

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego  
w Warszawie  
Instytut Inżynierii Środowiska

mgr inż. Karolina Kociszewska

Wpływ warunków meteorologicznych  
i zanieczyszczeń powietrza na stężenie  
wybranych form rtęci w powietrzu  
atmosferycznym

Influence of meteorological conditions  
and air pollutants on the concentration of selected forms of mercury  
in the atmospheric air

Praca doktorska  
Doctoral thesis

**Praca wykonana pod kierunkiem:**

dr hab. inż. Grzegorza Majewskiego, prof. SGGW  
Instytut Inżynierii Środowiska  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

**Promotor pomocniczy:**

dr inż. Halina Pyta  
Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN w Zabrze

**Recenzenci:**

dr hab. inż. Agnieszka Ziarnicka- Wojtaszek, prof. URK  
Katedra Ekologii, Klimatologii i Ochrony Powietrza  
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

dr hab. Justyna Rybak, prof. PW  
Wydział Inżynierii Środowiska  
Politechnika Wrocławska

**Warszawa, rok 2023**

## Streszczenie

### Wpływ warunków meteorologicznych i zanieczyszczeń powietrza na stężenie wybranych form rtęci w powietrzu atmosferycznym

W pracy przeanalizowano zmienność stężeń całkowitej rtęci gazowej (TGM) w Granicy, Osieczowie, Puszczy Boreckiej, Zielonce, Złotym Potoku oraz stężeń rtęci związanej z pyłem  $PM_1$  (HgP) w powietrzu atmosferycznym w Warszawie i Zabrzu oraz pomieszczeniach zamkniętych i powietrzu atmosferycznym w Warszawie i Gliwicach. Sprawdzone czy istnieje zależność pomiędzy stężeniami TGM i HgP, a innymi zanieczyszczeniami powietrza oraz parametrami meteorologicznymi. W pracy zidentyfikowano czynniki wpływające na kształtowanie się stężeń wybranych form rtęci oraz opracowano modele statystyczne opisujące zmienność stężeń rtęci w oparciu o powyższe czynniki. Odnotowane stężenia TGM uśrednione dla okresu 2010-2014 wahały się od  $1,40 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$  w Puszczy Boreckiej do  $1,85 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$  w Osieczowie, nie odbiegały one znacząco od stężeń rejestrowanych w innych częściach Europy. Stężenia TGM charakteryzowały się zmiennością dobową i sezonową. Wyznaczono statystycznie istotną korelację między stężeniami TGM oraz  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ , wskazującą spalanie paliw kopalnych jako ważne źródło rtęci gazowej. Spośród parametrów meteorologicznych duże znaczenia miała temperatura powietrza, prędkość wiatru oraz wilgotność względna powietrza. Istotnym źródłem TGM na badanych stacjach tła była także reemisja rtęci wskutek parowania rtęci i mikrobiologicznego rozkładu, zachodzących z udziałem podwyższonej temperatury powietrza oraz utleniaczy. Wyniki wskazywały zarówno na lokalne, jak i transgraniczne źródła rtęci. Średnie stężenie rtęci związanej z pyłem  $PM_1$  w powietrzu atmosferycznym w Warszawie wynosiło  $11,6 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ , w Zabrzu  $43,5 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ , zaś w pomieszczeniu zamkniętym w Warszawie  $1,4 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ , Gliwicach  $6,9 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Zdecydowanie wyższe stężenia HgP w powietrzu w Zabrzu niż w Warszawie potwierdzają, że południowa część Polski obciążona jest znaczną emisją zanieczyszczeń ze spalania węgla kamiennego i brunatnego, związaną zarówno z energetyką zawodową, jak i emisją z sektora komunalnego. Mimo niewielkich poziomów HgP w powietrzu, stanowi ona istotne zagrożenie z uwagi na łatwość przenikania cząstek  $PM_1$  do organizmu. Rtęć nie pełni żadnej roli biologicznej, a jest toksyczna dla wszystkich organizmów. Modele GRM uzyskane dla rtęci związanej z pyłem wyjaśniały nawet do 83% jej zmienności - najlepszy model uzyskano dla Warszawy dla całego okresu badawczego. Największy wpływ na stężenie rtęci związanej z pyłem miały  $PM_1$ , temperatura powietrza, wilgotność względna powietrza i  $SO_2$ . Model dla stacji Zabrze dla całego okresu badawczego w 70% wyjaśnia zmienność HgP. Największy wpływ na zmienność stężenia HgP mają w tym okresie kolejno:  $PM_1$ , ciśnienie atmosferyczne, temperatura powietrza,  $NO_2$ ,  $O_3$ .

**Słowa kluczowe** – całkowita rtęć gazowa (TGM), rtęć związana z pyłem  $PM_1$ , parametry meteorologiczne, zanieczyszczenia powietrza, macierz korelacji, GRM

## Summary

### **Influence of meteorological conditions and air pollutants on the concentration of selected forms of mercury in the atmospheric air**

The study analyzed the variability of total gaseous mercury (TGM) concentrations in Granica, Osieczów, Puszcza Borecka, Zielonka, Złoty Potok and concentrations of mercury associated with PM<sub>1</sub> (HgP) in ambient air in Warsaw and Zabrze and indoor and ambient air in Warsaw and Gliwice. It was checked whether there is a relationship between concentrations of TGM and HgP, and other air pollutants and meteorological parameters. The paper identifies the factors that affect the formation of concentrations of selected forms of mercury and develops statistical models to describe the variability of mercury concentrations based on the above factors. The recorded TGM concentrations averaged for the period 2010-2014 ranged from 1,40 ng·m<sup>-3</sup> in the Puszcza Borecka to 1,85 ng·m<sup>-3</sup> in Osieczów, and they did not differ significantly from concentrations recorded in other parts of Europe. TGM concentrations were characterized by diurnal and seasonal variability. A statistically significant correlation was determined between TGM concentrations and NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, indicating fossil fuel combustion as an important source of gaseous mercury. Among meteorological parameters, air temperature, wind speed and relative humidity. Mercury reemission due to mercury evaporation and microbial decomposition, occurring with elevated air temperature and oxidants, was also an important source of TGM at the studied background stations. The results indicated both local and transboundary sources of mercury. The average concentration of mercury associated with PM<sub>1</sub> in the ambient air in Warsaw was 11,6 pg·m<sup>-3</sup>, in Zabrze 43,5 pg·m<sup>-3</sup>, while in the indoor air in Warsaw it was 1,4 pg·m<sup>-3</sup>, Gliwice 6,9 pg·m<sup>-3</sup>. Significantly higher concentrations of HgP in the air of Zabrze than in Warsaw confirm that the southern part of Poland is burdened with significant emissions from coal and lignite combustion, associated with both related to commercial power generation and emissions from the municipal sector. Despite the low levels of HgP in the air, it poses a significant threat due to the ease with which PM<sub>1</sub> particles penetrate the body. Mercury has no biological role, and is toxic to all organisms. GRM models obtained for dust-bound mercury explained up to up to 83% of its variability - the best model was obtained for Warsaw for the entire study period. PM<sub>1</sub>, air temperature, relative humidity and SO<sub>2</sub> had the greatest influence on the concentration of dust-bound mercury. The model for the Zabrze station for the entire study period explains 70% of the variation in HgP. The greatest influence on the variability of HgP concentration are PM<sub>1</sub>, atmospheric pressure, air temperature, NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>, respectively, during this period.

**Keywords** – total gaseous mercury (TGM), particle-bound mercury, meteorological parameters, air pollution, correlation matrix, GRM