodzenia cząstki powietrza wykorzystywane są trajektorie wsteczne generowane przez model Lagrange'a. Powszechnie stosowanym modelem trajektorii jest model HYSPI.IT – Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory (Stein i in., 2015), opracowany na początku lat 80. XX wieku we współpracy pomiędzy Amerykańską Narodową Służbą Oceaniczną i Meteorologiczną (NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration) i Australijskim Biurem Meteorologicznym.



**Analiza skupień** jest wielowymiarową techniką statystyczną pozwalającą na wykrycie struktur w zbiorze danych bez wyjaśniania dlaczego one występują. Jest to skuteczna metoda organizowania dużych zbiorów danych w mniejsze, jednorodne grupy (klastry) w taki sposób, aby stopień powiązania obiektów z obiektami należącymi do tej samej grupy był jak największy, a z obiektami z pozostałych grup jak najmniejszy. W dziedzinie ochrony atmosfery analiza skupień jest powszechnie stosowana do grupowania trajektorii wstecznych mas powietrza, co pozwala na uzyskanie informacji na temat zanieczyszczeń powietrza o podobnej „historii chemicznej” (np. Hopke i in. 2020).

Istnieje wiele metod formowania skupień, spośród których najczęściej stosowany jest niehierarchiczny algorytm grupowania metodą  $k$ -średnich. Jest to iteracyjny algorytm polegający na wstępnym podzieleniu zbioru danych na z góry założoną liczbę  $k$  skupień (klastrów), a następnie uzyskany podział jest poprawiany poprzez porównanie obiektów ze środkiem skupienia (centroidem) i przenoszenie ich do innych klas, tak, aby minimalizować zmienność wewnątrz skupień i maksymalizować zmienność pomiędzy skupieniami. Jako zmienne wejściowe w algorytmie grupowania wykorzystywane są współrzędne szerokości i długości geograficznej punktów trajektorii wstecznych mas powietrza. Podobieństwo między dwiema trajektoriami określane jest na podstawie długości ortodromy (ang. *great-circle distance*), czyli najkrótszej drogi pomiędzy dwoma punktami na powierzchni kuli biegnącej po jej powierzchni (Sinnott, 1984):

$$D_i = 2R \sin^{-1} \left( \left[ \sin^2 \left( \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2} \right) + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \sin^2 \left( \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{2} \right) \right]^{1/2} \right) \quad (4)$$

gdzie:  $D_i$  – odległość między dwoma punktami (km);  $\varphi_1, \varphi_2$  – szerokość geograficzna punktów (rad);  $\lambda_1, \lambda_2$  – długość geograficzna punktów (rad);  $R$  – promień Ziemi = 6 367.45 (km).

Wybór optymalnej liczby klastrów, przeprowadza się obliczając procentową zmianę odległości średniokwadratowych (RMSD, ang. *Root Mean Square Deviation*) trajektorii względem centroidów klastrów, zachowując liczbę klastrów, dla której uzyskano najmniejszą zmianę RMSD. Następnie, do wyznaczonych klastrów przypisywane są stężenia zanieczyszczeń powietrza (np. Fleming i in., 2012).

W modelu CWT stężenia zanieczyszczeń powietrza są wiązane z trajektoriami przechodzącymi przez daną komórkę siatki obliczeniowej  $i, j$ .  $CWT_{ij}$  jest definiowane jako średnie stężenie zanieczyszczenia powietrza w punkcie pomiarowym (receptorze) ważone frakcją czasu spędzonego przez odpowiadającą trajektorię w komórce siatki obliczeniowej  $i, j$  w odniesieniu do całkowitego czasu, który wszystkie trajektorie spędzają w tej komórce, zgodnie z równaniem (5) (Stohl, 1996). W praktyce, czas przebywania ( $\tau$ , ang. *residence time*) nad określoną komórką siatki obliczeniowej otrzymywany jest poprzez zliczenie punktów trajektorii, które przechodzą nad daną komórką  $i, j$ .

$$CWT_{ij} = \frac{\sum_{l=1}^L C_l \tau_{l,j}}{\sum_{l=1}^L \tau_{l,j}} \quad (5)$$

gdzie:  $C_l$  – stężenie zanieczyszczenia powietrza zmierzone w receptorze, kiedy trajektoria  $l$  dociera do tego receptora;  $\tau_{l,j}$  – liczba punktów trajektorii w komórce siatki obliczeniowej  $i, j$

związanych ze stężeniem  $C_i$ ;  $L$  – całkowita liczba punktów trajektorii w komórce siatki obliczeniowej  $i, j$ .

Uzyskane w ten sposób wartości CWT w każdej komórce siatki obliczeniowej reprezentują wartość stężeń, których można oczekiwać w receptorze. Wysokie stężenia zanieczyszczeń powietrza w komórce siatki obliczeniowej wskazują, że masa powietrza przechodząca przez tę komórkę może być związana z wysokimi stężeniami danego zanieczyszczenia obserwowanymi w receptorze. W celu uniknięcia sytuacji, w której np. jedna trajektoria związana z bardzo wysokim stężeniem zanieczyszczenia powietrza powoduje „fałszywe” uznanie danej komórki za obszar źródłowy zanieczyszczenia, do wartości CWT stosowane są odpowiednie wagi w zależności od liczby trajektorii przechodzących przez daną komórkę obliczeniową (np. Lupu i Maenhaut, 2002).

**Funkcja prawdopodobieństwa warunkowego (CPF, ang. Conditional Probability Function)** jest techniką stosowaną do identyfikacji lokalnych i regionalnych źródeł wpływających na stężenia zanieczyszczeń powietrza w danym punkcie pomiarowym. CPF, na podstawie zależności pomiędzy prędkością i kierunkiem wiatru, oblicza prawdopodobieństwo, że stężenie zanieczyszczenia powietrza jest większe od założonej wartości progowej, zgodnie z równaniem (6) (Uria-Tellaetxe i Carslaw, 2014):

$$CPF_{\Delta\theta} = \frac{m_{\Delta\theta} | C_{\Delta x}}{n_{\Delta\theta}} \quad (6)$$

gdzie:  $m_{\Delta\theta}$  – liczba przypadków w sektorze wiatru  $\theta$  ze stężeniem zanieczyszczenia powietrza  $C$  większym lub równym wartości progowej  $x$ ;  $n_{\Delta\theta}$  – całkowita liczba przypadków w sektorze wiatru  $\theta$ .

Wartość progową stężenia zanieczyszczania powietrza zwykle ustala się na stosunkowo wysoką wartość, np. jako wysoki percentyl rozkładu stężeń (np. 90. percentyl). Źródła zanieczyszczenia powietrza będą prawdopodobnie zlokalizowane w kierunkach charakteryzujących się wysokimi wartościami prawdopodobieństwa warunkowego CPF. Wyniki analizy CPF są ilustrowane w postaci dwuwymiarowego wykresu polarnego.

#### 4.1.6. Uzyskane wyniki i ich znaczenie

##### Publikacja I.1

Juda-Rezler K.<sup>✉</sup>, Reizer M., Oudinet J.-P., 2011. Determination and analysis of  $PM_{10}$  source apportionment during episodes of air pollution in Central Eastern European urban areas: The case of wintertime 2006. *Atmospheric Environment*, 45 (36), 6557-6566.

Celem badań była identyfikacja źródeł ponadnormatywnych stężeń pyłu  $PM_{10}$  obserwowanych w 5 miastach położonych w różnych częściach Polski (Szczecin, Warszawa, Kraków, Zabrze, Jelenia Góra) z wykorzystaniem danych pomiarowych pochodzących z rutynowego monitoringu jakości powietrza. Do analizy wybrano studium przypadku poważnego epizodu smogowego, który wystąpił w Polsce zimą 2006 r. Było to jedno z najpoważniejszych tego typu zjawisk w ostatnich latach. W większości polskich miast,



notowano w tym okresie dobowe stężenia  $PM_{10}$  przekraczające – od kilku do kilkunastu razy – poziom dopuszczalny obowiązujący w UE ( $50 \mu g/m^3$ ), a jednogodzinne stężenia  $PM_{10}$  niejednokrotnie przekraczały  $1\,000 \mu g/m^3$ .

Rutynowy monitoring jakości powietrza w Polsce uwzględnia oznaczenie stężeń jedynie 4 pierwiastków śladowych zawartych w pyłach  $PM_{10}$  (As, Cd, Ni i Pb), co wyklucza możliwość zastosowania większości modeli RM. W związku z tym, w celu identyfikacji źródeł pyłów w trakcie epizodu z 2006 r. niezbędne było zastosowanie kilku komplementarnych metod SA, a mianowicie: dwóch modeli RM – tzw. podejścia Lenschowa oraz analizy składowych głównych PCA, analizy korelacji pomiędzy  $PM_{10}$  a zanieczyszczeniami gazowymi, a także analizy sytuacji synoptycznej i zmienności lokalnych warunków meteorologicznych oraz analizy trajektorii wstecznych mas powietrza.

Analiza PCA została zastosowana dla Stacji Kompleksowego Monitoringu Środowiska Puszcza Borecka w Diablej Górze, należącej do Instytutu Ochrony Środowiska – Państwowego Instytutu Badawczego. Ponieważ jest to stacja oddalona od źródeł emisji, działająca w ramach Europejskiego Programu Monitoringu i Oceny EMEP (*European Monitoring and Evaluation Programme*), została wybrana jako referencyjna stacja tła krajowego. W 2006 roku była to jedyna stacja, dla której dostępny był najszerszy zakres pomiarów, tj. stężenia  $PM_{10}$ , jonów SIA ( $SO_4^{2-}$ ,  $NH_3 + NH_4^+$ ,  $HNO_3 + NO_3^-$ ) i 7 pierwiastków śladowych (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn).

Publikacja powstała w wyniku współpracy Zespołu Ochrony Atmosfery Politechniki Warszawskiej (ZOA PW), którego jestem członkiem, z dr Jean-Paul Oudinet z UMR 8185 CNRS-Université Paris IV Sorbonne. Publikacja nie była finansowana z żadnego projektu badawczego.

### Wyniki i dyskusja

Analiza PCA z rotacją Varimax pozwoliła na wyodrębnienie 3 składowych głównych (PC), wyjaśniających łącznie 84.4% wariancji oryginalnych zmiennych (Tabela 4.1). Składowa PC1, o największej części wyjaśnionej wariancji (51.4%), charakteryzowana była obecnością As, Cd, Cu, Pb, Zn (ładunki czynnikowe od 0.89 do 0.96) oraz w mniejszym stopniu z Ni (ładunek czynnikowy 0.72). Składowa PC2 (21% wariancji) była natomiast związana z jonami SIA, których ładunki czynnikowe wahały się od 0.77 do 0.83, z kolei składowa PC3 (12% wariancji) była reprezentowana jedynie przez Cr o ładunku czynnikowym równym 0.78.

Zgodnie z aktualnym stanem wiedzy jony SIA są powszechnie uznawane za marker transportu zanieczyszczeń z dalekich odległości (LRT, ang. *Long-Range Transport*), a zatem składowa PC2 została zidentyfikowana jako pył pochodzący ze źródeł LRT. As, wspólnie z pozostałymi pierwiastkami (Cd, Cu, Pb, Zn, Ni) uwalnianymi w trakcie procesów wysokotemperaturowych i łatwo transportowanymi na duże odległości, został uznany za marker emisji z regionalnych źródeł przemysłowych (RT, ang. *Regional Transport*). Natomiast Cr ze względu na stosunkowo niską lotność oraz fakt, iż jest zazwyczaj emitowany w większych frakcjach pyłu, może być transportowany na znacznie mniejsze odległości i został uznany za marker emisji z komunalno-bytowych lokalnych źródeł emisji pyłów (LP, ang. *Local*

*Pollution*). W związku z tym, składowe PC1 i PC3 zostały zidentyfikowane odpowiednio jako źródła RT i LP.

**Tabela 4.1.** Analiza składowych głównych PCA na podstawie stężeń składników PM<sub>10</sub> zmierzonych na stacji tła krajowego EMEP Diabla Góra w okresie styczeń – marzec 2006. Źródło: publikacja 1.1.

| Składnik PM <sub>10</sub>                                               | PC1         | PC2         | PC3         |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| As [ng/m <sup>3</sup> ]                                                 | <b>0.89</b> |             |             |
| Cd [ng/m <sup>3</sup> ]                                                 | <b>0.90</b> |             | -0.32       |
| Cr [ng/m <sup>3</sup> ]                                                 | 0.47        |             | <b>0.78</b> |
| Cu [ng/m <sup>3</sup> ]                                                 | <b>0.91</b> |             |             |
| Pb [ng/m <sup>3</sup> ]                                                 | <b>0.96</b> |             |             |
| Ni [ng/m <sup>3</sup> ]                                                 | <b>0.72</b> |             | 0.48        |
| Zn [ng/m <sup>3</sup> ]                                                 | <b>0.96</b> |             |             |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [μg(S)/m <sup>3</sup> ]                   |             | <b>0.77</b> |             |
| NH <sub>3</sub> + NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [μg(N)/m <sup>3</sup> ]  |             | <b>0.83</b> | 0.31        |
| HNO <sub>3</sub> + NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [μg(N)/m <sup>3</sup> ] |             | <b>0.83</b> |             |
| % wyjaśnionej wariancji                                                 | 51.4        | 20.9        | 12.1        |
| Źródło PM                                                               | <b>RT</b>   | <b>LRT</b>  | <b>LP</b>   |

*Ładunki czynnikowe między 0.30 a -0.30 zostały usunięte z tabeli, natomiast ładunki czynnikowe > 0.50 pogrubiono.*

Pozostałe analizy wskazały, że w trakcie epizodu w miastach Polski północnej i centralnej w stężeniach pyłu dominowały źródła RT, natomiast w miastach Polski południowej większy udział wykazały źródła LP. Ponadto, ważne źródło emisji PM<sub>10</sub> w trakcie epizodu we wszystkich miastach stanowiła emisja z sektora transportu drogowego, a w Warszawie, Zabrzu i Jeleniej Górze dodatkowo spalanie węgla w energetycznych i/lub domowych kotłach. Jednocześnie, wystąpienie epizodu związane było z niekorzystną sytuacją synoptyczną (układ wyżowy z centrum nad Syberią) oraz niekorzystnymi lokalnymi warunkami meteorologicznymi (niska temperatura powietrza, niska prędkość wiatru, inwersja termiczna).

Przeprowadzone badania dowiodły, że pomimo braku rutynowych pomiarów stężeń składników PM<sub>10</sub> umożliwiających zastosowanie modeli receptorowych, identyfikacja źródeł pyłu jest możliwa, ale wymaga zastosowania kilku komplementarnych metod SA. Spośród dostępnych danych, na podstawie charakterystyki fizykochemicznej poszczególnych składników PM, możliwe było również wyznaczenie jonów SIA, As i Cr jako markerów charakterystycznych odpowiednio dla źródeł LRT, RT oraz LP.

Publikacja zyskała duże zainteresowanie krajowej i międzynarodowej społeczności naukowej. Do chwili obecnej jest regularnie cytowana, uzyskując łącznie 112 i 130 cytowań, odpowiednio według Web of Science i Scopus.



## Publikacja I.2

**Reizer M.**<sup>✉</sup>, **Juda-Rezler K.**, 2016. *Explaining the high PM<sub>10</sub> concentrations observed in Polish urban areas. Air Quality, Atmosphere and Health*, 9, 517-531.

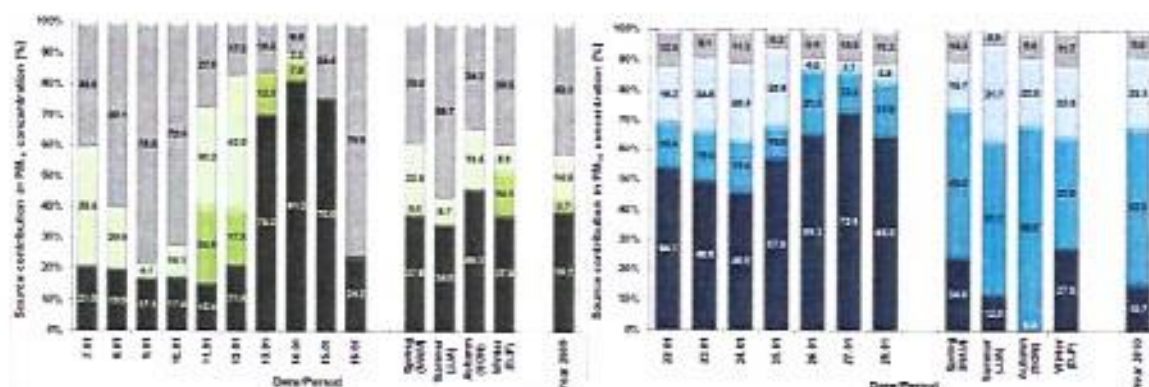
Celem badań była weryfikacja i rozszerzenie metodyki identyfikacji źródeł ponadnormatywnych stężeń pyłu PM<sub>10</sub> opracowanej w publikacji I.1. Zmodyfikowana metodyka została zastosowana do danych pomiarowych pochodzących z rutynowego monitoringu jakości powietrza rejestrowanych w trakcie dwóch epizodów wysokich stężeń zanieczyszczeń powietrza, o odmiennej charakterystyce, które wystąpiły w styczniu 2009 i styczniu 2010 roku. Epizody były obserwowane w 4 miastach położonych w różnych częściach Polski (Warszawa, Kraków, Zabrze, Jelenia Góra). Rozszerzenie analizy PCA o wielowymiarową analizę regresji liniowej MLRA dla stacji tła krajowego EMEP w Diablej Górze pozwoliło na określenie stężeń zidentyfikowanych źródeł i ich udziałów w PM<sub>10</sub>.

Publikacja była finansowana w ramach projektu badawczego NCN (konkurs OPUS-2), pt.: „Identyfikacja źródeł występowania wysokich stężeń pyłów w atmosferze wybranych miast Polski” (Kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Katarzyna Juda-Rezler) (projekt II.9.4 w Załączniku 4).

## Wyniki i dyskusja

Analiza PCA z rotacją Varimax, w przypadku obu epizodów, pozwoliła na wyodrębnienie 3 składowych głównych o zbliżonych profilach do źródeł zidentyfikowanych dla epizodu z 2006 r. Źródła RT (w publikacji nazwane jako LPS, ang. *Large Point Sources*) ponownie skorelowane były z As, Cd, Pb i Zn, a dla zimy 2009 również w mniejszym stopniu z Ni. Źródła LRT, charakteryzowane były przez jony SIA, natomiast bez udziału sumy amoniaku i jonu amonowego zimą 2009 oraz siarczanów zimą 2010. Z kolei trzecia składowa reprezentowana była przez wysokie ładunki czynnikowe Cr i Cu. W publikacji I.1 Cr wyznaczono jako marker emisji ze spalania paliw w sektorze komunalno-bytowym, jednocześnie Cr i Cu mogą pochodzić ze spalania paliw w sektorze transportu, a także ze ścierania opon i hamulców, zatem składową zidentyfikowano jako mieszane źródło lokalnej emisji (LP).

W trakcie analizowanych epizodów największy udział w poziomach PM<sub>10</sub> w dniach z najwyższymi stężeniami miały źródła RT, do 81% i 73%, odpowiednio dla epizodu z 2009 i 2010 roku (Rys. 4.1). Natomiast w początkowej fazie epizodów o jakości powietrza decydowały źródła RT i LP, odpowiednio w 2010 i 2009 roku. Udział źródeł niezidentyfikowanych przez PCA na wczesnych etapach epizodu z 2009 r. sięgał nawet 80%, co mogło być związane z innymi źródłami pyłu, których markery nie są rutynowo mierzone na stacji w Diablej Górze.



**Rysunek 4.1.** Udziały źródeł pyłu PM<sub>10</sub>: RT (kolory ciemne), LRT (kolory pośrednie), zanieczyszczenia lokalne (kolory jasne), źródła niezidentyfikowane (kolory szare), określone w analizie PCA-MURA dla każdego dnia epizodów, wiosny (marzec–maj), lata (czerwiec–sierpień), jesieni (wrzesień–listopad), zimy (grudzień–luty) oraz dla całego roku: 2009 (wykres po lewej) i 2010 (wykres po prawej). Źródło: publikacja 1,2.

Pozostałe analizy wskazały, że w trakcie epizodów w Warszawie, Krakowie i Zabrzu źródła RT odpowiadały za ponad 50% stężeń pyłu, natomiast w Jeleniej Górze większy udział wykazały źródła LP. Jednocześnie, wystąpienie epizodów – podobnie jak w 2006 r. – związane było z niekorzystną sytuacją synoptyczną (cyrkulacja antycyklonalna) oraz niekorzystnymi lokalnymi warunkami meteorologicznymi (niska temperatura powietrza, niska prędkość wiatru, inwersja termiczna), przy czym na epizod z 2009 r. wpływały inne niż w 2006 i 2010 r. układy baryczne z centrum na południe od Polski.

Przeprowadzone badania potwierdziły wnioski z publikacji I.1, udowadniając przydatność zaproponowanej metodyki do identyfikacji źródeł pyłu na podstawie danych pomiarowych z rutynowego monitoringu jakości powietrza. Rozszerzenie metodyki o analizę MLRA pozwoliło również na ocenę udziału zidentyfikowanych źródeł w całkowitym stężeniu  $PM_{10}$ . Wyniki potwierdziły także, że na podstawie ograniczonej liczby danych dotyczących stężeń składników pyłu, możliwe jest rozróżnienie na podstawie zawartości As, Cd, Pb, Zn oraz Cr, odpowiednio spalania węgla w źródłach przemysłowych oraz w kotłach małej mocy. Pionierskie zidentyfikowanie unikalnego markera spalania paliw w instalacjach małej mocy przyczyniło się do lepszego zrozumienia charakterystyki źródeł zanieczyszczeń pyłowych i pozwoliło wypełnić lukę związaną z brakiem kompleksowej wiedzy na temat pochodzenia pyłu.

Publikacja również zyskała duże zainteresowanie krajowej i międzynarodowej społeczności naukowej. Do chwili obecnej jest regularnie cytowana, uzyskując łącznie 77 i 82 cytowania, odpowiednio według Web of Science i Scopus.

### Publikacja L3

**Reizer M.** <sup>✉</sup>, Orza J.A.G., 2018. Identification of PM<sub>10</sub> air pollution origins at a rural background site. *E3S Web of Conferences*, 28. Numer artykułu: 01031. 1-7.

Celem badań było określenie potencjalnych obszarów źródłowych zanieczyszczeń powietrza wpływających na stężenia  $PM_{10}$  rejestrowane na stacji tła krajowego EMEP w Dąbnej Górze w okresie 2006-2015. Dla każdego dnia badanego okresu za pomocą modelu HYSPLIT generowano co 6 godzin (00, 06, 12 i 18 UTC) trajektorie wsteczne, śledzące przemieszczanie się mas powietrza do 96 godzin wstecz. Trajektorie obliczono na wysokości

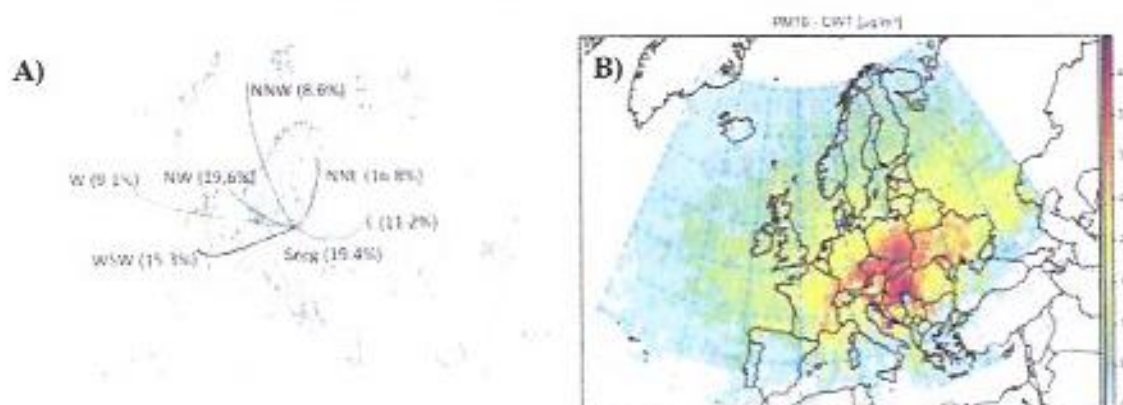


200 m n.p.g., reprezentującej warunki występujące najbliżej powierzchni ziemi. Do wyznaczonych trajektorii zastosowano następnie analizę skupień metodą *k*-średnich oraz analizę CWT, z wykorzystaniem dobowych stężeń  $PM_{10}$  rejestrowanych w całym okresie na stacji w Diablej Górze.

Publikacja powstała w wyniku współpracy z Prof. José Antonio García Orza z Laboratorium Fizyki Statystycznej i Komputerowej (SCOLAb) Uniwersytetu Miguela Hernández w Elche (Hiszpania), była finansowana w ramach grantu dziekańskiego Dziekana Wydziału Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej, którego byłam kierownikiem (projekt II.15.1 w Załączniku 4).

### Wyniki i dyskusja

Analiza skupień pozwoliła na wyodrębnienie 7 klastrów trajektorii dopływających w analizowanym okresie do stacji w Diablej Górze na wysokości 200 m (Rys. 4.2.A). Najliczniejszym typem trajektorii były adwekcje zachodnie – klastry NW, WSW i W (łącznie 44 % przypadków), a następnie północne, obejmujące klastry NNE i NNW (ponad 25 % przypadków). Trzeci typ trajektorii reprezentują krótkie (regionalne) trajektorie, przynoszące masy powietrza znad Górnego Śląska i Małopolski, przez środkową część kraju (klaster Sreg, 19.4 %). Ostatni typ trajektorii obejmuje napływ mas powietrza znad zachodniej Rosji, przez pogranicze białorusko-ukraińskie i wschodnią część Polski (klaster E, 11.2 %). Najwyższe średnie stężenia  $PM_{10}$  były obserwowane w okresie 2006-2015 na stacji pomiarowej w Diablej Górze przy napływie wolno przemieszczających się mas powietrza ze wschodu wzdłuż klastra E ( $26.4 \mu g/m^3$ ) oraz z kierunku południowego wzdłuż klastra Sreg ( $24.9 \mu g/m^3$ ). Zgodnie z testem Kruskala-Wallisa z testem post-hoc Dunna-Sidaka różnica pomiędzy stężeniami  $PM_{10}$  związanymi z tymi klastrami a pozostałymi klastrami była istotna statystycznie. Z kolei najniższe stężenia  $PM_{10}$  ( $10.0 \mu g/m^3$ ) związane były z napływem szybko przemieszczających się mas powietrza z północy (klaster NNW).



**Rysunek 4.2.** A) Centroidy klastrów (w nawiasach podano procent wszystkich trajektorii występujących w każdym klastrze) oraz B) Wartości CWT dla stężeń pyłu  $PM_{10}$  obliczone dla trajektorii wstecznych mas powietrza docierających na wysokości 200 m do stacji w Diablej Górze w okresie 2006-2015. Źródło: publikacja 1.3.

Analiza CWT wykazała, że masy powietrza przynoszące do stacji w Diablej Górze najwyższe stężenia  $PM_{10}$  pochodziły głównie z kierunku południowego (stężenia

przekraczające  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) i wschodniego (stężenia powyżej  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (Rys. 4.2.B). Potencjalne obszary źródłowe najwyższych stężeń pyłu odpowiadają odpowiednio klastrom Sreg i E wyznaczonym w analizie skupień trajektorii, co tym samym potwierdziło wyniki tej analizy.

Przeprowadzone badania pozwoliły na zidentyfikowanie obszarów źródłowych zanieczyszczenia powietrza obserwowanego na stacji tła krajowego, oddalonej od bezpośrednich źródeł emisji, a także charakterystyki transportu zanieczyszczonych mas powietrza docierających do tej stacji. Potencjalnym obszarem źródłowym najwyższych stężeń pyłu była południowa Polska, Czechy, Słowacja, Węgry i kraje Bałkańskie, natomiast nieco niższych stężeń należy spodziewać się przy napływie mas powietrza znad Ukrainy, przez pogranicze białorusko-ukraińskie i wschodnią część Polski.

#### Publikacja I.4

Belis C.A.<sup>✉</sup>, Pernigotti D., Pirovano G., Favez O., Jaffrezo J.L., Kuenen J., Denier van Der Gon H., Reizer M., Riffault V., Alleman L.Y., Almeida M., i in., 2020. Evaluation of receptor and chemical transport models for PM<sub>10</sub> source apportionment. *Atmospheric Environment: X*, 5, ID artykułu: 100053, 1-23.

Artykuł powstał w oparciu o wyniki eksperymentu porównawczego różnych podejść stosowanych do identyfikacji źródeł PM<sub>10</sub> (*European Source Apportionment intercomparison for Receptor and Chemical Transport Models*), organizowanego w ramach grupy roboczej WG3 międzynarodowej inicjatywy FAIRMODE (*Forum for Air quality Modeling*).

Głównym celem badań była ocena jakości wyników i niepewności modeli receptorowych i modeli dyspersji. Było to pierwsze porównanie wyników tych modeli przy użyciu zestawu wskaźników oceny jakości modelu i ustalonych kryteriów akceptowalności wyników. W badaniu wzięło udział 40 grup, przy czym 33 z nich stosowało modele RM, a 7 – modele dyspersji (CTM, ang. *Chemical Transport Models*).

Modelowanie receptorowe przeprowadzono z wykorzystaniem jednolitych danych pomiarowych dotyczących stężeń PM<sub>10</sub> i jego 98 składników ze stacji pomiarowej zlokalizowanej w Lens (Francja). Każdy z uczestników eksperymentu autonomicznie decydował o sposobie przeprowadzenia identyfikacji źródeł PM<sub>10</sub>, w tym o doborze modelu oraz zmiennych wejściowych do modelowania. Wyniki były dostarczane przez poszczególnych uczestników w postaci zestawu zidentyfikowanych źródeł pyłu wraz z oszacowaniem ich stężeń. Modelowanie dyspersji było prowadzone przez uczestników przy użyciu wspólnych danych wejściowych, w tym dotyczących inwentaryzacji emisji, pól meteorologicznych i chemicznych warunków brzegowych. Wyniki były dostarczane przez uczestników dla poszczególnych kategorii źródeł emisji dla 10 punktów pomiarowych jakości powietrza, w tym dla punktu referencyjnego dla modeli RM w Lens. Do dalszych analiz wyniki wszystkich modeli zostały zakodowane. Do oceny działania modeli zastosowano różne wskaźniki i testy, w tym (1) testy uzupełniające dostarczające informacji o wyniku identyfikacji źródeł PM jako całości; (2) testy podobieństwa mające na celu porównanie zidentyfikowanych źródeł ze źródłami referencyjnymi, na podstawie profilu chemicznego i trendów czasowych; oraz



(3) testy jakości modeli oceniające, czy stężenie przypisane do danej kategorii źródła jest spójne z wartością odniesienia, na podstawie wcześniej ustalonych kryteriów.

Publikacja była częściowo finansowana w ramach projektu badawczego NCN (konkurs OPUS-7), pt.: „Identyfikacja różnych typów pyłów atmosferycznych wraz z oceną ich oddziaływań” (Kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Katarzyna Juda-Rezler) (projekt II.9.2 w Załączniku 4).

### *Wyniki i dyskusja*

Najczęściej stosowanym modelem RM był model EPA PMF 5.0 (31 spośród 38 modeli, w tym model ZOA PW), co spowodowało, że uzyskane wyniki były porównywalne. Ogólnie, modele RM wykazały bardzo dobre porównanie z profilami referencyjnymi źródeł PM (91% akceptowalnych wyników), podczas gdy znacznie trudniejsze okazało się odtworzenie przebiegów stężeń wyznaczonych źródeł (72% akceptowalnych wartości RMSE (pierwiastek błędu średniokwadratowego, ang. *Root Mean Square Error*)). Najwięcej problemów sprawiła identyfikacja źródeł przemysłowych, co było związane z dużą zmiennością czasową aktywności tych źródeł. W ramach porównania modeli dyspersji oceniane były modele CAMx, FARM, LOTOS, EURAD i CHIMERE. W przypadku wszystkich modeli CTM stężenia PM<sub>10</sub> charakteryzowały się niedoszacowaniem w porównaniu z wartościami pomiarowymi, szczególnie podczas epizodów wysokich stężeń zanieczyszczeń powietrza. Dodatkowo w większości przypadków odtworzone przez modele CTM stężenia PM<sub>10</sub> były niższe od średnich stężeń oszacowanych przez modele RM. Krzyżowa walidacja wyników modeli RM i CTM wskazała porównywalne wyniki odwzorowania referencyjnych profili źródeł PM (83% akceptowalnych wyników), natomiast zmienność czasowa była odtworzona w znacznie mniejszym stopniu (akceptowalne RMSE w zakresie 25-34%). Oba modele SA najlepiej odwzorowały stężenia i profile źródeł „transport drogowy/spaliny” i „przemysł”, natomiast najhardziej krytyczne okazały się źródła związane z pyłem glebowym i pyłem drogowym, co w przypadku modeli CTM związane było przede wszystkim z jakością inwentaryzacji emisji.

Przeprowadzone badania pozwoliły zrozumieć wpływ zastosowania różnych typów modeli na uzyskiwane wyniki identyfikacji źródeł pyłu, przyczyniając się do lepszej interpretacji tych wyników, a także wskazując luki w dotychczasowej wiedzy. Doświadczenia zdobyte podczas eksperymentu były podstawą opracowania pierwszego dokumentu normatywnego dotyczącego oceny modeli SA (CEN/TS 17458:2020).

Publikacja zyskała duże zainteresowanie krajowej i międzynarodowej społeczności naukowej. Do chwili obecnej jest regularnie cytowana, uzyskując łącznie 59 i 63 cytowania, odpowiednio według Web of Science i Scopus.

## Publikacja I.5

Juda-Rezler K. <sup>1,2</sup>, Reizer M., Maciejewska K., Błaszczak B., Klejnowski K., 2020. *Characterization of atmospheric PM<sub>2.5</sub> sources at a Central European urban background site. Science of the Total Environment*, 713. ID artykułu: 136729.

Publikacja powstała w ramach projektu badawczego NCN (konkurs OPUS-7), pt.: „Identyfikacja różnych typów pyłów atmosferycznych wraz z oceną ich oddziaływań” (Kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Katarzyna Juda-Rezler) (projekt II.9.2 w Załączniku 4). W projekcie przeprowadzono pierwszą w Polsce, ciągłą, długoterminową (21.12.2015 – 13.03.2017) kampanię pomiarową dobowych stężeń pyłu PM<sub>2.5</sub> i jego 31 składników (aniony, kationy, OC, EC, 21 pierwiastków śladowych). Pomiary były prowadzone w Warszawie, w lokalizacji reprezentatywnej dla obszaru tła miejskiego, we współpracy z Instytutem Podstaw Inżynierii Środowiska PAN w Zabrze.

Celem badań przedstawionych w publikacji była ocena „natury” i zmienności sezonowej PM<sub>2.5</sub> i jego składników, a także identyfikacja źródeł determinujących poziomy pyłu w mieście. Analizy przeprowadzono dla pełnego roku kalendarzowego (2016). Tak szeroki zakres pomiarowy składu chemicznego pyłu umożliwił wykorzystanie szeregu metod badawczych, w tym modelu PMF, po raz pierwszy w Polsce zastosowanego do rocznej serii pomiarowej dobowych stężeń składników pyłu.

## Wyniki i dyskusja

Średnioroczne stężenie pyłu PM<sub>2.5</sub> w Warszawie wynosiło 18.8 µg/m<sup>3</sup>, a maksymalne stężenia dobowe, przekraczające 80 µg/m<sup>3</sup>, odnotowano w styczniu podczas jednego z epizodów smogowych. Największy udział w składzie pyłu miały OC i jony SIA, stanowiące w obu przypadkach około 30% masy PM<sub>2.5</sub>. Stwierdzono obecność relatywnie dużych ilości jonu NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (13% PM<sub>2.5</sub>), występującego głównie w formie siarczanu amonu. Dodatkowo, zanieczyszczenia wtórne (SOC – wtórny węgiel organiczny, ang. *Secondary Organic Carbon* oraz SIA) stanowiły łącznie średnio 45% masy PM<sub>2.5</sub>, co sugeruje duży wpływ regionalnego i dalekiego transportu zanieczyszczeń na stężenia pyłu obserwowane w mieście, potwierdzając wnioski z publikacji I.1 i I.2.

Model PMF pozwolił na zrekonstruowanie około 80% średniorocznego stężenia PM<sub>2.5</sub>. Zidentyfikowano 6 źródeł pyłu, których profile przedstawiono w Tabeli 4.2, a średnioroczne i sezonowe stężenia i udziały w PM<sub>2.5</sub> na Rys. 4.3.

Źródłem o dominującym udziale (46%) w średniorocznym stężeniu PM<sub>2.5</sub> było spalanie paliw stałych w sektorze komunalno-bytowym. Duża zawartość jonów SIA oraz POC i SOC świadczy o tym, że był to zarówno pył „świeży” (ang. *fresh aerosol*) pochodzący z obszaru dzielnic niepodłączonych do miejskiej sieci ciepłowniczej, jak i aerozol „przetworzony” (ang. *aged aerosol*) transportowany ze źródeł poza obszarem miasta. Drugim źródłem wpływającym w największym stopniu na stężenia PM<sub>2.5</sub> był sektor transportu drogowego (łącznie ok. 31%), związany zarówno z emisją zanieczyszczeń ze spalania paliw w tym

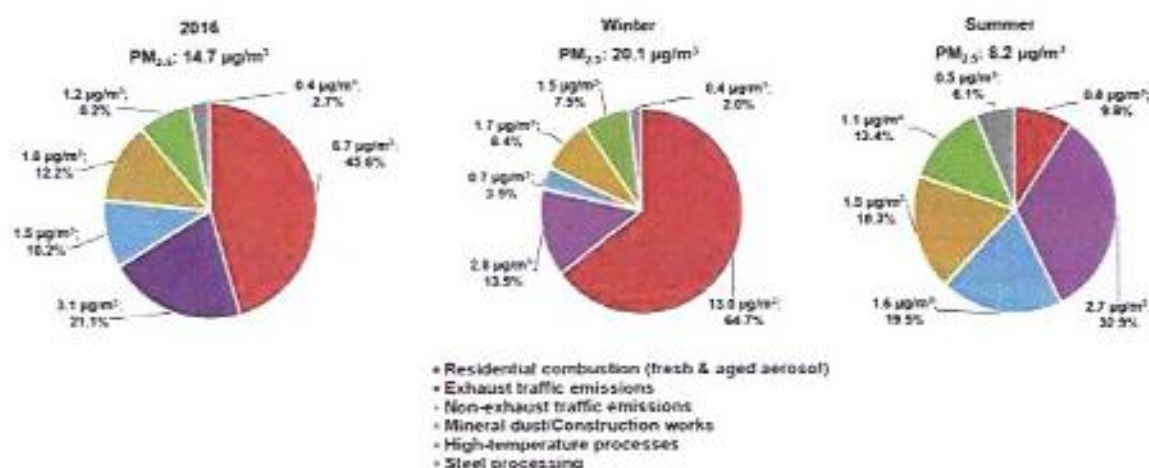


sektorze, a także ze ścieraniem powierzchni dróg, opon i okładzin hamulcowych. Udział pozostałych źródeł w obu frakcjach nie przekroczył 15%.

Tabela 4.2. Główne składniki i udziały źródeł  $PM_{2.5}$  zidentyfikowanych za pomocą modelu PMF w 2016 r.

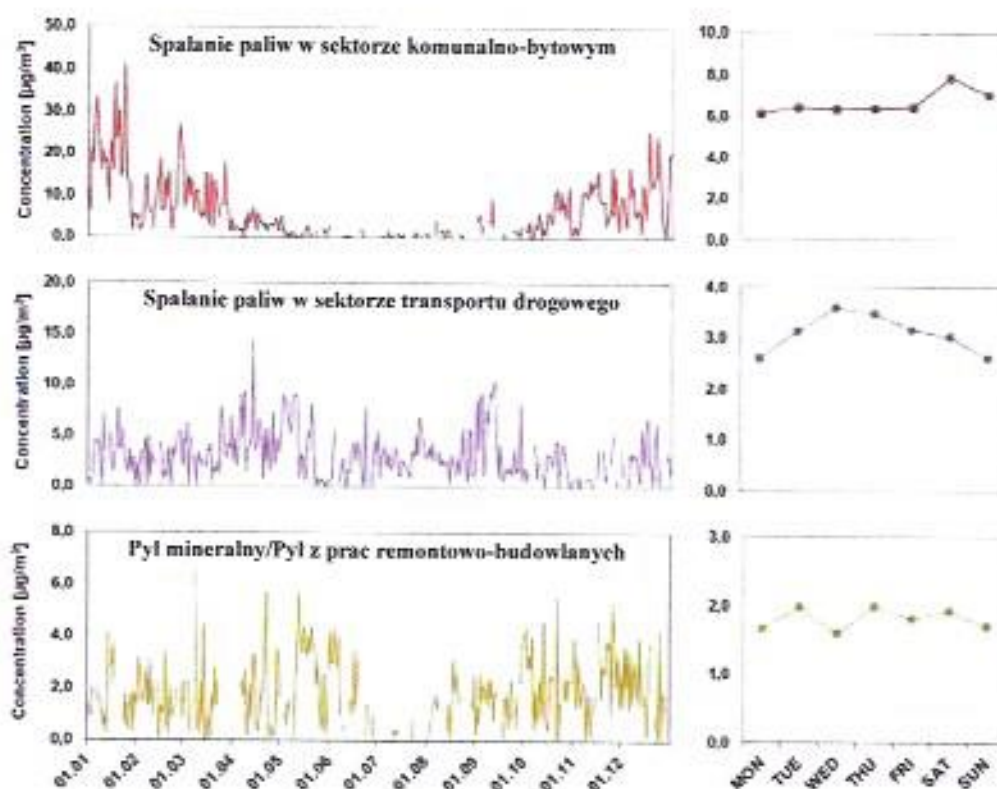
| Źródło PMF                                                                  | Główne składniki                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Spalanie paliw w sektorze komunalno-bytowym (Świeży i przetworzony aerozol) | $Cl^-$ , $NO_3^-$ , As, SOC, $NH_4^+$ , K, Pb, $SO_4^{2-}$ , $Na^+$ , POC, EC, Ga, Cd |
| Spalanie paliw w sektorze transportu drogowego                              | Sh, Fe, POC, EC, $NH_4^+$ , Cu, $SO_4^{2-}$ , Mn                                      |
| Pył mineralny/Pył z prac remontowo-budowlanych                              | Mg, Ca, Al, K                                                                         |
| Ścieranie dróg, opon i okładzin hamulcowych                                 | Ti, V, Sr, Fe, Mn, Ba, Co                                                             |
| Procesy wysokotemperaturowe                                                 | Zn, Pb, Cu, Mn, POC, EC, Ba, Ga, $Na^+$ , Cd, As                                      |
| Hutnictwo stali                                                             | Cr, Ni                                                                                |

POC – pierwotny węgiel organiczny (ang. Primary Organic Carbon); SOC – wtórny węgiel organiczny (ang. Secondary Organic Carbon)



Rysunek 4.3. Stężenia [ $\mu g/m^3$ ] i udziały w  $PM_{2.5}$  [%] źródeł zidentyfikowanych za pomocą modelu PMF uśrednione dla 2016 r. oraz dla zimy (styczeń, luty, grudzień) i lata (czerwiec – sierpień). Źródło: publikacja 1.5.

Największą zmienność sezonową wykazywało spalanie paliw w sektorze komunalno-bytowym, z maksymalnym udziałem w stężeniach  $PM_{2.5}$  w okresie zimowym (65%) (Rys. 4.3), a także dobowymi stężeniami dochodzącymi w styczniu do 40  $\mu g/m^3$  (Rys. 4.4). W okresie letnim na stężenia  $PM_{2.5}$  w największym stopniu wpływały źródła transportu drogowego (łączny udział ok. 52%), jednak stężenia tych źródeł – podobnie jak pozostałych – nie wykazywały wyraźnej zmienności sezonowej, z wyjątkiem nieco wyższych stężeń latem w przypadku ścierania dróg, opon i okładzin hamulcowych (Rys. 4.4). Wszystkie zidentyfikowane źródła wykazywały przebiegi stężeń w ciągu tygodnia zgodne z charakterystyką ich aktywności w poszczególnych dniach tygodnia (Rys. 4.4), co potwierdziło słuszność ich identyfikacji.



Rysunek 4.4. Przebiegi stężeń [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] w ciągu roku (lewa kolumna) i w ciągu tygodnia (prawa kolumna) wybranych źródeł zidentyfikowanych za pomocą modelu PMF. Źródło: publikacja I.5.

Przeprowadzone badania pozwoliły na uzupełnienie luk w wiedzy na temat składu chemicznego i pochodzenia PM<sub>2.5</sub>. Analiza wyników pozwoliła na określenie roli poszczególnych składników pyłu w tworzeniu aerozolu miejskiego i rozpoznanie ich jako markerów niektórych źródeł, w tym  $\text{NH}_4^+$  jako markera emisji z trójdrożnych reaktorów katalitycznych (transport drogowy) oraz  $\text{SO}_4^{2-}$  jako najbardziej wyróżniającego się spośród jonów SIA markera transportu LRT. Scharakteryzowano także spalanie węgla w źródłach dużej mocy i instalacjach małej mocy wskazując ich odmiennosć, co było jednym z celów prowadzonych badań (cel szczegółowy nr 3). Dodatkowo, wykorzystanie w modelu PMF stężeń SOC i POC zamiast całkowitego węgla organicznego umożliwiło lepsze rozróżnienie pomiędzy pierwotnym i wtórnym pochodzeniem pyłu.

Publikacja zyskała duże zainteresowanie krajowej i międzynarodowej społeczności naukowej. Do chwili obecnej jest regularnie cytowana, uzyskując łącznie 67 i 70 cytowań, odpowiednio według Web of Science i Scopus.



## Publikacja I.6

**Reizer M.**<sup>✉</sup>, Calzolari G., Maciejewska K., Orza J.A.G., Carraresi L., Lucarelli F., Juda-Rezler K., 2021. Measurement report: Receptor modeling for source identification of urban fine and coarse particulate matter using hourly elemental composition. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14471-14492.

Celem badań była analiza składu pierwiastkowego pyłu w Warszawie oraz identyfikacja źródeł wpływających na stężenia PM w mieście w wysokiej – 1-godzinnej – rozdzielczości czasowej. Przeprowadzono – po raz pierwszy w Europie Środkowo-Wschodniej – 3-tygodniową (przełom lutego i marca 2016) kampanię pomiarową 1-godzinnych stężeń składników pyłu z wykorzystaniem pobornika Streaker (PIXE International Corporation). Następnie próbki pyłu dwóch frakcji – PM<sub>2.5</sub> oraz PM<sub>C</sub> (PM<sub>10-2.5</sub>) zostały poddane analizie z wykorzystaniem techniki PIXE (ang. *Particle Induced X-ray Emission*), co pozwoliło na określenie dla każdej frakcji zawartości 27 pierwiastków (liczby atomowe od 11 do 82).

Publikacja powstała we współpracy z National Institute of Nuclear Physics (INFN), Department of Physics and Astronomy of the University of Florence, była finansowana w ramach projektu badawczego NCN (konkurs OPUS-7), pt.: „Identyfikacja różnych typów pyłów atmosferycznych wraz z oceną ich oddziaływań” (Kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Katarzyna Juda-Rezler) (projekt II.9.2 w Załączniku 4).

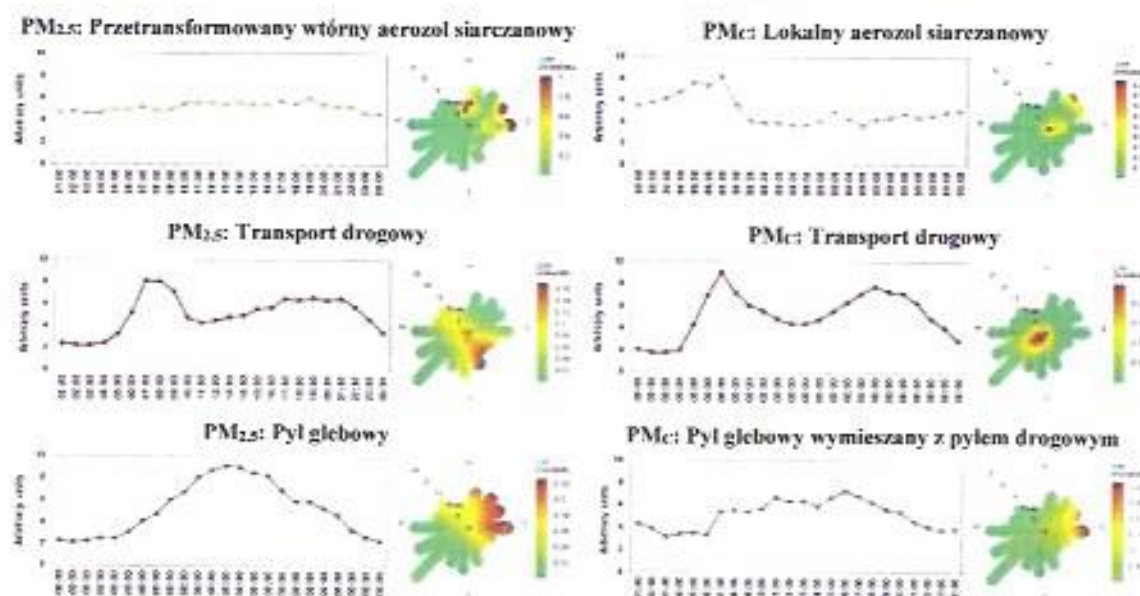
## Wyniki i dyskusja

Analiza PMF, przeprowadzona osobno dla frakcji PM<sub>2.5</sub> i PM<sub>C</sub>, pozwoliła na wyznaczenie odpowiednio 7 i 5 źródeł pyłu. Główne składniki zidentyfikowanych źródeł oraz udziały poszczególnych źródeł zawarto w Tabeli 4.3.

**Tabela 4.3.** Główne składniki i procentowe udziały źródeł PM<sub>2.5</sub> i PM<sub>C</sub> zidentyfikowanych za pomocą modelu PMF na podstawie składu pierwiastkowego w rozdzielczości 1h.

| Źródło PMF                              | Główne składniki                                 | Udział [%] |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------|------------|
| <b>PM<sub>2.5</sub></b>                 |                                                  |            |
| Przetworzony wtórny aerozol siarczanowy | S, P, K, Ni, Se, Br                              | 44.0       |
| Pył glebowy                             | Si, Ca, Al, Fe, Mg                               | 13.5       |
| Sól drogową                             | Na, Mg, P, Cr, Ni, Br                            | 12.5       |
| Spalanie drewna i węgla                 | Zn, Pb, K, Se, Br, As                            | 10.0       |
| Związki chloru                          | Cl, Br, Pb, K, Se, S, Zn                         | 10.0       |
| Transport drogowy                       | Fe, Mn, Ni, Cr, Zn, Si, Pb                       | 8.0        |
| Procesy przemysłowe                     | Cu, Pb                                           | 2.0        |
| <b>PM<sub>C</sub></b>                   |                                                  |            |
| Pył glebowy wymieszany z pyłem drogowym | Al, Si, Ti, K, Ca, Sr, Mg, Ni, Mn, P, Ba, Zr, Cr | 31.5       |
| Sól drogową                             | Cl, Na, Mg                                       | 31.0       |
| Transport drogowy                       | Cu, Fe, Cr, Mn, Ca, Zr, Ba, Br, Ni               | 20.0       |
| Lokalny aerozol siarczanowy             | S, P, Br, K, Ni, As                              | 11.5       |
| Procesy przemysłowe                     | Zn, Mn, P, Pb, Cr, Ni, As, Fe                    | 6.0        |

Największy udział w masie pierwiastków zawartych we frakcji  $PM_C$  (łącznie 82.5%) miały źródła związane z transportem drogowym (pył glebowy wymieszany z pyłem drogowym, sól wykorzystywana do zimowego utrzymania dróg, emisje związane ze spalaniem paliw oraz ze ścieraniem dróg, opon i okładzin hamulcowych), a następnie aerozol siarczanowy pochodzący z lokalnych źródeł (11.5%). Dla frakcji  $PM_{2.5}$  uzyskano podobny profil źródeł jak w publikacji 1.5 dla całego roku 2016, z dominującym udziałem regionalnie transportowanego przetransformowanego aerozolu siarczanowego (44%), a następnie źródeł związanych z transportem drogowym – w tym przypadku soli wykorzystywanej do zimowego utrzymania dróg, emisji związanych ze spalaniem paliw i ścieraniem dróg i części pojazdów (20.5%). Udział pozostałych źródeł w obu frakcjach nie przekroczył 15%, przy czym najniższy udział wykazały źródła przemysłowe – 2% i 6% odpowiednio we frakcji  $PM_{2.5}$  i  $PM_C$ .



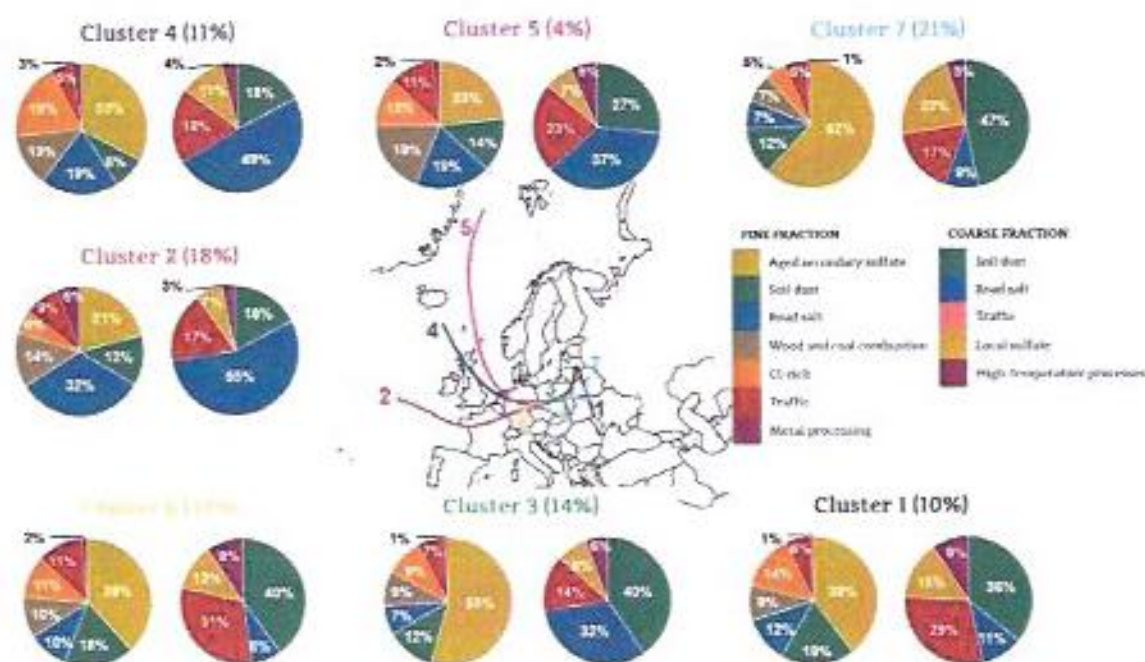
**Rysunek 4.5.** Przebiegi stężeń w ciągu doby [jednostki arbitralne] wybranych źródeł  $PM_{2.5}$  i  $PM_{10}$  zidentyfikowanych za pomocą modelu PMF wraz z analizą CPF dla źródeł PMF (90. percentyl stężeń).  
Źródło: publikacja 1.6.

Dobowe profile zidentyfikowanych źródeł wykazywały przebiegi charakterystyczne dla ich aktywności w ciągu dnia i były zbliżone dla obu frakcji. Przykładowo, źródła związane z transportem drogowym w przypadku obu frakcji charakteryzowały się dwumodalnym przebiegiem z maksimum w godzinach porannych i popołudniowych, natomiast pył glebowy wykazywał znacznie wyższe stężenia w ciągu dnia (Rys. 4.5). Odmienne przebiegi zaobserwowano dla źródeł związanych z aerozolem siarczanowym, co było związane z innymi procesami tworzenia się aerozolu w obu frakcjach. Analiza CPF potwierdziła lokalny i regionalny charakter źródeł wpływających na stężenia  $PM_{2.5}$  i  $PM_{10}$  zidentyfikowanych źródeł (Rys. 4.5).

Analiza skupień pozwoliła na wyodrębnienie 7 klastrów 96-godzinnych trajektorii wstecznych mas powietrza dopływających w analizowanym okresie do stacji w Warszawie na wysokości 200 m (Rys. 4.6). Regionalne, wolno przemieszczające się masy powietrza stanowiły najliczniejszy typ trajektorii (łącznie 67%). Były to krótkie trajektorie zachodnie



(klaster 6), recyrkulujące nad krajami Europy Wschodniej (klastry 1 i 7) oraz nad Polską (klaster 3), które charakteryzowały się długością netto pomiędzy 550 a 850 km. Regionalne masy powietrza charakteryzowały się najwyższym udziałem przetransformowanego wtórnego aerozolu siarczanowego (38-62%  $PM_{2.5}$ ). Udział reszty źródeł  $PM_{2.5}$  był zbliżony w pozostałych skupieniach, co wskazuje na ich bardziej lokalne pochodzenie. W przypadku frakcji  $PM_C$  wolne regionalne masy powietrza przynosiły znaczne ładunki pyłu glebowego (36-47%  $PM_C$ ). Szybkie zachodnie masy powietrza znad Atlantyku związane były ze stosunkowo wysokimi ładunkami pyłu pochodzącego z zimowego utrzymania dróg (19-31%  $PM_{2.5}$  i udziały wynoszą 37-55%  $PM_C$ ), co może sugerować, że chociaż sól drogowa jest głównym źródłem aerozolu atmosferycznego, wysoce prawdopodobny jest również częściowy udział aerozolu morskiego.



**Rysunek 4.6.** Centroidy klastrow (mapa) obliczone dla trajektorii wstecznych mas powietrza docierających na wysokość 200 m do stacji w Warszawie wraz z udziałami źródeł zidentyfikowanych za pomocą modelu PMF dla frakcji  $PM_{2.5}$  (wykres kołowy po lewej stronie) i  $PM_C$  (wykres kołowy po prawej stronie). W nawiasach podano procent wszystkich trajektorii występujących w każdym klastrze. Źródło: publikacja 1.6.

Przeprowadzone badania pozwoliły na zwiększenie precyzji identyfikacji źródeł pyłu i lepsze zrozumienie ich charakteru, dzięki uwzględnieniu zmienności ich aktywności w ciągu doby. Pomimo braku makroskładników PM (jonów i materii węglowej) możliwa była identyfikacja źródeł, które nie zostały zidentyfikowane przy dobowej rozdzielczości czasowej próbek PM (spalanie drewna i węgla oraz związki chloru). Ponadto, wysoka rozdzielczość czasowa pozwoliła na wykazanie odmiennego charakteru i pochodzenia niektórych pierwiastków w obu analizowanych frakcjach. Przykładowo, źródłem Cl zawartego w  $PM_C$  było stosowanie soli drogowej do utrzymania dróg zimą, natomiast obecność tego pierwiastka w  $PM_{2.5}$  związana była najprawdopodobniej ze stosowaniem środków chemicznych na bazie chloru i/lub spalaniem paliw niskiej jakości. Wyniki badań pozwoliły również na poszerzenie wiedzy, uzyskanej w poprzednich publikacjach, dotyczącej charakterystyki źródeł spalania



paliw oraz właściwości składników chemicznych pyłu, co było istotą celów szczegółowych nr 3 i 5 prowadzonych badań.

### Publikacja I.7

Juda-Rezler K. <sup>✉</sup>, Zajusz-Zubek E., Reizer M., Maciejewska K., Kurek E., Bulska E., Klejnowski K., 2021. Bioavailability of elements in atmospheric PM<sub>2.5</sub> during winter episodes at Central Eastern European urban background site. *Atmospheric Environment*, 245, ID artykułu: 117993.

W związku z istotną rolą, jaką poszczególne składniki pyłu, w tym zwłaszcza pierwiastki, odgrywają zarówno w identyfikacji źródeł, jak i ocenie wpływu pyłu na zdrowie ludzkie, celem badań było uzupełnienie wiedzy o właściwościach pierwiastków zawartych w pyłe. Badania przeprowadzone w publikacjach I.5 oraz I.6 zostały rozszerzone o analizę biodostępności, czyli biologiczno-chemicznej aktywności podczas przyswajania przez organizmy, wybranych pierwiastków, a także ocenę narażenia zdrowotnego mieszkańców Warszawy na zanieczyszczenie powietrza tymi pierwiastkami, ze szczególnym uwzględnieniem okresów epizodów smogowych.

Analizie poddano próbki pyłu PM<sub>2.5</sub> pobrane w trakcie 40-dniowej kampanii pomiarowej przeprowadzonej w Warszawie w okresie zimowym w 2017 r. Analiza specjacji chemicznej została przeprowadzona dla 8 pierwiastków – As, Cd, K, Mn, Pb, Sb, Ti, Zn, które poddano frakcjonowaniu na frakcje: F1 – rozpuszczalną w wodzie (o dużej mobilności); F2 – związaną z węglanami i tlenkami metali (mobilną); F3 – związaną z materią organiczną (mniej mobilną); F4 – trwale związaną z minerałami (stabilną). Frakcja F1 jest najbardziej mobilną i biodostępną dla środowiska, natomiast pierwiastki frakcji F2 mogą stać się bardziej mobilne i zostać uwolnione do środowiska pod wpływem zmian pH środowiska do warunków kwaśnych. W związku z tym, frakcje te uznawane są za najbardziej biodostępne (np. Schleicher i in., 2011).

Stopień biodostępności danego pierwiastka oceniono na podstawie indeksu biodostępności (BI, ang. *Bioavailability Index*), definiowanego jako udział frakcji F1 i F2 w całkowitym stężeniu pierwiastka, natomiast analizę ryzyka zdrowotnego przeprowadzono na podstawie kodu oceny ryzyka (RAC, ang. *Risk Assessment Code*), obliczanego jako udział frakcji F1 w całkowitym stężeniu pierwiastka. Dodatkowo, do oceny ryzyka nowotworowego (CR, ang. *Cancer Risk*) zastosowano metodologię oceny ryzyka opartą na standardach US EPA (U.S. EPA, 2009), obejmującą tzw. całożyciowe przewlekłe narażenie osób dorosłych i dzieci na najbardziej biodostępne frakcje (F1 + F2) analizowanych pierwiastków.

Publikacja powstała w wyniku współpracy z Instytutem Podstaw Inżynierii Środowiska PAN, Politechniką Śląską oraz Centrum Nauk Biologiczno-Chemicznych Uniwersytetu Warszawskiego, była finansowana w ramach projektu badawczego NCN (konkurs OPUS-7), pt.: „Identyfikacja różnych typów pyłów atmosferycznych wraz z oceną ich oddziaływań” (Kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Katarzyna Juda-Rezler) (projekt II.9.2 w Załączniku 4).



## Wyniki i dyskusja

Średnie stężenie  $PM_{2.5}$  w analizowanym okresie wynosiło  $31.8 \mu g/m^3$ , z najwyższym dobowym stężeniem ( $77.30 \mu g/m^3$ ) zarejestrowanym 28 stycznia. W tym czasie wystąpiły 4 epizody podwyższonych stężeń  $PM_{2.5}$ , w trakcie których zaobserwowano wyższe stężenia analizowanych pierwiastków, przede wszystkim ze względu na wzrost poziomu ich najbardziej przyswajalnej frakcji F1.

Wszystkie pierwiastki, w całym analizowanym okresie, charakteryzowały się wysoką biodostępnością ( $BI > 50\%$ ), przy czym najwyższą biodostępność wykazywały pierwiastki związane ze spalaniem paliw stałych w sektorze komunalno-bytowym (K i Zn). Spośród analizowanych pierwiastków, K, Ti i Zn wykazywały bardzo wysokie ryzyko zdrowotne ( $RAC > 50\%$ ), zaś dla pozostałych pierwiastków było to ryzyko wysokie ( $RAC$  w zakresie 31-50%). W okresach epizodów, zarówno wskaźniki BI, jak i  $RAC$  dla wszystkich pierwiastków, z wyjątkiem Pb, wzrastały odpowiednio o nawet 20% i ponad 60%.

Największe potencjalne zagrożenie kancerogenne dla dorosłych mieszkańców Warszawy określone zostało dla arsenu, który zgodnie z publikacjami I.1 oraz I.5 związany jest z aerozolem transportowanym do miasta zarówno z odległych źródeł przemysłowych i energetycznych, jak i z sektora komunalno-bytowego z obszarów podmiejskich. Wartości CR (ok.  $2 \cdot 10^{-6}$ ) przekraczały powszechnie akceptowalny poziom ryzyka nowotworowego. Pozostałe pierwiastki wykazały ryzyko kancerogenne i niekancerogenne poniżej akceptowalnych wartości progowych. Jednakże w trakcie epizodów smogowych ryzyko zdrowotne wszystkich analizowanych pierwiastków wzrastało o około 5-16% zarówno z powodu wzrostu stężeń całkowitych pierwiastków, jak i ich najbardziej przyswajalnych frakcji (F1 i F2).

Przeprowadzone badania pozwoliły na poszerzenie wiedzy dotyczącej zagrożeń zdrowotnych związanych z zanieczyszczeniami pyłowymi, a także dowiodły, że szkodliwość pierwiastków zawartych w pyłe zależy nie tylko od całkowitych stężeń, ale również od form ich występowania.

## Podsumowanie

Prowadzone przeze mnie badania dotyczące różnych frakcji pyłu atmosferycznego przyczyniły się do poszerzenia wiedzy na temat ich składu chemicznego, źródeł wpływających na obserwowane stężenia, procesów związanych z transportem i przemianami pyłu w atmosferze, a także właściwości pyłu i jego poszczególnych składników, w tym mobilności pierwiastków związanych z drobnym pyłem zawieszonym. Wiedza ta ma kluczowe znaczenie dla zrozumienia czasowej i przestrzennej dynamiki źródeł zanieczyszczeń pyłowych oraz ich potencjalnego zagrożenia dla zdrowia ludzkiego. Uzyskane wyniki badań pozwalają również na włączenie Polski w główny nurt światowych badań obejmujących tematykę identyfikacji źródeł oraz właściwości i skutków zdrowotnych zanieczyszczenia powietrza przez pył zawieszony.

Do najważniejszych oryginalnych osiągnięć zaliczam:

1. Rozwój metod modelowania receptorowego na potrzeby identyfikacji źródeł determinujących poziomy pyłu atmosferycznego. Przeprowadzenie badań w różnych rozdzielczościach czasowych, w tym bardzo wysokiej – 1-godzinnej, a także w różnych sytuacjach emisyjnych, z uwzględnieniem epizodów smogowych.
2. Zidentyfikowanie i wyznaczenie charakterystyk źródeł pochodzenia pyłu, poprzez określenie ich profilu chemicznego, udziału w całkowitym stężeniu pyłu, a także zmienności czasowej aktywności źródła.
3. Wykazanie odmienności profilu emisyjnego i rozróżnienie źródeł spalania węgla: źródeł przemysłowych dużej mocy (elektrownie, elektrociepłownie) od źródeł małej mocy (paleniska domowe, osiedlowe kotłownie).
4. Udowodnienie istotnej roli regionalnego i ponadregionalnego transportu zanieczyszczeń pyłowych w kształtowaniu stężeń aerozolu miejskiego.
5. Wykazanie odmiennego charakteru i pochodzenia niektórych pierwiastków w różnych frakcjach pyłu ( $PM_{2.5}$ ,  $PM_C$ ).
6. Wyznaczenie charakterystyk transportu zanieczyszczonych mas powietrza docierających do punktu receptorowego, poprzez zidentyfikowanie potencjalnych obszarów źródłowych, a także rodzaju adwekcji i powiązanych z nią profili chemicznych oraz źródeł pyłu.
7. Udowodnienie, iż w dniach epizodów smogowych wzrasta ryzyko kancerogenne pyłu, w związku ze wzrostem zarówno stężeń całkowitych, jak i stężeń najbardziej mobilnych (biostępnych) frakcji pierwiastków.

#### 4.1.7. Kierunki dalszych badań

Moje plany badawcze dotyczą kontynuacji i dalszego rozwijania badań nad identyfikacją źródeł pyłu za pomocą modelowania receptorowego, a także badań nad właściwościami i wpływem zanieczyszczeń pyłowych na zdrowie ludzkie. Jestem kierownikiem aktualnie realizowanego projektu badawczego NCN (konkurs SONATA-17), pt.: „*Charakter, pochodzenie i oddziaływanie drobnych i ultradrobnych pyłów w powietrzu atmosferycznym i wewnętrznym środowiska miejskiego*” (projekt II.9.1 w Załączniku 4), w ramach którego realizowane są następujące zadania:

1. przeprowadzenie rocznej kampanii pomiarowej dobowych stężeń  $PM_{2.5}$  i  $PM_{10}$  oraz ich składników chemicznych (EC, OC, jony, pierwiastki śladowe);
2. ocena zmienności czasowej i rozkładu przestrzennego stężeń liczbowych ultradrobnych cząstek pyłu (UFP, ang. *Ultrafine particles*;  $d_a \leq 100$  nm) wraz z oceną stężeń UFP na zewnątrz i wewnątrz budynków;
3. identyfikacja źródeł dwóch sub-frakcji pyłu  $PM_{2.5}$ :  $PM_{2.5-1}$  ( $1 \mu m < d_a \leq 2.5 \mu m$ ) oraz  $PM_1$  ( $d_a \leq 1 \mu m$ ), a także UFP za pomocą modelu PMF;



4. ocena skuteczności lokalnych polityk zarządzania jakością powietrza przyjmowanych w Polsce na poziomie regionalnym i lokalnym, poprzez porównanie uzyskanych wyników z wynikami projektów realizowanych dla obszaru Warszawy przed wdrożeniem uchwały antysmogowej;
5. ocena wpływu poszczególnych frakcji pyłu, a także ich składników oraz zidentyfikowanych źródeł na ryzyko hospitalizacji oraz przedwczesnych zgonów.

Szczegółowa charakterystyka właściwości i identyfikacja źródeł różnych frakcji pyłu, a także poznanie i zrozumienie relacji powietrze atmosferyczne – powietrze wewnętrzne, ma kluczowe znaczenie dla oceny ryzyka dla zdrowia ludzkiego, a co za tym idzie dla opracowania skutecznych strategii poprawy jakości powietrza.

#### 4.2. Pozostałe osiągnięcia

Oprócz problematyki identyfikacji źródeł zanieczyszczeń pyłowych, która stanowi oś moich zainteresowań naukowych, do swoich osiągnięć stanowiących istotny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka zaliczam również wyniki badań związane z modelowaniem zmian klimatu i jakości powietrza w skali regionalnej.

W latach 2008-2009 brałam udział w projekcie badawczym finansowanym w ramach 6. Programu Ramowego UE – CECILIA (*Central and Eastern Europe Climate Change Impact and Vulnerability Assessment*, II.9.6 w Załączniku 4). Koordynatorem projektu był doc. RNDr. Tomáš Halenka z Charles University w Pradze, a uczestniczyło w nim 16 instytucji z 12 krajów europejskich, w tym Politechnika Warszawska (Kierownik w PW: prof. dr hab. inż. Katarzyna Juda-Rezler). Głównym celem projektu była ocena podatności środowiska Europy Centralnej i Wschodniej na zmiany klimatu. Szczególny nacisk został położony na zastosowanie regionalnych modeli klimatycznych (RCM, ang. *Regional Climate Models*) do oceny wpływu lokalnych zmian klimatu na jakość powietrza, leśnictwo, rolnictwo i hydrologię. Modele te pracują w wysokiej rozdzielczości przestrzennej (10 km x 10 km), co pozwala na uwzględnienie specyfiki przestrzennej i klimatycznej analizowanego regionu, w tym zwłaszcza regionu Europy Środkowo-Wschodniej. Z siedmiu grup tematycznych projektu aktywnie uczestniczyłam w pracach dwóch – WP2: *Modelowanie klimatu w skali regionalnej* (Lider WP: dr. Michel Déqué, Météo-France) oraz WP7: *Wpływ zmian klimatu na jakość powietrza i zdrowie ludzkie* (Lider WP: prof. Katarzyna Juda-Rezler, Politechnika Warszawska).

W celu zbadania wpływu zmian klimatu na jakość powietrza w projekcie utworzono – po raz pierwszy w Europie – nowoczesne trójwymiarowe systemy modelowania klimatu i jakości powietrza, zbudowane z modeli RCM i trójwymiarowych modeli dyspersji CTM. W ramach prac grupy roboczej WG2, po ukończeniu warsztatów poświęconych modelowaniu zmian klimatu w skali regionalnej w The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP) w Trieście (II.11.4, Załącznik 7), zaimplementowałam dla obszaru Polski regionalny model klimatu RegCM3-Beta, opracowany przez ICTP. Przeprowadziłam symulacje zmian klimatu wg scenariusza SRES A1B IPCC (ang. *Intergovernmental Panel on Climate Change*) w rozdzielczości przestrzennej 10 km w horyzoncie czasowym do roku 2100. Następnie, w ramach prac grupy roboczej WP7, wyniki symulacji modelu RegCM3-Beta stanowiły dane



wejściowe do modelu CTM – CAMx (*Comprehensive Air Quality Model with Extensions*, ENVIRON International Corporation). Uczestniczyłam w przygotowaniu danych wejściowych do modelowania, w symulacjach jakości powietrza, a także w weryfikacji i interpretacji otrzymanych wyników. Dzięki udziałowi w projekcie, Politechnika Warszawska była wówczas jedyną Uczelnią w kraju, w której przeprowadzono wysokorozdzielcze modelowanie zmian klimatu i jakości powietrza dla obszaru Polski w horyzoncie czasowym do roku 2100 z wykorzystaniem trójwymiarowego systemu modelowania RCM-CTM. Celem prac prowadzonych w ramach grupy roboczej WP7 była analiza wpływu prognozowanych zmian klimatu na stężenia zanieczyszczeń powietrza oraz zdrowie ludzkie. Efektem przeprowadzonych badań są następujące publikacje, które ukazały się w prestiżowych czasopiśmie międzynarodowych wyróżnionych w bazie Journal Citation Reports (JCR):

- Juda-Rezler K., **Reizer M.**, Huszar P., Krüger B., Zanis P., Syrakov D., Katragkou E., Trapp W., Melas D., Chervenkov H., 2012. Modelling the effects of climate change on air quality over Central and Eastern Europe: concept, evaluation and projections. *Climate Research*, 53, 179-203. DOI: 10.3354/cr01072. (pozycja II.4.4 w Załączniku 4)
- Huszar P., Juda-Rezler K., Halenka T., Chervenkov H., Syrakov D., Krüger B., Zanis P., Melas D., Katragkou E., **Reizer M.**, Trapp W., Belda M., 2011. Effects of climate change on ozone and particulate matter over Central and Eastern Europe. *Climate Research*, 50, 51-68. DOI: 10.3354/cr01036. (pozycja II.4.5 w Załączniku 4)
- Tainio M., Juda-Rezler K., **Reizer M.**, Warchałowski A., Trapp W., Skotak K., 2013. Future climate and adverse health effects caused by fine particulate matter air pollution: case study for Poland. *Regional Environmental Change*, 13, 705-715. DOI: 10.1007/s10113-012-0366-6. (pozycja II.4.3 w Załączniku 4)

W pierwszej publikacji badano wpływ zmian klimatu na stężenia zanieczyszczeń powietrza – ozonu troposferycznego i pyłu drobnego  $PM_{10}$  – istotnych z punktu widzenia ochrony zdrowia ludzkiego i roślinności. W tym celu zaimplementowano dla obszaru Europy Środkowej i Wschodniej dwa trójwymiarowe systemy modelowania: RegCM3/CAMx (z domenami obliczeniowymi nad obszarem Polski, Czech i Węgier) oraz ALADIN-CLIMATE/CMAQ (z domeną obliczeniową nad obszarem Bułgarii). Wyniki symulacji 4 modeli RCM (10 km x 10 km) oraz modelu większej skali z domeną obliczeniową obejmującą obszar całej Europy (50 km x 50 km) poddano wszechstronnej weryfikacji porównawczej dla warunków obecnego klimatu (2000 rok), według metodyki zaproponowanej przez prof. Katarzynę Juda-Rezler. Pozytywne wyniki weryfikacji pozwoliły na przeprowadzenie symulacji prognostycznych wpływu zmian klimatu na stężenia  $O_3$  i  $PM_{10}$  w horyzoncie do roku 2100. Wyniki symulacji wskazały na znikomy wpływ zmian klimatu na jakość powietrza w połowie XXI w. (2041-2050), natomiast pod koniec stulecia (2091-2100) prognozowany był wzrost średniego stężenia  $O_3$  latem oraz spadek średniorocznego stężenia  $PM_{10}$  w Europie Środkowo-Wschodniej, w tym w Polsce. W przypadku  $O_3$  odpowiedzialne za taki trend będą przede wszystkim wzrost temperatury oraz zmniejszenie opadów w okresie letnim, natomiast do niższych stężeń  $PM_{10}$  przyczyni się wzrost opadów zimą.



Celem badań w drugiej publikacji była analiza wpływu prognozowanych zmian klimatu na przekroczenia poziomów dopuszczalnych wybranych zanieczyszczeń powietrza w środkowej i południowo-wschodniej Europie. Do analizy wybrano 3 zanieczyszczenia:  $O_3$ ,  $PM_{10}$ ,  $SO_2$ , w przypadku których przekroczenia wartości kryterialnych są istotne dla ochrony zdrowia ludzkiego, roślinności i ekosystemów. Badania przeprowadzono przy wykorzystaniu tych samych, co w pierwszej publikacji, nowoczesnych systemów modelowania klimatu i jakości powietrza: RegCM3-Beta/CAMx i ALADIN-CLIMATE/CMAQ. Prognozy wskazały na zmianę w latach 2091-2100 zarówno średnich stężeń zanieczyszczeń powietrza, jak i częstotliwości występowania wartości ekstremalnych. Dla ozonu, ze względu na przewidywany do końca stulecia wzrost temperatury, wartości AOT40 (skumulowane stężenia  $O_3$  przekraczające próg 40 ppbv) w przypadku upraw i ekosystemów leśnych w wielu obszarach Europy Środkowej wzrosną nawet o 20–30% w porównaniu z obecnym klimatem. Zaobserwowano również wzrost liczby dni (od 2 do nawet 20 dni) z przekroczeniami poziomu dopuszczalnego ustalonego ze względu na ochronę zdrowia, a obserwowane wartości maksymalnych 8-godzinnych stężeń  $O_3$  będą wyższe od 4 ppbv do nawet 15 ppbv.  $SO_2$  jest zanieczyszczeniem powietrza, którego poziomy dopuszczalny są dotrzymywane w Unii Europejskiej, z wyjątkiem nielicznych obszarów, gdzie przekraczane są zarówno godzinowe, jak i dobowe poziomy dopuszczalne. Zazwyczaj nie powoduje to jednak przekroczenia dopuszczalnej liczby przekroczeń poziomu dopuszczalnego w ciągu roku. Prognozy wskazały, że w przyszłym klimacie liczba tych przekroczeń wzrośnie o ok. 15 godzin oraz ok. 5 dni w ciągu roku, odpowiednio w przypadku godzinowych i dobowych poziomów dopuszczalnych. Wzrost ten będzie dotyczył jedynie tych obszarów, gdzie już obserwowane są przekroczenia. W przypadku  $PM_{10}$  prognozowana jest niewielka zmiana liczby dni z przekroczeniami dobowego poziomu dopuszczalnego dla większości obszaru Europy ( $\pm 1$  dzień).

Trzecia z publikacji dotyczy analizy wpływu zmian klimatu na przyszłe stężenia pyłu  $PM_{2.5}$  oraz na ekspozycję mieszkańców Polski i poszczególnych województw na te stężenia i związane z nią skutki zdrowotne. Zanieczyszczenie powietrza pyłem  $PM_{2.5}$  w obecnym i przyszłym klimacie symulowano przy zastosowaniu systemu modelowania RegCM3-Beta/CAMx w rozdzielczości przestrzennej 10 km x 10 km. Natomiast, liczbę przedwczesnych zgonów oszacowano z wykorzystaniem metody Monte-Carlo dla funkcji dawka-odpowieź przyjętych na podstawie przeglądu literatury. Oszacowano, że zanieczyszczenie powietrza pyłem  $PM_{2.5}$  spowodowało w Polsce w 2000 r. około 39 800 przedwczesnych zgonów. Wyniki symulacji dla przyszłego klimatu wskazały, że w horyzoncie czasowym do roku 2100 stężenia  $PM_{2.5}$  w Polsce zmaleją, co spowoduje redukcję ich negatywnych skutków zdrowotnych. Szacowana liczba przedwczesnych zgonów w roku 2100 zmaleje o ok. 4 000, zaś w poszczególnych województwach będą obserwowane spadki od kilku do kilkunastu procent.

Wszystkie trzy publikacje zyskały duże zainteresowanie krajowej i międzynarodowej społeczności naukowej. Do chwili obecnej są regularnie cytowane, uzyskując łącznie 96 i 106 cytowań, odpowiednio według Web of Science i Scopus. Wyniki badań opublikowane w dwóch pierwszych publikacjach zostały przytoczone w 5. Raporcie Oceny Międzyrządowego Panelu ds. Zmian Klimatu (IPCC) w rozdziale 21.3.3.6. Projected Changes in Air Quality (Hewitson, B., et al., 2014: Regional context. In: Climate Change 2014, Part B, Cambridge University Press, pp. 1133- 1197), który w latach 2014-2021 (do momentu opublikowania 6. Raportu



Oceny IPCC) był bazą wiedzy dla decydentów, społeczeństwa i naukowców o skutkach zmian klimatu oraz fundamentem międzynarodowych negocjacji w sprawie ochrony klimatu.

Poza wymienionymi publikacjami, wyniki badań dotyczące modelowania zmian klimatu i jakości powietrza zostały opublikowane w publikacji II.4.6 oraz w 4 rozdziałach w monografiach naukowych (II.2.11-14), a także były prezentowane na 5 cyklicznych konferencjach naukowych (II.7.A.10-12, II.7.B.11-12).

## Literatura

- Aarnio P., Martikainen J., Hussein T., Valkama L., Vehkamäki H., Sogacheva L., Härkönen J., Karppinen A., Koskentalo T., Kukkonen J., Kulmala M., 2008. Analysis and evaluation of selected PM<sub>10</sub> pollution episodes in the Helsinki Metropolitan Area in 2002. *Atmospheric Environment*, 42, 3992-4005.
- Aczel A.D., 2000. *Statystyka w zarządzaniu*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Banerjee T., Murari V., Kumar M., Raju M.P., 2015. Source apportionment of airborne particulates through receptor modeling: Indian scenario. *Atmospheric Research*, 164-165, 167-187.
- Belis C.A., Pernigotti D., Pirovano G., Favez O., Jaffrezo J.L., Kuenen J., Denier van Der Gon H., Reizer M., Riffault V., Alleman L.Y., Almeida M., i in., 2020. Evaluation of receptor and chemical transport models for PM<sub>10</sub> source apportionment. *Atmospheric Environment: X*, 5, 100053, 1-23.
- Belis C.A., Karagulian F., Larsen B.R., Hopke P.K., 2013. Critical review and meta-analysis of ambient particulate matter source apportionment using receptor models in Europe. *Atmospheric Environment*, 69, 94-108.
- Bessagnet G.B., Hodzic A., Blanchard O., Lattuat M., Le Bihan O., Marfaing H., Rouil L., 2005. Origin of particulate matter pollution episodes in wintertime over the Paris Basin. *Atmospheric Environment*, 39, 6159-6174.
- Błaszczak B., 2018. The use of Principal Component Analysis for source identification of PM<sub>2.5</sub> from selected urban and regional background sites in Poland. *E3S Web of Conferences*, 28, 01001, 1-8.
- Brasseur G., Jacob D.J., 2017. Inverse Modeling for Atmospheric Chemistry. In: *Modeling of Atmospheric Chemistry*. Cambridge University Press, Cambridge, 487-537.
- Cape J.N., Methven J., Hudson L.E., 2000. The use of trajectory cluster analysis to interpret trace gas measurements at Mace Head, Ireland. *Atmospheric Environment*, 34, 3651-3663.
- Chen J., Hoek G., 2020. Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environment International*, 143, 105974.
- Dimakakou E., Johnston H.J., Streftaris G., Cherrie J.W., 2020. Is environmental and occupational particulate air pollution exposure related to type-2 diabetes and dementia? A cross-sectional analysis of the UK Biobank. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(24), 9581.
- EEA, 2023. Europe's air quality status 2023. Briefing of European Environment Agency, <https://www.eea.europa.eu/publications/europes-air-quality-status-2023>.
- Fleming Z.L., Monks P.S., Manning A.J., 2012. Review: Untangling the influence of air-mass history in interpreting observed atmospheric composition. *Atmospheric Research*, 104-105, 1-39.
- Fragkou E., Douros L., Moussiopoulos N., Belis C.A., 2012. Current trends in the use of models for source apportionment of air pollutants in Europe. *International Journal of Environment and Pollution*, 50, 363-375.
- GBD, 2020. Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet*, 396, 1223-1249.
- Hopke P.K., Dai Q., Li L., Feng Y., 2020. Global review of recent source apportionments for airborne particulate matter. *Science of The Total Environment*, 740, 140091.
- IARC, 2016. Outdoor Air Pollution. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 109, International Agency for Research on Cancer, Lyon.
- Im U., Markakis K., Unal A., Kindap T., Poupkou A., Incecik S., Yenigun O., Melas D., Theodosi C., Mihalopoulos N., 2010. Study of a winter PM episode in Istanbul using the high resolution WRF/CMAQ modeling system. *Atmospheric Environment*, 44, 3085-3094.
- IOŚ, 2022. Ocena jakości powietrza w Polsce za rok 2021. Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy. Warszawa.



- Juda-Rezler K., Reizer M., Maciejewska K., Błaszczak B., Klejnowski K., 2020. Characterization of atmospheric PM<sub>2.5</sub> sources at a Central European urban background site. *Science of the Total Environment*, 713, 136729.
- Juda-Rezler K., Reizer M., Oudinet J.-P., 2011. Determination and analysis of PM<sub>10</sub> source apportionment during episodes of air pollution in Central Eastern European urban areas: The case of wintertime 2006. *Atmospheric Environment*, 45 (36), 6557-6566.
- Junninen H., Monster J., Rey M., Cancelinha J., Douglas K., Duane M., Forcina V., Müller A., Lagler F., Marelli L., Borowiak A., Niedzialek J., Paradiz B., Mira-Salama D., Jimenez J., Hansen U., Astorga C., Stanczyk K., Viana M., Querol X., Duvall R.M., Norris G.A., Tsakovski S., Wählin P., Horák J., Larsen B.R., 2009. Quantifying the impact of residential heating on the urban air quality in a typical European coal combustion region. *Environmental Science & Technology*, 43, 7964-7970.
- Karaca F., Anil I., Alagha O., 2009. Long-range potential source contributions of episodic aerosol events to PM<sub>10</sub> profile of a megacity. *Atmospheric Environment*, 43, 5713-5722.
- KOBIZE, 2023. Krajowy bilans emisji SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, NH<sub>3</sub>, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO za lata 1990-2021. Raport syntetyczny. Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, Instytut Ochrony Środowiska - Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.
- Lupu A., Maenhaut W., 2002. Application and comparison of two statistical trajectory techniques for identification of source regions of atmospheric aerosol species. *Atmospheric Environment*, 36, 5607-5618.
- Majewski G., Rogula-Kozłowska W., 2016. The elemental composition and origin of fine ambient particles in the largest Polish conurbation: first results from the short-term winter campaign. *Theoretical and Applied Climatology*, 125, 79-92.
- Majewski G., Rogula-Kozłowska W., Rozbicka K., Rogula-Kopiec P., Mathews B., Brandyk A., 2018. Concentration, chemical composition and origin of PM<sub>10</sub>: results from the first long-term measurement campaign in Warsaw (Poland). *Aerosol and Air Quality Research*, 18, 636-654.
- McLennan S.M., 2001. Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2, 2000GC000109.
- Niemi J.V., Saarikoski S., Aurela M., Tervahattu H., Hillamo R., Westphal D.L., Aarnio P., Koskentalo T., Makkonen U., Vehkamäki H., Kulmala M., 2009. Long-range transport episodes of fine particles in southern Finland during 1999-2007. *Atmospheric Environment*, 43, 1255-1264.
- Orellano P., Reynoso J., Quaranta N., Bardach A., Ciapponi A., 2020. Short-term exposure to particulate matter (PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>), nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), and ozone (O<sub>3</sub>) and all-cause and cause-specific mortality: Systematic review and meta-analysis. *Environment International*, 142, 105876.
- Paatero P., Hopke P.K., 2003. Discarding or downweighting high-noise variables in factor analytic models. *Analytica Chimica Acta*, 490, 277-289.
- Paatero P., Tapper U., 1994. Positive matrix factorization: a non-negative factor model with optimal utilization of error estimates of data values. *Environmetrics*, 5, 111-126.
- Polissar A.V., Hopke P.K., Paatero P., Malm W.C., Sisler J.F., 1998. Atmospheric aerosol over Alaska - 2. Elemental composition and sources. *Journal of Geophysical Research*, 103, 19045-19057.
- Reizer M., Juda-Rezler K., 2016. Explaining the high PM<sub>10</sub> concentrations observed in Polish urban areas. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 9, 517-531.
- Rogula-Kozłowska W., Błaszczak B., Szopa S., Klejnowski K., Sówka I., Zwoździak A., Jabłońska M., Mathews B., 2013. PM<sub>2.5</sub> in the central part of Upper Silesia, Poland: concentrations, elemental composition, and mobility of components. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185, 581-601.
- Rogula-Kozłowska W., Majewski G., Błaszczak B., Klejnowski K., Rogula-Kopiec P., 2016. Origin-Oriented Elemental Profile of Fine Ambient Particulate Matter in Central European Suburban Conditions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(7), 715.
- Rogula-Kozłowska W., Majewski G., Czechowski P.O., Rogula-Kopiec P., 2017. Analysis of the data set from a two-year observation of the ambient water-soluble ions bound to four particulate matter fractions in an urban background site in Southern Poland. *Environment Protection Engineering*, 43, 137-149.
- Samek L., 2012. Source apportionment of the PM<sub>10</sub> fraction of particulate matter collected in Kraków, Poland. *NUKLEONIKA*, 57(4), 601-606.
- Samek L., Stęgowski Z., Styszko K., Furman L., Fiedor J., 2018. Seasonal contribution of assessed sources to submicron and fine particulate matter in a Central European urban area. *Environmental Pollution*, 241, 406-411.



- Samek L., Stęgowski Z., Styszko K., Furman L., Zimnoch M., Skiba A., Kistler M., Kasper-Giebl A., Rózański K., Konduracka E., 2020. Seasonal variations of chemical composition of PM<sub>2.5</sub> fraction in the urban area of Krakow, Poland: PMF source attribution. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 13, 89-96.
- Schleicher N.J., Norra S., Chai F., Chen Y., Wang S., Cen K., Yu Y., Stüben D., 2011 Temporal variability of trace metal mobility of urban particulate matter from Beijing – A contribution to health impact assessments of aerosols. *Atmospheric Environment*, 45, 7248-7265.
- Shi L., Wu X., Danesh Yazdi M., Braun D., Abu Awad Y., Wei Y., Liu P., Di Q., Wang Y., Schwartz J., Dominici F., Kioumourtoglou M.-A., Zanobetti A., 2020. Long-term effects of PM<sub>2.5</sub> on neurological disorders in the American Medicare population: a longitudinal cohort study. *The Lancet Planetary Health*, 4(12), E557-E565.
- Sinnott R.W., 1984. Virtues of the Haversine. *Sky Telescope*, 68, 158.
- Siudek P., 2020. Seasonal variability of trace elements in fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) in a coastal city of northern Poland – profile analysis and source identification. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 22, 2230-2243.
- Sówka I., Zwoździak A., Trzepla-Nabaglo K., Skretowicz M., Zwoździak J., 2012. PM<sub>2.5</sub> elemental composition and source apportionment in a residential area of Wrocław, Poland. *Environment Protection Engineering*, 38, 73-79.
- Sówka I., Chlebowska-Styś A., Pachurka A., Rogula-Kozłowska W., Mathews B., 2019. Analysis of particulate matter concentration variability and origin in selected urban areas in Poland. *Sustainability*, 11(20), 5735.
- Stein A.F., Draxler R.R., Rolph G.D., Stunder B.J.B., Cohen M.D., Ngan F., 2015. NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96, 2059-2077.
- Stohl A., 1996. Trajectory statistics – a new method to establish source-receptor relationships of air pollutants and its application to the transport of particulate sulfate in Europe. *Atmospheric Environment*, 30, 579-587.
- Thurston G.D., Spengler J.D., 1985. A quantitative assessment of source contributions to inhalable particulate matter pollution in metropolitan Boston. *Atmospheric Environment* (1967), 19, 9-25.
- Uria-Tellaetxe I., Carslaw D.C., 2014. Conditional bivariate probability function for source identification. *Environmental Modelling & Software*, 59, 1-9.
- U.S. EPA, 2009. Risk Assessment Guidance for Superfund, Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part F, Supplemental Guidance for Inhalation Risk Assessment). Office of Superfund Remediation and Technology Innovation. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- Wedepohl K.H., 1995. The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59, 1217-1232.
- WHO, 2021. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization, Geneva.
- WHO, 2022. Ambient (outdoor) air pollution. Fact sheets. World Health Organization, [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).
- Zwoździak A., Samek L., Sówka I., Furman L., Skretowicz M., 2012. Aerosol pollution from small combustors in a village. *The Scientific World Journal*, Vol. 2012, 956401.

##### **5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej**

Moim podstawowym miejscem prowadzenia badań jest Politechnika Warszawska, Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska, Katedra Ochrony i Kształtowania Środowiska, Zespół Ochrony Atmosfery. Jednocześnie w ciągu całej dotychczasowej kariery naukowej wykazywałam się istotną aktywnością naukową poza macierzystą Uczelnią w ramach (1) staży i szkoleń w międzynarodowych instytucjach naukowych oraz (2) współpracy z wiodącymi międzynarodowymi i krajowymi uczelniami i instytutami naukowymi, realizowanej w ramach grantów (w tym pobytu studialne).



**Staże i szkolenia** (potwierdzenia znajdują się w Załączniku nr 7):**1) Université de Haute-Alsace, Risk Management and Environment Laboratory (GRE Lab), Miluza, Francja**

**Okres:** 7-12 września 2014

**Opiekun:** Prof. Gwenaëlle Trouvé

**Finansowanie** w ramach projektu:

- NCN OPUS-2, pt.: „Identyfikacja źródeł występowania wysokich stężeń pyłów w atmosferze wybranych miast Polski”. Kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Katarzyna Juda-Rezler (2012-2015) (II.9.4)

**Zakres:** W trakcie stażu w GRE Lab (II.11.1, Załącznik 7) miałam możliwość zapoznania się z najnowocześniejszym sprzętem pomiarowym, znajdującym się w laboratorium oraz badaniami prowadzonymi w zakresie pomiarów emisji zanieczyszczeń powietrza ze spalania różnych rodzajów biomasy (np. drewno, mискant, słoma), a także badań dotyczących wpływu właściwości paliwa i zmienności parametrów procesu spalania na wielkość emisji. W ramach pobytu prezentowałam również działalność naukową ZOA PW w celu nawiązania długoterminowej współpracy przy realizacji wspólnych projektów. Po odbyciu szkolenia ZOA PW i GRE Lab podjęły dalszą współpracę nad wnioskiem o wspólny projekt badawczy.

**2) UFS – Environmental Research Station Schneefernerhaus (GAWTEC – Global Atmosphere Watch Training & Education Centre), Zugspitze, Niemcy**

**Okres:** 03-16 kwietnia 2016

**Koordinator:** Dr. Mirella Glor (UFS)

**Finansowanie** w ramach:

- Uzyskane stypendium GAWTEC
- NCN OPUS-7, pt.: „Identyfikacja źródeł występowania wysokich stężeń pyłów w atmosferze wybranych miast Polski”. Kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Katarzyna Juda-Rezler (2015-2018) (II.9.2)

**Zakres:** 2-tygodniowe szkolenie było organizowane i finansowane przez Centrum Szkoleniowe GAWTEC Światowej Organizacji Meteorologicznej, we współpracy z German Federal Environmental Agency, German Meteorological Service (DWD) oraz Krajem Związkowym Bawaria (II.11.2, Załącznik 7). Szkolenie dotyczyło właściwości optycznych, a także metodyk pomiarowych masowych i liczbowych stężeń pyłu i odbywało się w stacji badawczej UFS, zlokalizowanej pod szczytem Zugspitze w Niemczech. Szkolenia GAWTEC, organizowane 2-krotnie w ciągu roku w stacji kompleksowego monitoringu jakości powietrza i zmian klimatu UFS, dedykowane są dla operatorów stacji pomiarowych oraz młodych naukowców i skupiają się na właściwościach i pomiarach różnych zanieczyszczeń powietrza, a także na monitoringu parametrów i zmian klimatu. Dotychczas odbyło się 40 edycji szkoleń, w których brało udział ponad 400 uczestników z 80 krajów, w tym 9 osób z Polski.

**3) Italian Aerosol Society (IAS), Rimini, Włochy**

Okres: 10-15 czerwca 2013

Koordynator: Prof. Roberta Vecchi (Prezydent IAS)

Finansowanie w ramach projektu:

- NCN OPUS-2, pt.: „Identyfikacja źródeł występowania wysokich stężeń pyłów w atmosferze wybranych miast Polski”. Kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Katarzyna Juda-Rezler (2012-2015) (II.9.4)

Zakres: Udział w letniej szkole: *2nd Summer School of Italian Aerosol Society (IAS)* (II.11.3, Załącznik 7), dotyczącej modelowania receptorowego z wykorzystaniem modelu PMF. Po ukończeniu warsztatów kontynuowałam współpracę z wykładowcami (Dr. Silvia Nava i Dr. Paolo Prati z INFN) w zakresie przygotowania danych wejściowych i modelowania PMF.

**4) The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP), Triest, Włochy**

Okres: 3-14 marca 2008

Koordynatorzy: Prof. Filippo Giorgi (ICTP), Prof. Colin Jones (UQAM/CRCMD, Kanada), Dr. Liqiang Sun (IRI, USA), Prof. Katepalli R. Sreenivasan (ICTP)

Finansowanie w ramach projektu:

- 6. Program Ramowy UE, Projekt „*CECILIA: Central and Eastern Europe Climate Change Impact and Vulnerability Assessment*”. Koordynator projektu: Doc. RNDr. Tomáš Halenka (Charles University, Praga, Czechy). Kierownik projektu w PW: prof. dr hab. inż. Katarzyna Juda-Rezler (2006-2009) (II.9.6)

Zakres: Udział w warsztatach naukowych: *4th ICTP Workshop on the Theory and Use of Regional Climate Models: Applying RCMs to Developing Nations in Support of Climate Change Assessment and Extended-Range Prediction* (II.11.4, Załącznik 7), dotyczących modelowania zmian klimatu w skali regionalnej z wykorzystaniem regionalnego modelu klimatycznego RegCM. Warsztaty kończyły się opracowaniem w międzynarodowych grupach oraz prezentacją wyników symulacji zmian klimatu prowadzonych w trakcie zajęć komputerowych. Po ukończeniu warsztatów kontynuowałam współpracę z ICTP w zakresie implementacji modelu RegCM3-Beta dla obszaru Polski, realizowanego w ramach projektu CECILIA.

**Współpraca w ramach grantów międzynarodowych:****1) Projekt CECILIA (*Central and Eastern Europe Climate Change Impact and Vulnerability Assessment*) – 6. Program Ramowy Unii Europejskiej (II.9.6)**

Okres realizacji: 2006-2009

Koordynator projektu: Doc. RNDr. Tomáš Halenka (Charles University, Praga, Czechy); Kierownik w PW: Prof. dr hab. inż. Katarzyna Juda-Rezler



Partnerzy:

- Projekt był realizowany przez konsorcjum składające się 16 partnerów z 12 krajów europejskich, przy czym najszerzą współpracę prowadziłam z naukowcami z następujących instytucji międzynarodowych – Charles University (CUNI, Praga, Czechy), Aristotle University of Thessaloniki (AUTH, Saloniki, Grecja), University of Natural Resources and Applied Life Sciences (BOKU, Wiedeń, Austria), The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP, Triest, Włochy), Eötvös Loránd University (Budapeszt, Węgry), a także krajowych – Biuro Studiów i Pomiarów Proekologicznych EKOMETRIA Sp. z o.o. (BSiPP Ekometria), Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk (IBS PAN).

Zakres współpracy:

- W latach 2008-2009 brałam aktywny udział w pracach 2 z 7 grup tematycznych projektu – WP2: *Modelowanie klimatu w skali regionalnej* (Lider WP: dr. Michel Déqué, Météo-France) oraz WP7: *Wpływ zmian klimatu na jakość powietrza i zdrowie ludzkie* (Lider WP: prof. dr. hab. inż. Katarzyna Juda-Rezler, Politechnika Warszawska).
- Byłam odpowiedzialna za implementację regionalnego modelu klimatu RegCM3-Beta dla obszaru Polski i przeprowadzenie symulacji zmian klimatu w rozdzielczości przestrzennej 10 km w horyzoncie czasowym do roku 2100.
- Brałam udział w przygotowaniu danych wejściowych do modelu dyspersji CAMx, przeprowadzeniu symulacji, a także weryfikacji i interpretacji otrzymanych wyników.
- Brałam udział w analizie wpływu zmian klimatu na jakość powietrza i zdrowie ludzkie.
- Brałam udział w 5 spotkaniach roboczych projektu (Węgry, Bułgaria, Słowacja, Grecja, Czechy), prezentowałam wyniki badań ZOA PW na jednym z nich (*CECILIA 5th Working Meeting*, Dunajska Streda, Słowacja, 25-27.11.2008).
- W trakcie trwania projektu i po jego zakończeniu (w latach 2008-2019) odbyłam kilkanaście wizyt roboczych w BSiPP Ekometria, trwających od kilku do kilkunastu dni, poświęconych rozwojowi metod modelowania jakości powietrza w zakresie jakości danych wejściowych, konfiguracji modelu CAMx, weryfikacji i interpretacji otrzymanych wyników.

Effektem realizacji projektu są:

- 4 artykuły w czasopismach wyróżnionych w JCR (II.4.3-6)
- 4 rozdziały w monografiach (II.2.11-14)
- 5 wystąpień na konferencjach (II.7.A.10-12, II.7.B.11-12).
- 3 raporty w ramach grupy roboczej WP7: CUNI i in., 2009. *Deliverable D7.3: Key species concentrations files from higher resolution runs (10x10 km) for control run and future projection*; CUNI i in., 2010. *Deliverable D7.4: Analysis and evaluation of the results, comparison of the higher resolution runs (10x10) with the lower resolution runs (50x50) for the specific domain* oraz WUT i in., 2010. *Deliverable D7.5: Present and future key species exceedances of the EU limits and WHO guidelines, health effects*.

**2) Projekt APPRAISAL (*Air Pollution Policies for Assessment of Integrated Strategies At regional and Local scales*) – 7. Program Ramowy Unii Europejskiej (II.9.5)**

Okres realizacji: 2012-2015

Koordynator projektu: Prof. Marialuisa Volta (University of Brescia, Włochy); Koordynator projektu ze strony polskiej: prof. dr hab. inż. Zbigniew Nahorski (IBS PAN)

Partnerzy:

- Projekt był realizowany przez konsorcjum składające się 15 partnerów z 10 krajów europejskich, przy czym najszerzą współpracę prowadziłam z naukowcami z **Instytutu Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk (IBS PAN)** oraz **Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability (JRC-IES)**.

Zakres współpracy:

- Brałam udział w pracach 2 z 5 grup tematycznych projektu – WP2: *Review and gaps identification in Air Quality and Health Assessment methodologies at regional and local scale* (Lider WP: Dr. Claudio Belis, JRC-IES) oraz WP4: *Guidance on integrated air quality and health* (Lider WP: Dr. Peter Viaene, VITO).
- Brałam udział w przeglądzie metod identyfikacji źródeł pyłu wykorzystywanych w Polsce (WP2).
- Brałam udział w ocenie według zaproponowanej w projekcie ankiety programów ochrony powietrza opracowanych dla wybranych stref w Polsce (WP4).

Efektem realizacji projektu są:

- 1 rozdział w monografii (II.2.3)
- 2 raporty w ramach projektu: Belis i in., 2013. *WP2 – Deliverable 2.6 Source Apportionment Methodologies* oraz Viaene i in., 2014. *WP4 – Deliverable 4.2 Guidance document evaluation Tier I*.

Współpraca w ramach grantów krajowych:

**3) Projekt NCN OPUS-2, pt.: „Identyfikacja źródeł występowania wysokich stężeń pyłów w atmosferze wybranych miast Polski” (II.9.4)**

Okres realizacji: 2012-2015

Kierownik projektu: Prof. dr hab. inż. Katarzyna Juda-Rezler (PW)

Partnerzy:

- **Paris Sorbonne – Paris IV University** (później UMR 788 Inserm-Université Paris Sud)

Zakres współpracy:

- Rozwój metod modelowania receptorowego, zwłaszcza analizy PCA i metod eksploracyjnych.



- W ramach projektu odbyłam **dwie tygodniowe wizyty studyjne w UMR 788 Inserm-Université Paris Sud**, pod kierunkiem Dr. Jean-Paul Oudinet (głównego wykonawcy projektu) – w kwietniu 2014 r. oraz w lutym 2015 r. W trakcie pierwszego pobytu prezentowałam działalność naukową ZOA PW w celu nawiązania długoterminowej współpracy przy realizacji wspólnych projektów.

Efektom realizacji projektu są:

- 2 artykuły w czasopismach wyróżnionych w JCR (I.2, II.4.2)
  - 3 rozdziały w monografiach (II.2.8-10)
  - 6 wystąpień na konferencjach (II.7.A.7-9, II.7.B.7, II.7.B.9-10)
- 4) **Projekt NCN OPUS-7, pt.: „Identyfikacja różnych typów pyłów atmosferycznych wraz z oceną ich oddziaływań” (II.9.2)**

Okres realizacji: 2015-2018

Kierownik projektu: Prof. dr hab. inż. Katarzyna Juda-Rezler (PW)

Partnerzy:

**Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk w Zabrze (IPIŚ PAN)**

Okres współpracy: Współpraca Zespołu Ochrony Atmosfery Politechniki Warszawskiej, dawniej Zakładu Ochrony Atmosfery – utworzonego i kierowanego przez wiele lat przez prof. Jana Judę – z IPIŚ PAN ma wieloletnią tradycję, a jej początki sięgają lat 50. XX w. Moja współpraca z Instytutem rozpoczęła się w 2013 r. i jest kontynuowana do chwili obecnej w ramach projektu NCN SONATA-17, którym kieruję (II.9.1).

Zakres współpracy:

- Pomiary stężeń masowych i składu chemicznego różnych frakcji pyłu zawieszonego.
- Przeprowadzenie kampanii pomiarowej stężeń pyłu  $PM_{2.5}$  w Warszawie (2015-2017); prowadzenie obecnie kampanii pomiarowej stężeń pyłu  $PM_{2.5}$  i  $PM_1$  (2023-2024).
- W ramach projektu II.9.2 odbyłam **kilka wizyt studyjnych w IPIŚ PAN**, podczas których pod kierunkiem dr inż. Krzysztofa Klejnowskiego zapoznawałam się z metodykami określania stężeń składników chemicznych pyłu.

**Politechnika Śląska, Katedra Ochrony Powietrza**

Okres współpracy: 2020-2021

Zakres współpracy:

- Analiza specjacji chemicznej pierwiastków zawartych w  $PM_{2.5}$  prowadzona we współpracy Politechniki Śląskiej i Centrum Nauk Biologiczno-Chemicznych Uniwersytetu Warszawskiego.
- Ocena biodostępności pierwiastków i ryzyka zdrowotnego.

**National Institute of Nuclear Physics (INFN), Department of Physics and Astronomy of the University of Florence, Florencia, Włochy**

Okres współpracy: od 2016 r. do chwili obecnej

Zakres współpracy:

- Analiza składu pierwiastkowego pyłu zawieszonego w wysokiej 1-godzinnej rozdzielczości czasowej.
- Przeprowadzenie 3-tygodniowej kampanii pomiarowej 1-godzinnych stężeń pierwiastków zawartych w pyłach  $PM_{2.5}$  i  $PM_{10.2.5}$  w Warszawie w 2016 r. z wykorzystaniem unikatowego pobornika Streaker wypożyczonego z INFN.
- Rozwój metod modelowania receptorowego, zwłaszcza modelu PMF.
- W ramach projektu, w czerwcu 2016 r. odbyłam **wizytę studialną w laboratorium LABEC INFN we Florencji**, gdzie pod okiem Prof. Franco Lucarelli miałam możliwość zapoznania się z analizami składu pierwiastkowego pyłu zebranego w trakcie kampanii w Warszawie z wykorzystaniem techniki analizy emisji promieniowania X wzbudzonego przez cząstki – protony (PIXE, ang. *Particle Induced X-ray Emission*).

**Statistical and Computational Physics Lab (SCOLab), Department of Applied Physics, Miguel Hernández University of Elche, Elche, Hiszpania**

Okres współpracy: od 2016 r. do chwili obecnej

Zakres współpracy:

- Analiza porównawcza globalnych danych meteorologicznych wykorzystywanych jako dane wejściowe do obliczeń trajektorii wstecznych mas powietrza, analiza statystyczna zbioru obliczonych trajektorii, implementacja zaawansowanych metod analizy trajektorii wstecznych – PSCF oraz CWT.
- W ramach projektu II.9.2, w lutym 2017 r. odbyłam **tygodniową wizytę studialną w SCOLab w Elche**, poświęconą wspólnej pracy z Prof. José Antonio García Orza nad optymalizacją obliczeń trajektorii wstecznych mas powietrza oraz ich analizą statystyczną.

**Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability (JRC-IES), Ispra, Włochy**

Okres współpracy: 2014-2019

Zakres współpracy:

- Aktywny udział w pracach grupy roboczej WG3; *Source Apportionment* międzynarodowej inicjatywy FAIRMODE (*Forum for Air quality Modeling*), koordynowanej przez Dr. Claudio Belisa z JRC-IES.
- Udział w 3 spotkaniach roboczych oraz 1 spotkaniu plenarnym FAIRMODE (udział finansowany w ramach projektów II.9.2 oraz II.9.4).



- W latach 2015-2016 Zespół OA PW brał udział w eksperymencie porównawczym modeli receptorowych i modeli jakości powietrza (*European Source Apportionment intercomparison for Receptor and Chemical Transport Models*), organizowanym w ramach grupy roboczej WG3. W eksperymencie uczestniczyły 44 zespoły badawcze z Europy (41, w tym 2 z Polski), Stanów Zjednoczonych (2) i Chile (1). W ramach eksperymentu byłam odpowiedzialna za realizację prac ZOA PW, związanych zarówno z modelowaniem receptorowym, jak i modelowaniem jakości powietrza.

Efektem realizacji projektu są:

- 4 artykuły w czasopiśmie wyróżnionych w JCR (I.4-7)
- 2 rozdziały w monografiach (II.2.1-2)
- 11 wystąpień na konferencjach (II.7.A.1-6, II.7.B.1-5)

## 6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę

### 6.1. Osiągnięcia dydaktyczne

Ważnym elementem mojej pracy zawodowej jest działalność dydaktyczna. W ramach tej działalności od 2008 r. prowadziłam i prowadzę wykłady, ćwiczenia audytoryjne, zajęcia projektowe i laboratoryjne na 4 kierunkach studiów realizowanych na Wydziale Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej: *Ochrona Środowiska* (studia I i II stopnia), *Inżynieria Środowiska* (studia II stopnia oraz I stopnia niestacjonarne), *Biogospodarka* (studia II stopnia), *Environmental Engineering* (studia I stopnia w języku angielskim) oraz *Environment Protection Engineering* (studia II stopnia w języku angielskim), a także zajęcia dla doktorantów Szkoły Doktorskiej Politechniki Warszawskiej. Główny obszar realizowanej tematyki zajęć dotyczy zagadnień związanych z ochroną powietrza atmosferycznego i klimatu, zrównoważonym rozwojem, a także prawnymi aspektami ochrony środowiska. W ciągu ostatnich 3 lat prowadziłam zajęcia dydaktyczne łącznie z 15 następujących przedmiotów:

#### Studia I stopnia:

- Kierunek: **Ochrona Środowiska**
  - Globalne zmiany klimatu – wykład
  - Ochrona powietrza – zajęcia projektowe i laboratoryjne
  - Zagrożenia cywilizacyjne i zrównoważony rozwój 1 – ćwiczenia audytoryjne
  - Zagrożenia cywilizacyjne i zrównoważony rozwój 2 – ćwiczenia audytoryjne
- Kierunek: **Inżynieria Środowiska**
  - Ochrona atmosfery na terenach zurbanizowanych – wykład i zajęcia projektowe (specjalność: Inżynieria Terenów Zurbanizowanych)
  - Ochrona powietrza – zajęcia projektowe (studia niestacjonarne)

- Kierunek: **Environmental Engineering**
  - Fundamentals of Air Pollution – zajęcia projektowe

#### **Studia II stopnia:**

- Kierunek: **Ochrona Środowiska**
  - Strategia, polityka i prawo międzynarodowe w ochronie środowiska – wykład
  - Technologie oczyszczania gazów odlotowych – wykład i zajęcia projektowe
  - Systemy ochrony atmosfery i meteorologia techniczna – zajęcia komputerowe
- Kierunek: **Inżynieria Środowiska**
  - Ochrona powietrza atmosferycznego – zajęcia projektowe (specjalność: Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja)
- Kierunek: **Biogospodarka**
  - Emisje zanieczyszczeń powietrza w biogospodarce – wykład i zajęcia projektowe
- Kierunek: **Environment Protection Engineering**
  - Air Pollution Control – zajęcia projektowe
  - Global Climate Change – wykład

#### **Szkola Doktorska:**

- Global Climate Change – wykład i seminarium

Jestem autorem lub współautorem materiałów dydaktycznych zarówno w języku polskim, jak i angielskim, do wszystkich powyższych przedmiotów. Spośród nich, jestem bezpośrednio odpowiedzialna za merytoryczny i formalny kształt (w tym sylabusy) 6 przedmiotów: *Globalne zmiany klimatu, Global Climate Change, Technologie oczyszczania gazów odlotowych, Ochrona atmosfery na terenach zurbanizowanych, Emisje zanieczyszczeń powietrza w biogospodarce, Strategia, polityka i prawo międzynarodowe w ochronie środowiska*.

Treści kształcenia wszystkich przedmiotów są na bieżąco aktualizowane i dostosowywane do zmieniających się potrzeb i stanu wiedzy, pozwalając studentom na zapoznanie się z najnowocześniejszymi narzędziami stosowanymi w dziedzinie zanieczyszczenia i ochrony powietrza. W czerwcu 2021 r. odbyłam kurs, organizowany przez Europejskie Regionalne Biuro Światowej Organizacji Zdrowia, dotyczący ilościowej oceny skutków zdrowotnych zanieczyszczeń powietrza z wykorzystaniem programu WHO AirQ+ („*WHO Online Training of Trainers Workshop to Estimate the Health Impact of Air Pollution*”, 11-16.06.2021). Ukończenie kursu pozwoliło mi na wprowadzenie tej tematyki do zajęć projektowych realizowanych w ramach 4 przedmiotów: *Ochrona powietrza, Ochrona atmosfery na terenach zurbanizowanych, Emisje zanieczyszczeń powietrza w biogospodarce oraz Air Pollution Control*. Ponadto, w latach 2014-2019 uczestniczyłam w spotkaniach międzynarodowej inicjatywy FAIRMODE (Forum for Air quality Modeling), w trakcie których poznałam



narzędzie SHERPA (Screening for High Emission Reduction Potential on Air), wykorzystywane do zarządzania jakością powietrza na szczeblu regionalnym i lokalnym. Zajęcia z wykorzystaniem tego narzędzia zostały również wprowadzone do 2 przedmiotów: *Systemy ochrony atmosfery i meteorologia techniczna* oraz *Air Pollution Control*.

Moja działalność dydaktyczna jest wysoko oceniana przez studentów – średnia z wyników anonimowych ankiet studenckich przeprowadzonych w ostatnich 2 latach wynosi 4.64 (skala 2 – 5). Zostałam również wyróżniona na forum Rady Wydziału Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska w związku z bardzo wysoką oceną uzyskaną za prowadzenie wykładów, projektów i laboratoriów w semestrze letnim 2020/2021.

W latach 2014-2023 byłam promotorem 55 prac dyplomowych – 32 prac inżynierskich (w tym 2 prac na kierunku *Environmental Engineering*) oraz 23 prac magisterskich (w tym 4 prac na kierunku *Environmental Protection Engineering*). W tym czasie pełniłam również rolę recenzenta 10 prac dyplomowych (9 inżynierskich i 1 magisterskiej).

Pełniłam również funkcję promotora pomocniczego w 2 zakończonych przewodach doktorskich:

- dr inż. Adam Jaroszek – *Analiza lokalnej dyspersji zanieczyszczeń promieniotwórczych w rejonie lokalizacji elektrowni jądrowej w Żarnowcu*. Promotor: prof. dr hab. inż. Katarzyna Juda-Rezler. Stopień nadany Uchwałą Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Warszawskiej z dnia 28 września 2021 r.
- dr inż. Anna Gayer – *Ocena personalnego narażenia na zanieczyszczenie powietrza pyłem PM<sub>2.5</sub> w środowisku miejskim, z uwzględnieniem dziennych aktywności mieszkańców*. Promotor: dr hab. inż. Artur Badyda, prof. uczelni. Stopień nadany Uchwałą Rady Wydziału Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej z dnia 29 czerwca 2018 r.

## 6.2. Osiągnięcia organizacyjne

Moja działalność organizacyjna obejmuje aktywne uczestnictwo na rzecz rozwoju Wydziału i Uczelni. Do moich największych osiągnięć organizacyjnych zaliczam pełnienie funkcji:

- członka Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka w kadencjach 2019-2020 oraz 2020-2024, w tym:
  - członka stałego Zespołu ds. Nauki i Ewaluacji (2019-2020)
  - członka stałego Zespołu ds. Kadr (2020-2024)
- pełnomocnika Dziekana ds. studiów na kierunku kształcenia *Ochrona Środowiska* (kadencja 2020-2024) – od października 2021 r.
  - W 2022 r. brałam aktywny udział w pracach związanych z akredytacją kierunku *Ochrona Środowiska*, zakończonej pozytywną oceną programową Polskiej Komisji Akredytacyjnej (z następną oceną w roku akademickim 2028/2029). Brałam udział w przygotowaniu raportu samooceny, a także odpowiedzi na uwagi Zespołu

Oceniającego PKA. Opracowałam również nowy, ujednolicony, wzór sylabusów dla przedmiotów realizowanych na I i II stopniu studiów.

- przewodniczącej Komisji ds. zmian na kierunku studiów *Ochrona Środowiska* – od listopada 2022 r.
  - W trakcie swojej działalności, Komisja wprowadziła do programu studiów I stopnia studiów nowe przedmioty obieralne – zmodernizowany program studiów jest realizowany od roku akademickiego 2022/2023. Następnie, Komisja opracowała nowy program studiów II stopnia, który będzie realizowany od roku akademickiego 2023/2024. Aktualnie, trwają prace nad opracowaniem nowego programu studiów I stopnia (planowane uruchomienie studiów od roku akademickiego 2024/2025).
- członka Dziekańskiej Komisji ds. Kształcenia (kadencja 2020-2024) – od listopada 2021
- członka Komisji ds. ewaluacji jakości prac dyplomowych obronionych w semestrze letnim roku akademickiego 2021/2022
- opiekuna praktyk studenckich na studiach I i II stopnia na kierunku *Ochrona Środowiska* – 2016-2021
- opiekuna praktyk studenckich na kierunkach *Environmental Engineering* (I stopień) oraz *Environment Protection Engineering* (II stopień) – 2016-2020

### 6.3. Osiągnięcia popularyzatorskie

Moje działania popularyzujące naukę miały na celu podnoszenie świadomości w zakresie przyczyn, skutków i możliwych rozwiązań problemu złej jakości powietrza i globalnych zmian klimatu. Były to działania skierowane do różnych grup odbiorców:

- Prezentacja dla studentów i pracowników Politechniki Warszawskiej pt.: „*Wpływ pandemii koronawirusa na jakość powietrza atmosferycznego*” w ramach Webinarium „*Środowiskowe skutki pandemii*”, Politechnika Warszawska, kwiecień 2021
- Zajęcia dla uczniów gimnazjum oraz klas 4-6 szkół podstawowych, a po reformie oświaty, dla uczniów klas 7-8 szkół podstawowych, w ramach Programu PW JUNIOR:
  - „*Co wisi w powietrzu? O zanieczyszczeniu powietrza i zmianach klimatu*” – Laboratoria komputerowe w semestrze zimowym 2019/2020
  - „*Zanieczyszczenie powietrza. O co chodzi?*” – Laboratoria komputerowe w semestrze letnim 2016/2017
  - „*Smog czy smok?*” – Wykłady w semestrze zimowym 2016/2017
- Wywiad dotyczący zagrożeń związanych z zanieczyszczeniem powietrza „*Cała prawda o smogu*” – Gazeta Powiatu Wołomińskiego „*Fakty.wvl*” nr 8 (346), 27 kwietnia 2017
- Lekcja dla uczniów Technikum Architektoniczno-Budowlanego w Warszawie pt.: „*Czym są zanieczyszczenia powietrza?*” – maj 2016



## 7. Inne informacje dotyczące kariery zawodowej

### 7.1. Finansowanie uzyskane na badania

Aktualnie kieruję projektem badawczym finansowanym przez Narodowe Centrum Nauki (konkurs SONATA-17) pt.: „*Charakter, pochodzenie i oddziaływania drobnych i ultradrobnych pyłów w powietrzu atmosferycznym i wewnętrznym środowiska miejskiego*” (nr projektu 2021/43/D/ST10/02176), który będzie realizowany do lipca 2025 r. Budżet projektu wynosi 734 322 PLN. Partnerem w projekcie jest Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk w Zabrze. Wśród 16 projektów zakwalifikowanych do finansowania w panelu ST10 „Nauki o Ziemi” projekt uplasował się na 4. pozycji listy rankingowej (Załącznik nr 8).

We wrześniu 2023 r. konsorcjum 15 instytucji, koordynowane przez Foundation for the Promotion of Health and Biomedical Research of Valencia Region (FISABIO), złożyło wniosek o finansowanie projektu badawczego w ramach programu Horyzont Europa (konkurs *HORIZON-HLTH-2024-ENVHLTH-02-06-two-stage: The role of environmental pollution in non-communicable diseases: air, noise and light and hazardous waste pollution*). W projekcie jest 4 partnerów z Polski, w tym ZOA PW (Lider w PW: dr inż. Magdalena Reizer). Wniosek jest w trakcie oceny.

### 7.2. Zestawienie liczbowe dorobku naukowego

Podsumowanie dorobku naukowego przedstawiono w poniższych tabelach.

**Tabela 7.1.** Zestawienie dorobku naukowego.

| L.p. | Rodzaj aktywności                                                    | Liczba |
|------|----------------------------------------------------------------------|--------|
| 1    | Publikacje w czasopismach wyróżnionych w JCR                         | 12     |
| 2    | Rozdziały w monografiach naukowych w języku angielskim               | 5      |
| 3    | Rozdziały w monografiach naukowych w języku polskim                  | 9      |
| 4    | Referaty wygłoszone na konferencjach międzynarodowych                | 6      |
| 5    | Referaty wygłoszone na ogólnokrajowych konferencjach cyklicznych     | 6      |
| 6    | Udział w komitetach organizacyjnych i naukowych konferencji          | 1      |
| 7    | Członkostwo w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism   | 1      |
| 8    | Recenzje prac naukowych                                              | 30     |
| 9    | Opracowania na zlecenia sektora gospodarczego                        | 2      |
| 10   | Opracowania na zamówienie instytucji publicznych lub przedsiębiorców | 10     |
| 11   | Kierowanie krajowymi projektami uzyskanymi w drodze konkursu         | 1      |
| 12   | Udział w krajowych projektach uzyskanych w drodze konkursu           | 2      |
| 13   | Udział w międzynarodowych projektach uzyskanych w drodze konkursu    | 2      |

Tabela 7.2. Wskaźniki naukometyczne (stan na 21 września 2023).

| L.p. | Rodzaj aktywności                                                                 | Web of Science | Scopus    |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------|
| 1    | Liczba publikacji w bazie                                                         | 16             | 16        |
| 2    | Sumaryczna liczba cytowań                                                         | 471            | 516       |
| 3    | Liczba cytowań bez autocytowań                                                    | 447 (95%)      | 492 (95%) |
| 4    | Sumaryczna liczba cytowań z rozszerzonym wyszukiwaniem* (Załącznik 9)             | 482            | 529       |
| 5    | Liczba cytowań bez autocytowań z rozszerzonym wyszukiwaniem* (Załącznik 9)        | 455 (94%)      | 499 (94%) |
| 6    | Indeks Hirscha                                                                    | 9              | 9         |
| 7    | Cykl publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe – liczba cytowań                 | 341            | 374       |
| 8    | Cykl publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe – liczba cytowań bez autocytowań | 329 (96%)      | 359 (96%) |

\* Web of Science: Researchers i Cited Reference Search; Scopus: Basic Search i Secondary Documents (stan na 7 września 2023)

### 7.3. Nagrody i wyróżnienia

W trakcie pełnienia obowiązków służbowych otrzymałam wiele nagród i wyróżnień Politechniki Warszawskiej, a także odznaczenie państwowe.

#### Odznaczenie Państwowe:

W 2020 roku decyzją Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej otrzymałam Medal Brązowy za Długoletnią Służbę.

#### Nagrody Rektora Politechniki Warszawskiej:

W latach 2012-2022 otrzymałam łącznie 7 nagród Rektora Politechniki Warszawskiej:

1. Nagroda zespołowa stopnia I za osiągnięcia naukowe w latach 2020-2021
2. Nagroda zespołowa stopnia II za osiągnięcia organizacyjne w r. akademickim 2017/2018
3. Nagroda indywidualna stopnia II za osiągnięcia naukowe w latach 2016-2017
4. Nagroda zespołowa stopnia I za osiągnięcia naukowe w latach 2014-2015
5. Nagroda indywidualna stopnia III za osiągnięcia naukowe w roku 2014
6. Nagroda zespołowa stopnia I za osiągnięcia naukowe w latach 2011-2012
7. Nagroda zespołowa stopnia I za osiągnięcia naukowe w latach 2010-2011

#### Wyróżnienie:

W 2022 r. otrzymałam wyróżnienie Dziekana Wydziału Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej za szczególny wkład w budowanie wizerunku Wydziału w 2021 r.



**Inne nagrody:**

Nagroda w konkursie „Best Paper” na najlepsze artykuły naukowe opublikowane w roku 2020, Politechnika Warszawska, Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza (Nagrodzony artykuł: I.5).

  
.....  
(podpis wnioskodawcy)

Podpisane elektronicznie przez Magdalena Marta Reizer

(Certyfikat kwalifikowany) w dniu 2023-09-21.



**Politechnika Warszawska**

**Wydział Instalacji Budowlanych,  
Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska**

**Wykaz osiągnięć naukowych, stanowiących  
znaczny wkład w rozwój dyscypliny  
inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka**

**dr inż. Magdalena Reizer**

Warszawa, wrzesień 2023



## Spis treści

|                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| I. WYKAZ OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH, O KTÓRYCH MOWA W ART. 219 UST. 1. PKT 2 USTAWY .....                                                                                                                                                                                                        | 4  |
| II. WYKAZ AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ.....                                                                                                                                                                                                                                                        | 6  |
| 1. Wykaz opublikowanych monografii naukowych.....                                                                                                                                                                                                                                         | 6  |
| 2. Wykaz opublikowanych rozdziałów w monografiach naukowych.....                                                                                                                                                                                                                          | 6  |
| 3. Wykaz członkostwa w redakcjach naukowych monografii .....                                                                                                                                                                                                                              | 8  |
| 4. Wykaz opublikowanych artykułów w czasopismach naukowych (niewymienionych w pkt I) .....                                                                                                                                                                                                | 8  |
| 5. Wykaz osiągnięć projektowych, konstrukcyjnych, technologicznych.....                                                                                                                                                                                                                   | 9  |
| 6. Wykaz publicznych realizacji dzieł artystycznych.....                                                                                                                                                                                                                                  | 9  |
| 7. Wykaz wystąpień na krajowych lub międzynarodowych konferencjach naukowych, z wyszczególnieniem przedstawionych wykładów na zaproszenie i wykładów plenarnych.....                                                                                                                      | 9  |
| 8. Wykaz udziału w komitetach organizacyjnych i naukowych konferencji krajowych lub międzynarodowych, z podaniem pełnionej funkcji.....                                                                                                                                                   | 14 |
| 9. Wykaz uczestnictwa w pracach zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych, z podziałem na projekty zrealizowane i będące w toku realizacji, oraz z uwzględnieniem informacji o pełnionej funkcji w ramach prac zespołów ..... | 14 |
| 10. Wykaz członkostwa w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych wraz z informacją o pełnionych funkcjach .....                                                                                                                                             | 15 |
| 11. Wykaz staży w instytucjach naukowych lub artystycznych, w tym zagranicznych, z podaniem miejsca, terminu, czasu trwania stażu i jego charakteru.....                                                                                                                                  | 15 |
| 12. Wykaz członkostwa w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism wraz z informacją o pełnionych funkcjach .....                                                                                                                                                               | 17 |
| 13. Wykaz recenzowanych prac naukowych, w szczególności publikowanych w czasopismach międzynarodowych .....                                                                                                                                                                               | 17 |
| 14. Wykaz uczestnictwa w programach europejskich lub innych programach międzynarodowych ....                                                                                                                                                                                              | 18 |
| 15. Wykaz udziału w zespołach badawczych, realizujących projekty inne niż określone w pkt. II.9 ..                                                                                                                                                                                        | 18 |
| 16. Wykaz uczestnictwa w zespołach oceniających wnioski o finansowanie badań, wnioski o przyznanie nagród naukowych, wnioski w innych konkursach mających charakter naukowy lub dydaktyczny....                                                                                           | 20 |
| III. WSPÓŁPRACA Z OTOCZENIEM SPOŁECZNYM I GOSPODARCZYM.....                                                                                                                                                                                                                               | 21 |
| 1. Wykaz dorobku technologicznego .....                                                                                                                                                                                                                                                   | 21 |
| 2. Współpraca z sektorem gospodarczym .....                                                                                                                                                                                                                                               | 21 |
| 3. Wykaz uzyskanych praw własności przemysłowej, w tym uzyskanych patentów krajowych lub międzynarodowych .....                                                                                                                                                                           | 21 |
| 4. Wykaz wdrożonych technologii.....                                                                                                                                                                                                                                                      | 21 |
| 5. Wykaz wykonanych ekspertyz lub innych opracowań wykonanych na zamówienie instytucji publicznych lub przedsiębiorców.....                                                                                                                                                               | 21 |
| 6. Wykaz udziału w zespołach eksperckich lub konkursowych.....                                                                                                                                                                                                                            | 23 |
| 7. Wykaz projektów artystycznych realizowanych ze środowiskami pozaartystycznymi .....                                                                                                                                                                                                    | 23 |

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| IV. DANE NAUKOMETRYCZNE .....                                                            | 24 |
| 1. Impact Factor.....                                                                    | 24 |
| 2. Liczba cytowań publikacji wnioskodawcy, z oddzielnym uwzględnieniem autocytowań ..... | 24 |
| 3. Indeks Hirscha.....                                                                   | 24 |



# 1. WYKAZ OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH, O KTÓRYCH MOWA W ART. 219 UST. 1. PKT 2 USTAWY

Cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2b Ustawy

Osiągnięcie naukowe stanowi cykl 7 powiązanych tematycznie artykułów naukowych pod wspólnym tytułem:

*Modelowanie receptorowe jako narzędzie do identyfikacji pochodzenia i właściwości pyłu zawieszonego w powietrzu atmosferycznym*

✉ autor korespondencyjny

Indywidualny wkład w powstanie publikacji został opisany w Załączniku nr 3 (Autoreferat), oświadczenia współautorów stanowią Załącznik nr 6.

1. Juda-Rezler K.<sup>✉</sup>, Reizer M., Oudinet J.-P., 2011. Determination and analysis of PM<sub>10</sub> source apportionment during episodes of air pollution in Central Eastern European urban areas: The case of wintertime 2006. *Atmospheric Environment*, 45 (36), 6557-6566. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2011.08.020.

---

IF<sub>2011</sub> = 3.465; Pkt. MNiSW<sub>2011</sub> (przed reformą)<sup>1</sup> = 40; Liczba cytowań (wg WoS) = 112

---

2. Reizer M.<sup>✉</sup>, Juda-Rezler K., 2016. Explaining the high PM<sub>10</sub> concentrations observed in Polish urban areas. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 9, 517-531. DOI: 10.1007/s11869-015-0358-z.

---

IF<sub>2016</sub> = 3.184; Pkt. MNiSW<sub>2016</sub> (przed reformą) = 25; Liczba cytowań (wg WoS) = 77

---

3. Reizer M.<sup>✉</sup>, Orza J.A.G., 2018. Identification of PM<sub>10</sub> air pollution origins at a rural background site. *E3S Web of Conferences*, 28, Numer artykułu: 01031, 1-7. DOI: 10.1051/e3sconf/20182801031.

---

Pkt. MNiSW<sub>2018</sub> (przed reformą) = 15; Liczba cytowań (wg WoS) = 7

---

4. Belis C.A.<sup>✉</sup>, Pernigotti D., Pirovano G., Favez O., Jaffrezo J.L., Kuenen J., Denier van Der Gon H., Reizer M., Riffault V., Alleman L.Y., Almeida M., i in., 2020. Evaluation of receptor and chemical transport models for PM<sub>10</sub> source apportionment. *Atmospheric Environment: X*, 5, ID artykułu: 100053, 1-23. DOI: 10.1016/j.aeaoa.2019.100053.

---

IF<sub>2020</sub> = 0 (IF<sub>2022</sub> = 4.6); Pkt. MEiN<sub>2020</sub> = 20; Liczba cytowań (wg WoS) = 59

---

<sup>1</sup> „przed reformą” oznacza punktację osiągnięcia zgodnie z zasadami obowiązującymi do 2018 r., natomiast „po reformie” oznacza punktację osiągnięcia zgodnie z zasadami określonymi w aktach wykonawczych do ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r. (DZ. U. z 2018 r. poz. 1668 ze zm.).

5. Juda-Rezler K.<sup>OR</sup>, Reizer M., Maciejewska K., Błaszczak B., Klejnowski K., 2020. Characterization of atmospheric PM<sub>2.5</sub> sources at a Central European urban background site. *Science of the Total Environment*, 713, ID artykułu: 136729. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.136729.

---

IF<sub>2020</sub> = 7.963; Pkt. MEiN<sub>2020</sub> = 200; Liczba cytowań (wg WoS) = 67

---

6. Reizer M.<sup>OR</sup>, Calzolari G., Maciejewska K., Orza J.A.G., Carraresi L., Lucarelli F., Juda-Rezler K., 2021. Measurement report: Receptor modeling for source identification of urban fine and coarse particulate matter using hourly elemental composition. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14471-14492. DOI: 10.5194/acp-21-14471-2021.

---

IF<sub>2021</sub> = 7.197; Pkt. MEiN<sub>2021</sub> = 140; Liczba cytowań (wg WoS) = 4

---

7. Juda-Rezler K.<sup>OR</sup>, Zajusz-Zubek E., Reizer M., Maciejewska K., Kurek E., Bulska E., Klejnowski K., 2021. Bioavailability of elements in atmospheric PM<sub>2.5</sub> during winter episodes at Central Eastern European urban background site. *Atmospheric Environment*, 245, ID artykułu: 117993. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2020.117993.

---

IF<sub>2021</sub> = 5.755; Pkt. MEiN<sub>2021</sub> = 100; Liczba cytowań (wg WoS) = 15

---



## II. WYKAZ AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ

### 1. Wykaz opublikowanych monografii naukowych

-

### 2. Wykaz opublikowanych rozdziałów w monografiach naukowych

#### Po uzyskaniu stopnia doktora

1. Juda-Rezler K., Zajusz-Zubek E., **Reizer M.**, Maciejewska K., Klejnowski K., **2020**. Biodostępność pierwiastków śladowych w atmosferycznym pyłe zawieszonym PM<sub>2.5</sub> podczas epizodów zimowych obserwowanych w Warszawie. W: *Aktualne trendy w ochronie powietrza i klimatu - kontrola, monitoring, prognozowanie i ograniczanie emisji*, Sówka I., Gaj K., Miller U. (red.), Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 83-85. ISBN: 978-83-7493-140-3, DOI:10.37190/POL-EMIS2020.
2. **Reizer M.**, Maciejewska K., Juda-Rezler K., **2018**. Analiza wyników pierwszej w Polsce kampanii pomiarowej składu pyłu zawieszonego w wysokiej rozdzielczości czasowej (pobornik Streaker). W: *Aktualne problemy w inżynierii i ochronie atmosfery*, Kuropka J., Gaj K., Sówka I. (red.), Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 190-197. ISBN: 978-83-7493-020-8.
3. Belis C., Baldasano J., Blond N., Bouland C., Buekers J., Carnevale C., Cherubini A., Clappier A., De Saeger E., Douros J., Finzi G., Fragkou E., Gama C., Graff A., Guariso G., Janssen S., Juda-Rezler K., Karvosenoja N., Maffei G., Martilli A., Mills S., Miranda A.I., Moussiopoulos N., Nahorski Z., Pisoni E., Ponche J.-L., Rasoloharimahefa M., Real E., **Reizer M.**, Relvas H., Roncolato D., Tainio M., Thunis P., Viaene P., Vlachokostas C., Volta M., White L., **2017**. Current European AQ Planning at Regional and Local Scale. W: *Air Quality Integrated Assessment. A European Perspective*, Guariso G., Volta M. (red.), SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology, Cham, Switzerland, 37-68. ISBN: 978-3-319-33348-9, DOI: 10.1007/978-3-319-33349-6\_3.
4. **Reizer M.**, **2016**. Co to jest pył zawieszony? W: *Pyły drobne w atmosferze. Kompendium wiedzy o zanieczyszczeniu powietrza pyłem zawieszonym w Polsce*, Juda-Rezler K., Toczko B. (red.), Biblioteka Monitoringu Środowiska, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa, 11-21. ISBN: 978-83-61227-73-1.
5. **Reizer M.**, **2016**. Oddziaływanie pyłu zawieszonego na środowisko. Wpływ na ekosystemy. Wpływ na materiały. W: *Pyły drobne w atmosferze. Kompendium wiedzy o zanieczyszczeniu powietrza pyłem zawieszonym w Polsce*, Juda-Rezler K., Toczko B. (red.), Biblioteka Monitoringu Środowiska, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa, 93-95. ISBN: 978-83-61227-73-1.

6. **Reizer M., 2016.** Modelowanie receptorowe. W: *Pyły drobne w atmosferze. Kompendium wiedzy o zanieczyszczeniu powietrza pyłem zawieszonym w Polsce*, Juda-Rezler K., Toczko B. (red.), Biblioteka Monitoringu Środowiska, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa, 132-134, ISBN: 978-83-61227-73-1.
7. Błaszczak B., **Reizer M.**, Juda-Rezler K., Krajny E., Mathews B., Klejnowski K., **2016.** Analysis of National Versus Long-Range Transport Contribution to Organic and Inorganic Aerosol Load in Selected Location in Poland. W: *Air Pollution Modeling and its Application XXIV*, Steyn D.G., Chaumerliac N. (red.), Springer Proceedings in Complexity, Springer International Publishing, Cham, Switzerland, 65-70, ISBN: 978-3-319-24476-1, DOI: 10.1007/978-3-319-24478-5\_11.
8. **Reizer M., 2014.** Identyfikacja przyczyn występowania epizodów pyłowych w wybranych miastach w Polsce. W: *Ochrona powietrza w teorii i praktyce*, Koniecznyński J (red.), Tom 2, Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, Zabrze, 217-230, ISBN: 978-83-60877-17-3.
9. **Reizer M.**, Juda-Rezler K., Maciejewska K., **2014.** Source apportionment of episodic PM<sub>10</sub> air pollution in Polish urban areas. W: *ProScience 1*, Fiore S. (red.), ProScience, 1, Digilabs S.a.s., Bari, Italy, 85-93, DOI: 10.14644/dust.2014.014.

#### Przed uzyskaniem stopnia doktora

10. Maciejewska K., **Reizer M., 2012.** Analiza porównawcza zmienności stężeń sadzy na wybranych stacjach pomiarowych w Europie. W: *Ochrona powietrza w teorii i praktyce*, Koniecznyński J. (red.), Tom 2, Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, Zabrze, 181-192, ISBN: 978-83-60877-92-0.
11. Juda-Rezler K., Trapp W., **Reizer M., 2010.** Modelling the impact of climate changes on PM levels in Poland. W: *Air Pollution Modeling and its Application XX*, Steyn D.G., Rao S.T. (red.), Springer, Dordrecht, The Netherlands, 509-514, ISBN: 978-90-481-3810-4.
12. **Reizer M.**, Juda-Rezler K., **2010.** Wpływ projekcji zmian klimatycznych na wybrane parametry meteorologiczne nad obszarem Polski. W: *Ochrona powietrza w teorii i praktyce*, Koniecznyński J (red.), Tom 2, Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, Zabrze, 271-281, ISBN: 978-83-60877-52-4.
13. **Reizer M.**, Juda-Rezler K., Trapp W., **2010.** Wpływ przewidywanych zmian klimatu na stężenia i depozycje SO<sub>x</sub> w Europie środkowo-wschodniej. W: *Współczesne osiągnięcia w ochronie powietrza atmosferycznego*, Musialik-Piotrowska A., Rutkowski J.D. (red.), Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych, Wrocław, 327-336, ISBN: 978-83-921167-9-0.



14. Trapp W., Juda-Rezler K., Warchałowski A., **Reizer M.**, Paciorek M., Paciorek M., 2010. Modeling of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> particulate matter air pollution in Poland. W: *Environmental Engineering III*, Pawłowski A., Pawłowski L., Dudzińska M.R. (red.), CRC Press Taylor and Francis Group, Boca Raton, FL, USA, 97-104. ISBN: 978-0-415-54882-3, DOI:10.1201/b10566.

### 3. Wykaz członkostwa w redakcjach naukowych monografii

-

4. Wykaz opublikowanych artykułów w czasopismach naukowych (niewymienionych w pkt I)

### Po uzyskaniu stopnia doktora

1. Błaszczak B., Juda-Rezler K., Rogula-Kozłowska W., **Reizer M.**, Mathews B., Maciejewska K., Klejnowski K., 2017. Ionic composition of fine particulate matter from urban and regional background sites in Poland. *Environmental Engineering Science*, 34, 236-250. DOI: 10.1089/ees.2016.0193.

---

**IF<sub>2017</sub> = 1.547; Pkt. MNiSW<sub>2015</sub> (przed reformą) = 20; Liczba cytowań (wg WoS) = 3**

---

2. Maciejewska K., Juda-Rezler K., **Reizer M.**, Klejnowski K., 2015. Modelling of black carbon statistical distribution and return periods of extreme concentrations. *Environmental Modelling & Software*, 74, 212-226. DOI: 10.1016/j.envsoft.2015.04.016.

---

**IF<sub>2015</sub> = 4.207; Pkt. MNiSW<sub>2015</sub> (przed reformą) = 40; Liczba cytowań (wg WoS) = 19**

---

### Przed uzyskaniem stopnia doktora

3. Tainio M., Juda-Rezler K., **Reizer M.**, Warchałowski A., Trapp W., Skotak K., 2013. Future climate and adverse health effects caused by fine particulate matter air pollution: case study for Poland. *Regional Environmental Change*, 13, 705-715. DOI: 10.1007/s10113-012-0366-6.

---

**IF<sub>2013</sub> = 2.260; Pkt. MNiSW<sub>2013</sub> (przed reformą) = 25; Liczba cytowań (wg WoS) = 31**

---

4. Juda-Rezler K., **Reizer M.**, Huszar P., Krüger B., Zanis P., Syrakov D., Katragkou E., Trapp W., Melas D., Chervenkov H., 2012. Modelling the effects of climate change on air quality over Central and Eastern Europe: concept, evaluation and projections. *Climate Research*, 53, 179-203. DOI: 10.3354/cr01072.

---

**IF<sub>2012</sub> = 2.684; Pkt. MNiSW<sub>2012</sub> (przed reformą) = 30; Liczba cytowań (wg WoS) = 36**

---

5. Huszar P., Juda-Rezler K., Halenka T., Chervenkov H., Syrakov D., Krüger B., Zanis P., Melas D., Katragkou E., **Reizer M.**, Trapp W., Belda M., 2011. Effects of climate change on ozone and particulate matter over Central and Eastern Europe. *Climate Research*, 50, 51-68. DOI: 10.3354/cr01036.

---

IF<sub>2011</sub> = 1.994; Pkt. MNiSW<sub>2011</sub> (przed reformą) = 30; Liczba cytowań (wg WoS) = 29

---

6. Juda-Rezler K., **Reizer M.**, Trapp W., 2011. Analysis of possible climate change impacts on air pollution by sulfur species over Central-Eastern Europe. *Environment Protection Engineering*, 37 (2), 109-121.

---

IF<sub>2011</sub> = 0.520; Pkt. MNiSW<sub>2011</sub> (przed reformą) = 15; Liczba cytowań (wg WoS) = 2

---

5. Wykaz osiągnięć projektowych, konstrukcyjnych, technologicznych

-

6. Wykaz publicznych realizacji dzieł artystycznych

Nie dotyczy

7. Wykaz wystąpień na krajowych lub międzynarodowych konferencjach naukowych, z wyszczególnieniem przedstawionych wykładów na zaproszenie i wykładów plenarnych

#### A. Wygłoszone referaty

##### Po uzyskaniu stopnia doktora

1. *Nazwa konferencji:* XV Konferencja Naukowa POL-EMIS 2021: Aktualne trendy w ochronie powietrza i klimatu – kontrola, monitoring, prognozowanie i ograniczanie emisji (Ogólnopolska konferencja cykliczna)

*Data i miejsce konferencji:* 29-31.03.2021, Wrocław (konferencja on-line)

*Referat:* „Biodostępność pierwiastków śladowych w atmosferycznym pyłe zawieszonym PM<sub>2.5</sub> podczas epizodów zimowych obserwowanych w Warszawie”

*Autorzy*<sup>2</sup>: Juda-Rezler K., Zajusz-Zubek E., **Reizer M.**, Maciejewska K., Klejnowski K.

2. *Nazwa konferencji:* XIV Konferencja Naukowa POL-EMIS 2018: Aktualne problemy w inżynierii i ochronie atmosfery (Ogólnopolska konferencja cykliczna)

*Data i miejsce konferencji:* 20-23.06.2018, Boguszów-Gorce

*Referat:* „Analiza wyników pierwszej w Polsce kampanii pomiarowej składu pyłu zawieszonego w wysokiej rozdzielczości czasowej (pobornik Streaker)”

*Autorzy:* **Reizer M.**, Maciejewska K., Juda-Rezler K., Lucarelli F., Calzolari G., Nava S.

---

<sup>2</sup> Podkreślono osobę prezentującą referat/poster



3. *Nazwa konferencji:* X Konferencja Naukowa Ochrona powietrza w teorii i praktyce (Ogólnopolska konferencja cykliczna)  
*Data i miejsce konferencji:* 18-21.10.2017, Zakopane  
*Referat:* „Identyfikacja potencjalnych obszarów źródłowych zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym w obszarze pozamiejskim”  
*Autorzy:* **Reizer M.**, Orza J.A.G.
4. *Nazwa konferencji:* EAC 2017, European Aerosol Conference (Konferencja cykliczna)  
*Data i miejsce konferencji:* 27.08-01.09.2017, Zurych, Szwajcaria  
*Poster:* „Comprehensive analysis of HYSPLIT model sensitivity to different meteorological input data”  
*Autorzy:* **Reizer M.**, Orza J.A.G., Juda-Rezler K.
5. *Nazwa konferencji:* ASAAQ14, 14th International Conference on Atmospheric Sciences and Applications to Air Quality (Konferencja cykliczna)  
*Data i miejsce konferencji:* 29-31.05.2017, Strasburg, Francja  
*Referat:* „Source apportionment of urban PM using hourly resolved trace elements”  
*Autorzy:* **Reizer M.**, Juda-Rezler K., Calzolari G., Maciejewska K., Orza J.A.G., Nava S., Lucarelli F.
6. *Nazwa konferencji:* DUST 2016, 2nd International Conference on Atmospheric Dust (Konferencja cykliczna)  
*Data i miejsce konferencji:* 12-17.06.2016, Castellana Marina, Włochy  
*Referat:* „Chemical composition of fine particulate matter from selected urban and rural background areas in Poland in relation to air mass origin”  
*Autorzy:* Błaszczak B., **Reizer M.**, Juda-Rezler K., Mathews B., Klejnowski K.
7. *Nazwa konferencji:* IX Konferencja Naukowa Ochrona powietrza w teorii i praktyce (Ogólnopolska konferencja cykliczna)  
*Data i miejsce konferencji:* 14-17.10.2014, Zakopane  
*Referat:* „Identyfikacja przyczyn występowania epizodów pyłowych w wybranych miastach polskich”  
*Autorzy:* **Reizer M.** (referat autorski)
8. *Nazwa konferencji:* DUST 2014, 1st International Conference on Atmospheric Dust (Konferencja cykliczna)  
*Data i miejsce konferencji:* 01-06.06.2014, Castellana Marina, Włochy  
*Poster:* „Source apportionment of severe PM<sub>10</sub> air pollution events in Polish urban areas”  
*Autorzy:* **Reizer M.**, Maciejewska K., Juda-Rezler K.

**Przed uzyskaniem stopnia doktora**

9. *Nazwa konferencji:* UEP 2012, Urban Environmental Pollution: Creating Healthy, Liveable Cities (Konferencja cykliczna)  
*Data i miejsce konferencji:* 17-20.06.2012, Amsterdam, Holandia  
*Poster:* „An analysis of PM<sub>10</sub> severe air pollution events in Polish urban areas using source apportionment methodology”  
*Autorzy:* **Reizer M.**, Juda-Rezler K., Oudinet J.-P.
10. *Nazwa konferencji:* 22nd UNECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution CCE Workshop on the evaluation of air pollution impacts on ecosystems in a multiple issues – multiple effects context (Konferencja cykliczna)  
*Data i miejsce konferencji:* 16-19.04.2012, Warszawa  
*Referat:* „Impact of climate changes on forest ecosystems sensitivity to atmospheric deposition of sulphur and nitrogen – the case study of Poland”  
*Autorzy:* Juda-Rezler K., **Reizer M.**, Mill W., Pecka T., Schlama A.
11. *Nazwa konferencji:* VII Konferencja Naukowa Ochrona powietrza w teorii i praktyce (Ogólnopolska konferencja cykliczna)  
*Data i miejsce konferencji:* 14-16.10.2010, Zakopane  
*Referat:* „Wpływ projekcji zmian klimatycznych na wybrane parametry meteorologiczne nad obszarem Polski”  
*Autorzy:* **Reizer M.**, Juda-Rezler K.
12. *Nazwa konferencji:* Jubileuszowa X Konferencja naukowo-techniczna POL-EMIS 2010: Współczesne osiągnięcia w ochronie powietrza atmosferycznego (Ogólnopolska konferencja cykliczna)  
*Data i miejsce konferencji:* 16-19.06.2010, Polanica-Zdrój  
*Referat:* „Wpływ przewidywanych zmian klimatu na stężenia i depozycje SO<sub>x</sub> w Europie środkowo-wschodniej”  
*Autorzy:* **Reizer M.**, Juda-Rezler K., Trapp W.

**B. Współautorstwo wygłoszonego referatu****Po uzyskaniu stopnia doktora**

1. *Nazwa konferencji:* X Konferencja Naukowa Ochrona powietrza w teorii i praktyce (Ogólnopolska konferencja cykliczna)  
*Data i miejsce konferencji:* 18-21.10.2017, Zakopane  
*Referat:* „Identyfikacja źródeł pyłu PM<sub>2.5</sub> w Warszawie z wykorzystaniem modelowania receptorowego”  
*Autorzy:* Juda-Rezler K., **Reizer M.**, Maciejewska K., Klejnowski K., Orza J.A.G.



2. *Nazwa konferencji:* EAC 2017, European Aerosol Conference (Konferencja cykliczna)  
*Data i miejsce konferencji:* 27.08-01.09.2017, Zurych, Szwajcaria  
*Referat:* „Characterization of PM<sub>2.5</sub> sources at Central European urban background site”  
*Autorzy:* Juda-Rezler K., **Reizer M.**, Orza J.A.G., Maciejewska K., Klejnowski K., Błaszczak B.
3. *Nazwa konferencji:* RICTA'17, 5th Iberian Meeting on Aerosol Science and Technology (Konferencja cykliczna)  
*Data i miejsce konferencji:* 04-06.07.2017, Barcelona, Hiszpania  
*Poster:* „Analysis of HYSPLIT model sensitivity to different meteorological input data in different geographical areas”  
*Autorzy:* Orza J.A.G., **Reizer M.**, Juda-Rezler K.
4. *Nazwa konferencji:* DUST 2016, 2nd International Conference on Atmospheric Dust (Konferencja cykliczna)  
*Data i miejsce konferencji:* 12-17.06.2016, Castellaneta Marina, Włochy  
*Referat:* „Source apportionment of wintertime PM<sub>2.5</sub> mass observed in Warsaw agglomeration using receptor model”  
*Autorzy:* Juda-Rezler K., **Reizer M.**, Błaszczak B., Maciejewska K., Klejnowski K.
5. *Nazwa konferencji:* DUST 2016, 2nd International Conference on Atmospheric Dust (Konferencja cykliczna)  
*Data i miejsce konferencji:* 12-17.06.2016, Castellaneta Marina, Włochy  
*Referat:* „Assessment of acute health effects of urban wintertime PM episodes”  
*Autorzy:* **Reizer M.**, Maciejewska K., Rabczenko D., Juda-Rezler K.
6. *Nazwa konferencji:* 34th International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application (Konferencja cykliczna)  
*Data i miejsce konferencji:* 04-08.05.2015, Montpellier, Francja  
*Referat:* „Analysis of national vs. long-range transport contribution to organic and inorganic aerosol load in selected location in Poland”  
*Autorzy:* Błaszczak B., Juda-Rezler K., **Reizer M.**, Krajny E., Mathews B.
7. *Nazwa konferencji:* IX Konferencja Naukowa Ochrona powietrza w teorii i praktyce (Ogólnopolska konferencja cykliczna)  
*Data i miejsce konferencji:* 14-17.10.2014, Zakopane  
*Referat:* „Modelowanie statystycznego rozkładu stężeń sadzy oraz pyłu zawieszonego PM<sub>2.5</sub>”  
*Autorzy:* Maciejewska K., Juda-Rezler K., **Reizer M.**, Klejnowski K.

**Przed uzyskaniem stopnia doktora**

8. *Nazwa konferencji:* EGU 2013, European Geosciences Union General Assembly 2013 (Konferencja cykliczna)  
*Data i miejsce konferencji:* 07-12.04.2013, Wiedeń, Austria  
*Poster:* „Simulation of air quality over Central-Eastern Europe – Performance evaluation of WRF-CAMx modelling system”  
*Autorzy:* Maciejewska K., Juda-Rezler K., **Reizer M.**
9. *Nazwa konferencji:* VIII Konferencja Naukowa Ochrona powietrza w teorii i praktyce (Ogólnopolska konferencja cykliczna)  
*Data i miejsce konferencji:* 14-17.10.2012, Zakopane  
*Referat:* „Analiza porównawcza zmienności stężeń sadzy na wybranych stacjach pomiarowych w Europie”  
*Autorzy:* Maciejewska K., **Reizer M.**
10. *Nazwa konferencji:* ESA2012, 5th European Symposium on Aerobiology (Konferencja cykliczna)  
*Data i miejsce konferencji:* 03-07.09.2012, Kraków  
*Referat:* „PM<sub>10</sub> source apportionment in Polish urban areas: a new methodology and prospective developments”  
*Autorzy:* Juda-Rezler K., **Reizer M.**, Oudinet J.-P.
11. *Nazwa konferencji:* III Ogólnopolski Kongres Inżynierii Środowiska (Konferencja cykliczna)  
*Data i miejsce konferencji:* 13-16.09.2009, Lublin  
*Referat:* „Modelowanie zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego pyłem drobnym PM<sub>10</sub> i PM<sub>2.5</sub> dla obszaru Polski”  
*Autorzy:* Juda-Rezler K., Trapp W., Warchałowski A., **Reizer M.**, Paciorek M., Paciorek M.K.
12. *Nazwa konferencji:* 30th NATO/SPS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application (Konferencja cykliczna)  
*Data i miejsce konferencji:* 18-22.05.2009, San Francisco, USA  
*Referat:* „Modelling the impact of climate changes on Particulate Matter levels over Poland”  
*Autorzy:* Juda-Rezler K., Trapp W., **Reizer M.**



8. Wykaz udziału w komitetach organizacyjnych i naukowych konferencji krajowych lub międzynarodowych, z podaniem pełnionej funkcji

1. *International Conference on Climate Change: Challenges for Life Quality*, 19-21.10.2023, Warszawa – członek Komitetu Naukowego.

9. Wykaz uczestnictwa w pracach zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych, z podziałem na projekty zrealizowane i będące w toku realizacji, oraz z uwzględnieniem informacji o pełnionej funkcji w ramach prac zespołów

**Projekty w realizacji:**

1. Tytuł projektu: *Charakter, pochodzenie i oddziaływania drobnych i ultradrobnych pyłów w powietrzu atmosferycznym i wewnętrznym środowiska miejskiego*  
Instytucja finansująca: **Narodowe Centrum Nauki**, konkurs **SONATA-17**  
Numer projektu: 2021/43/D/ST10/02176  
Okres realizacji: 2022-2025  
Rola w projekcie: **Kierownik**

**Projekty zakończone:**

**Po uzyskaniu stopnia doktora**

2. Tytuł projektu: *Identyfikacja różnych typów pyłów atmosferycznych wraz z oceną ich oddziaływań*  
Instytucja finansująca: **Narodowe Centrum Nauki**, konkurs **OPUS-7**  
Numer projektu: 2014/13/B/ST10/01096  
Okres realizacji: 2015-2018  
Kierownik projektu: Prof. dr hab. inż. Katarzyna Juda-Rezler (Politechnika Warszawska)  
Rola w projekcie: **Wykonawca**
3. Tytuł projektu: *ACTRIS-2 – Aerosols, Clouds, and Trace gases Research InfraStructure*  
Instytucja finansująca: **Program Horyzont 2020 Unii Europejskiej**, konkurs H2020-INFRAIA-2014-2015: Integrating and opening existing national and regional research infrastructures of European interest  
Numer projektu: 654109  
Okres realizacji: 2015-2019  
Rola w projekcie: Zespół Ochrony Atmosfery Politechniki Warszawskiej, którego jestem członkiem był **partnerem stowarzyszonym** projektu

4. Tytuł projektu: *Identyfikacja źródeł występowania wysokich stężeń pyłów w atmosferze wybranych miast Polski*  
Instytucja finansująca: **Narodowe Centrum Nauki**, konkurs **OPUS-2**  
Numer projektu: 2011/03/B/ST10/04624  
Okres realizacji: 2012-2015  
Kierownik projektu: Prof. dr hab. inż. Katarzyna Juda-Rezler (Politechnika Warszawska)  
Rola w projekcie: **Główny wykonawca**
5. Tytuł projektu: *APPRAISAL – Air Pollution Policies for Assessment of Integrated Strategies At regional and Local scales*  
Instytucja finansująca: **7. Program Ramowy Unii Europejskiej**, konkurs FP7-ENV.2012.6.5-4: Integrated assessment of air pollution supporting the revision of EU air quality legislation  
Numer projektu: 308395  
Okres realizacji: 2012-2015  
Koordynator projektu: Prof. Marialuisa Volta (University of Brescia, Włochy)  
Rola w projekcie: **Ekspert zewnętrzny**

**Przed uzyskaniem stopnia doktora**

6. Tytuł projektu: *CECILIA – Central and Eastern Europe Climate Change Impact and Vulnerability Assessment*  
Instytucja finansująca: **6. Program Ramowy Unii Europejskiej**, konkurs FP6-SUSTDEV-2005-3.1.3.2: Climate changes in central-eastern Europe  
Numer projektu: GOCE-037005  
Okres realizacji: 2006-2009  
Koordynator projektu: doc. RNDr. Tomáš Halenka (Charles University, Praga, Czechy)  
Rola w projekcie: **Wykonawca**

10. Wykaz członkostwa w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych wraz z informacją o pełnionych funkcjach

-

11. Wykaz staży w instytucjach naukowych lub artystycznych, w tym zagranicznych, z podaniem miejsca, terminu, czasu trwania stażu i jego charakteru

**Po uzyskaniu stopnia doktora**

1. Staż naukowy pod opieką Prof. Gwenaëlle Trouvé w Université de Haute-Alsace, Risk Management and Environment Laboratory (GRE LAB), Miluza, Francja, 07-12.09.2014 (Załącznik nr 7)



- Zakres tematyczny: Badania emisji zanieczyszczeń powietrza ze spalania różnych rodzajów biomasy.
  - Źródło finansowania: Projekt NCN OPUS-2 pt. „Identyfikacja źródeł występowania wysokich stężeń pyłów w atmosferze wybranych miast Polski” (Kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Katarzyna Juda-Rezler)
2. *GAWTEC 30 – 30th session of the Global Atmosphere Watch Training & Education Centre Training Course on Physical Properties and Sampling of Aerosols*. Szkolenie w stacji badań jakości środowiska UFS Schneckenerhaus, Zugspitze, Niemcy, 3-16.04.2016 (Załącznik nr 7)
- Zakres tematyczny: Właściwości fizykochemiczne aerozoli oraz metody pomiarowe stężeń masowych i liczbowych pyłu.
  - Źródło finansowania: Uzyskane stypendium GAWTEC oraz Projekt NCN OPUS-7 pt. „Identyfikacja różnych typów pyłów atmosferycznych wraz z oceną ich oddziaływań” (Kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Katarzyna Juda-Rezler)

#### Przed uzyskaniem stopnia doktora

3. *2nd Summer School of the Italian Aerosol Society on the atmospheric aerosols and techniques for their characterization*. Letnia szkoła organizowana przez Italian Aerosol Society (IAS), Rimini, Włochy, 10-15.06.2013 (Załącznik nr 7)
- Zakres tematyczny: modelowanie receptorowe z wykorzystaniem modelu dodatniej faktoryzacji macierzy (PMF).
  - Źródło finansowania: Projekt NCN OPUS-2 pt. „Identyfikacja źródeł występowania wysokich stężeń pyłów w atmosferze wybranych miast Polski” (Kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Katarzyna Juda-Rezler)
4. *4th ICTP Workshop on the Theory and Use of Regional Climate Models: Applying RCMs to Developing Nations in Support of Climate Change Assessment and Extended-Range Prediction*. Warsztaty naukowe w The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP), Triest, Włochy, 3-14.03.2008 (Załącznik nr 7)
- Zakres tematyczny: modelowanie zmian klimatu w skali regionalnej z wykorzystaniem regionalnego modelu klimatycznego RegCM, symulacje zmian klimatu, prezentacja wyników grupowych uzyskanych w trakcie warsztatów.
  - Źródło finansowania: Projekt 6. Program Ramowy UE pt. „CECILLA – Central and Eastern Europe Climate Change Impact and Vulnerability Assessment” (Kierownik projektu w PW: prof. dr hab. inż. Katarzyna Juda-Rezler)

## 12. Wykaz członkostwa w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism wraz z informacją o pełnionych funkcjach

1. *Archives of Environmental Protection* (IF<sub>2022</sub> = 1.5) – członek Rady Redakcyjnej od stycznia 2023 r.
2. *Atmosphere* (IF<sub>2022</sub> = 2.9) – Redaktor Gościnny (*Guest Editor*) numeru specjalnego pt.: „*Air quality in Poland*” (2021-2022). Zespół Redaktorów Gościnnych w składzie:
  - dr inż. Magdalena Reizer
  - dr inż. Jerzy Sowa (Politechnika Warszawska)
  - prof. dr hab. inż. Zbigniew Nahorski (Instytut Badań Systemowych PAN)
 Łącznie w numerze specjalnym opublikowano 20 artykułów.

## 13. Wykaz recenzowanych prac naukowych, w szczególności publikowanych w czasopismach międzynarodowych

Po uzyskaniu stopniu doktora, w latach 2014-2023 wykonałam łącznie 30 recenzji w 14 czasopismach naukowych, w tym w 12 aktualnie posiadających współczynnik IF (Tabela 1).

Tabela 1. Zestawienie wykonanych recenzji publikacji w czasopismach naukowych.

| L.p. | Czasopismo (Wydawca)                                                                  | Liczba recenzji | IF <sub>2022</sub> |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------|
| 1    | <i>Archives of Environmental Protection</i> (Polska Akademia Nauk)                    | 11              | 1.5                |
| 2    | <i>Science of The Total Environment</i> (Elsevier)                                    | 3               | 9.8                |
| 3    | <i>Air Quality, Atmosphere and Health</i> (Springer)                                  | 3               | 5.1                |
| 4    | <i>Environmental Pollution</i> (Elsevier)                                             | 2               | 8.9                |
| 5    | <i>Atmospheric Chemistry and Physics</i> (Copernicus)                                 | 2               | 6.3                |
| 6    | <i>Journal of Environmental Management</i> (Elsevier)                                 | 1               | 8.7                |
| 7    | <i>Environmental Science and Pollution Research</i> (Springer)                        | 1               | 5.8                |
| 8    | <i>Frontiers in Environmental Science</i> (Frontiers)                                 | 1               | 4.6                |
| 9    | <i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i> (MDPI)       | 1               | 4.6 *              |
| 10   | <i>Aerosol and Air Quality Research</i> (Taiwan Association for Aerosol Research)     | 1               | 4.0                |
| 11   | <i>International Journal of Environmental Analytical Chemistry</i> (Taylor & Francis) | 1               | 2.6                |
| 12   | <i>X-Ray Spectrometry</i> (Wiley)                                                     | 1               | 1.2                |
| 13   | <i>Arabian Journal of Geosciences</i> (Springer)                                      | 1               | 1.2 **             |
| 14   | <i>Geofizika</i> (University of Zagreb)                                               | 1               | 1.0                |

\* IF w roku recenzji (2021); \*\* IF w roku recenzji (2014)



**14. Wykaz uczestnictwa w programach europejskich lub innych programach międzynarodowych****Po uzyskaniu stopnia doktora**

1. Tytuł projektu: *ACTRIS ERIC – Aerosol, Clouds and Trace Gases Research Infrastructure – European Research Infrastructure Consortium*

Rola w projekcie: Konsorcjum ACTRIS ERIC zostało powołane 25 kwietnia 2023 r. na mocy Decyzji Wykonawczej Komisji Europejskiej nr 2023/900 (Dz.U.UE L 115/15). Zespół Ochrony Atmosfery Politechniki Warszawskiej od 2021 r. jest członkiem konsorcjum ACTRIS-PL, które jest jednym z 17 państw-założycieli ACTRIS ERIC. ACTRIS ERIC znajduje się na tzw. Mapie Drogowej infrastruktur badawczych Europejskiego Forum Strategii do spraw Infrastruktur Badawczych (ang. *European Strategy Forum on Research Infrastructures – ESFRI*) oraz na Polskiej Mapie Infrastruktury Badawczej (<https://programy.nauka.gov.pl/polska-czlonkiem-zalozycielem-actris-eric/>).

2. Tytuł projektu: *COLOSSAL – Chemical On-Line cOmpoSition and Source Apportionment of fine aerosol*

Instytucja finansująca: EU COST Action

Numer projektu: CA16109

Okres realizacji: 2017-2021

Rola w projekcie: Zespół Ochrony Atmosfery Politechniki Warszawskiej brał udział w pracach 2 grup roboczych projektu: WG2 (Source apportionment of organic aerosol) i WG4 (European overview of fine atmospheric aerosols).

**15. Wykaz udziału w zespołach badawczych, realizujących projekty inne niż określone w pkt. II.9****Po uzyskaniu stopnia doktora**

1. Tytuł projektu: *Identyfikacja potencjalnych obszarów źródłowych zanieczyszczenia powietrza na obszarach pozamiejskich z wykorzystaniem zaawansowanych metod analizy trajektorii wstecznych mas powietrza*

Instytucja finansująca: Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej, Grant Dziekański

Numer projektu: 504/02637/1110/42.000100

Okres realizacji: 2016

Rola w projekcie: **Kierownik projektu**

**Przed uzyskaniem stopnia doktora**

2. Tytuł projektu: *AQMEII – Air Quality Model Evaluation International Initiative*  
Instytucja finansująca: Joint Research Centre – Institute for Environment and Sustainability (JRC-IES); U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA); Environment Canada; European Commission: Directorate-General for Research and Innovation (DG-RTD), Directorate-General for Environment (DG-ENV)  
Okres realizacji: 2010-2013  
Koordynatorzy: S. Trivikrama Rao (U.S. EPA), Stefano Galmarini (JRC-IES); Kierownik w PW: prof. dr hab. inż. Katarzyna Juda-Rezler  
Rola w projekcie: **Wykonawca**
3. Tytuł projektu: *Identyfikacja mechanizmów transformacji zanieczyszczeń atmosfery w modelach jakości powietrza skali kontynentalnej*  
Instytucja finansująca: Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Międzynarodowy projekt badawczy niewspółfinansowany  
Numer projektu: 821/N-AQMEII/2010/0  
Okres realizacji: 2010-2013  
Kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Lech Loboeki (Politechnika Warszawska)  
Rola w projekcie: **Wykonawca**
4. Tytuł projektu: *TAPAS – Transportation Air pollution and Physical Activities: an integrated health risk assessment programme of climate change and urban policies*  
Instytucja finansująca: Coca-Cola Foundation; Agency for Management of University and Research Grants (AGAUR), Hiszpania; Centre for Research in Environmental Epidemiology (CREAL), Hiszpania  
Okres realizacji: 2009-2013  
Koordynatorzy: Mark Nieuwenhuijsen, Audrey de Nazelle (CREAL)  
Rola w projekcie: **Wykonawca**
5. Tytuł projektu: *Ocena skutków zmian klimatu i środowiska w Europie Centralnej i Wschodniej*  
Instytucja finansująca: Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Międzynarodowy projekt badawczy współfinansowany z zagranicznych środków finansowych niepodlegających zwrotowi  
Numer projektu: 102/6/PRUE/2007/7  
Okres realizacji: 2007-2009  
Kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Katarzyna Juda-Rezler (Politechnika Warszawska)  
Rola w projekcie: **Wykonawca**



16. Wykaz uczestnictwa w zespołach oceniających wnioski o finansowanie badań, wnioski o przyznanie nagród naukowych, wnioski w innych konkursach mających charakter naukowy lub dydaktyczny

-

### III. WSPÓŁPRACA Z OTOCZENIEM SPOŁECZNYM I GOSPODARCZYM

#### 1. Wykaz dorobku technologicznego

-

#### 2. Współpraca z sektorem gospodarczym

Współautorstwo ekspertyz dla PGE GiEK S.A.:

1. Warchałowski A., Szczygielski T., Juda-Rezler K., Trapp W., **Reizer M.**, Fijołek M., Goj J., Szczygielska D., Paciorek M., Kałdonek D., **2015**. Określenie stanu faktycznego i prognozy w zakresie emisji pyłu  $PM_{2.5}$  i  $PM_{10}$  emitowanych przez instalacje/obiekty PGE GiEK S.A. Etap II: Analizy dotyczące emisji pyłów drobnych z instalacji PGE GiEK S.A. Ocena stanu aktualnego zanieczyszczenia powietrza pyłem drobnym z uwzględnieniem jego składu frakcyjnego i chemicznego. Politechnika Warszawska, Instytut Badań Stosowanych Sp. z o.o. na zlecenie PGE GiEK S.A., 458 str.
2. Warchałowski A., Szczygielski T., Juda-Rezler K., **Reizer M.**, Trapp W., Fijołek M., Szczygielska D., Paciorek M., Kałdonek D., Pulikowska A., **2014**. Określenie stanu faktycznego i prognozy w zakresie emisji pyłu  $PM_{2.5}$  i  $PM_{10}$  emitowanych przez instalacje/obiekty PGE GiEK S.A. Etap I: Wykonanie analiz, ekspertyz cząstkowych oraz ekspertyzy zbiorczej w zakresie stanu istniejącego i przewidywanego. Politechnika Warszawska, Instytut Badań Stosowanych Sp. z o.o. na zlecenie PGE GiEK S.A., 233 str.
3. Wykaz uzyskanych praw własności przemysłowej, w tym uzyskanych patentów krajowych lub międzynarodowych  
-
4. Wykaz wdrożonych technologii  
-
5. Wykaz wykonanych ekspertyz lub innych opracowań wykonanych na zamówienie instytucji publicznych lub przedsiębiorców

Współautorstwo 10 ekspertyz i opracowań na zamówienie instytucji publicznych lub przedsiębiorstw, w tym dla Banku Światowego i Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska, a także krajowych i zagranicznych instytutów naukowych.



**Po uzyskaniu stopnia doktora**

1. Juda-Rezler K., **Reizer M.**, Maciejewska K., Klejnowski K., Błaszczak B., Mathews B., Pyta H., Rogula-Kopiec P., Słaby K., Błaszczak M., Janoszka K., Grygoyć K., **2022**. Ustalenie rodzaju oraz udziałów źródeł emisji pyłu PM<sub>10</sub> w stężeniach obserwowanych na wybranych stacjach pomiarowych Państwowego Monitoringu Środowiska w województwie małopolskim na podstawie charakterystyki fizykochemicznej pyłu zawieszonego PM<sub>10</sub> oraz modelowania receptorowego. Opracowanie na zlecenie Stowarzyszenia Krakowski Alarm Smogowy i Departamentu Środowiska Urzędu Marszałkowskiego Województwa Małopolskiego, 72 str.
2. Juda-Rezler K., **Reizer M.**, Maciejewska K., **2018**. Consultancy on air quality management in Poland – Institutional and policy aspects. Opracowanie na zlecenie World Bank's Environment & Natural Resources Global Practice, 164 str.
3. Juda-Rezler K., **Reizer M.**, Maciejewska K., **2018**. Emission factors and boiler characteristics in residential sector in Poland. Opracowanie na zlecenie International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA).
4. **Reizer M.**, **2017**. Ocena zanieczyszczenia powietrza pyłem PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> kobiet w ciąży oraz dzieci z Polskiej Kohorty Matka – Dziecko (REPRO\_PL). Opracowanie na zlecenie Zakładu Epidemiologii Środowiskowej Instytutu Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera.
5. Juda-Rezler K., **Reizer M.**, Maciejewska K., **2017**. Próba wyznaczenia zależności statystycznych pomiędzy składem paliw pomocniczych i termicznie przekształconych odpadów, a emisją spalin. Opracowanie w ramach projektu Odzysk energii z odpadów komunalnych i biomasy, Gekon – Generator Koncepcji Ekologicznych.
6. **Reizer M.**, Maciejewska K., **2016**. Ocena zdrowia mieszkańców województwa lubelskiego w wyniku ekspozycji na pył zawieszony PM<sub>2.5</sub>. Opracowanie na zlecenie BSiPP Ekometria Sp. z o.o.
7. Bemka A., Krajny E., Wojtylak M., **Reizer M.**, Bernaciak K., Fijołek M., Ośródką L., Paciorek M., Trapp W., **2016**. Opracowanie wytycznych do określania reprezentatywności stanowisk do pomiarów zanieczyszczeń powietrza oraz określenie reprezentatywności stanowisk pomiarowych funkcjonujących w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska. Etap II: Wskazówki do wyznaczania reprezentatywności stanowisk pomiarowych w pomiarach jakości powietrza. BSiPP Ekometria Sp. z o.o. na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska, 115 str.
8. **Reizer M.**, **2015**. Ocena ryzyka zdrowotnego mieszkańców Głogowa w związku z przekroczeniami arsenu w powietrzu atmosferycznym. Opracowanie na zlecenie Gminy Miejskiej Głogów.

9. **Reizer M., 2015.** Identyfikacja źródeł emisji pyłu zawieszonego na stacji tła regionalnego w Osieczowie. Opracowanie na zlecenie BSiPP Ekometria Sp. z o.o.

**Przed uzyskaniem stopnia doktora**

10. Trapp W., Juda-Rezler K., Bemka A., Balun M., Fijołek M., Kałdonek D., Paciorek M.K., Paciorek M., **Reizer M.**, Studzińska M., Warchałowski A., Zimakowska M., **2012.** Aktualizacja prognoz pyłu  $PM_{10}$  i  $PM_{2.5}$  dla lat 2015, 2020 na podstawie modelowania z wykorzystaniem nowych wskaźników emisyjnych. BSiPP Ekometria Sp. z o.o. na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska, 360 str.

**6. Wykaz udziału w zespołach eksperckich lub konkursowych**

1. Członek Branżowej Komisji Ekspertów w XI edycji konkursu „Teraz Polska” dla przedsięwzięć innowacyjnych (2018).

**7. Wykaz projektów artystycznych realizowanych ze środowiskami pozaartystycznymi**

*Nie dotyczy*



#### IV. DANE NAUKOMETRYCZNE

##### 1. Impact Factor

Sumaryczny IF w roku opublikowania = 40.776

##### 2. Liczba cytowań publikacji wnioskodawcy, z oddzielnym uwzględnieniem autocytowań

Web of Science: 471, z wykluczeniem autocytowań: 447 (stan na 21 września 2023)

Scopus: 516, z wykluczeniem autocytowań: 492 (stan na 21 września 2023)

*Dane naukometryczne (stan na 7 września 2023) opracowane przez Oddział Informacji Naukowej i Analiz Bibliometrycznych Biblioteki Głównej Politechniki Warszawskiej na podstawie opcji rozszerzonego wyszukiwania w bazach Web of Science (Researchers i Cited Reference Search) oraz Scopus (Basic Search i Secondary Documents) zostały przedstawione w Załączniku nr 9.*

##### 3. Indeks Hirscha

Web of Science: 9

Scopus: 9

*Uwaga: Autorka wniosku uprzejmie prosi Recenzentów, aby podczas przeprowadzania analizy jej dorobku w bazach Web of Science oraz Scopus posługiwali się w wyszukiwarce następującymi kryteriami: Authors – „Reizer M” oraz Affiliation – „Warsaw University of Technology”, bądź numerem ORCID: 0000-0002-3572-6050. Prośba motywowana jest faktem, że w bazach figuruje inny autor o takich samych inicjałach, a także faktem, że 3 prace nie są wyszukiwane po wpisaniu pełnego imienia.*

  
.....  
(podpis wnioskodawcy)

Podpisane elektronicznie przez Magdalena Marta Reizer  
(Certyfikat kwalifikowany) w dniu 2023-09-21.