



# Główny Inspektorat Ochrony Środowiska

## **Ocena zanieczyszczenia powietrza rtęcią na stacjach monitoringu tła regionalnego w Polsce za 2024 rok**

Opracowanie wykonano na podstawie wyników Państwowego Monitoringu Środowiska na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Instytucie Ochrony Środowiska – Państwowym Instytucie Badawczym przez zespół w składzie: Anna Degórska, Krzysztof Skotak, Zdzisław Prządka i Marcin Syrzycki.

Przy cytowaniu danych należy podawać źródło danych:  
Państwowy Monitoring Środowiska, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska

Warszawa, 2025

## Spis treści

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Wprowadzenie .....</b>                                            | <b>2</b>  |
| <b>2. Przyjęte w opracowaniu założenia, kryteria i oznaczenia .....</b> | <b>3</b>  |
| <b>3. Rtęć w środowisku .....</b>                                       | <b>8</b>  |
| <b>4. Monitoring rtęci w atmosferze w Polsce .....</b>                  | <b>11</b> |
| 4.1. Opis stacji .....                                                  | 11        |
| 4.2. Metodyka pomiarów.....                                             | 12        |
| <b>5. Emisja.....</b>                                                   | <b>14</b> |
| 5.1. Źródła emisji rtęci .....                                          | 14        |
| 5.2. Produkcja i wykorzystanie rtęci .....                              | 15        |
| 5.3. Emisja rtęci w krajach Unii Europejskiej .....                     | 16        |
| 5.4. Struktura emisji rtęci w Polsce .....                              | 18        |
| <b>6. Charakterystyka warunków meteorologicznych .....</b>              | <b>20</b> |
| <b>7. Ocena zanieczyszczenia atmosfery rtęcią Polsce.....</b>           | <b>26</b> |
| 7.1. Zanieczyszczenie powietrza rtęcią.....                             | 26        |
| 7.2. Depozycja rtęci do podłoża .....                                   | 34        |
| <b>8. Ocena zanieczyszczenia atmosfery rtęcią w Europie .....</b>       | <b>38</b> |
| 8.1. Zanieczyszczenie powietrza rtęcią .....                            | 38        |
| 8.2. Depozycja rtęci do podłoża .....                                   | 42        |
| <b>9. Modelowanie .....</b>                                             | <b>46</b> |
| 9.1. Zanieczyszczenie powietrza rtęcią.....                             | 46        |
| 9.2. Depozycja rtęci do podłoża .....                                   | 48        |
| 9.3. Transport transgraniczny rtęci .....                               | 49        |
| <b>10. Podsumowanie .....</b>                                           | <b>51</b> |
| <b>11. Bibliografia .....</b>                                           | <b>53</b> |

## 1. Wprowadzenie

Niniejsze opracowanie wykonane zostało w Instytucie Ochrony Środowiska – Państwowym Instytucie Badawczym w Warszawie, w ramach realizacji umowy GIOŚ/80/2025/DMŚ z dnia 11.07.2025 r. zawartej pomiędzy Instytutem a Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska w Warszawie.

Opracowanie jest kontynuacją wcześniejszych opracowań, obejmujących ocenę zanieczyszczenia powietrza rtęcią od roku 2010 (Pyta H., Zajusz R., 2013; Falkowska L., 2014; Skotak K. i in., 2015; Falkowska L. i in., 2016; Skotak K. i in., 2017; Skotak K. i in., 2018; Skotak K. i in., 2019; Skotak K. i in., 2020; Skotak K. i in., 2021; Degórska A. i in., 2022; Degórska A. i in. 2023; Degórska A. i in. 2024). Opracowania te, wykonane na podstawie umów z Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska, są dostępne na Portalu Jakość Powietrza GIOŚ pod adresem <https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/publications/publication>.

Zakres niniejszego opracowania, podobnie jak wcześniejszych, obejmuje ocenę wyników pomiarów rtęci w powietrzu atmosferycznym oraz depozycji rtęci do podłoża. Przeprowadzanie analiz zanieczyszczenia powietrza na poziomie tła regionalnego wynika z zapisów zawartych w Wykonawczym Programie Państwowego Monitoringu Środowiska na rok 2024 (pomiar) i na rok 2025 (raport), dotyczących monitoringu jakości powietrza, koordynowanego przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Przedstawione opracowanie jest elementem realizacji jednego z zadań związanych z badaniem i oceną stanu zanieczyszczenia powietrza, wykonywanych zgodnie z zapisami ustawy Prawo ochrony środowiska (Poś), umieszczonego w Wykonawczym Programie PMŚ pod nazwą „Pomiary składu pyłu zawieszonego PM<sub>10</sub> i PM<sub>2,5</sub>, rtęci w stanie gazowym oraz depozycji metali ciężkich i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych na stacjach monitoringu tła regionalnego” (PMŚ-W, 2015; PMŚ-W, 2021; PMŚ-W, 2022; PMŚ-W, 2023; PMŚ-W, 2024; PMŚ-W, 2025).

Podstawę opracowania stanowią wyniki pomiarów prowadzonych na stacjach tła regionalnego Państwowego Monitoringu Środowiska. Głównym celem opracowania było przeprowadzenie oceny stopnia zanieczyszczenia powietrza i opadów atmosferycznych rtęcią na stacjach tła regionalnego w Polsce w ostatnich 15 latach (okres 2010-2024). W opracowaniu zawarto opis charakterystyki stacji, z których pochodzą analizowane wyniki ze wskazaniem miejsc wykonywania pomiarów stężenia rtęci w powietrzu i poboru próbek opadów oraz metod pomiarów rtęci w powietrzu atmosferycznym i depozycji całkowitej. Ponadto wyniki stężeń i ładunków w Polsce odniesiono (tam, gdzie to było możliwe) do stężeń i ładunków badanych na pozamiejskich stacjach tła w Europie.

Wszystkie wyniki pomiarów z Polski, pochodzące z bazy danych JPOAT, zostały przekazane przez Zamawiającego. Przyjęte kryteria selekcji danych są zgodne z obowiązującymi przepisami prawnymi. Na jednej ze stacji (Zielonka) kompletność serii pomiarów rtęci gazowej w powietrzu wyniosła 42,6% (brak danych w pierwszym półroczu), dlatego tej serii nie wykorzystano w raporcie. W opracowaniu skupiono się przede wszystkim na ocenie trendów wyników uzyskanych na poszczególnych stacjach w latach 2010-2024, ze szczególnym zwróceniem uwagi na zmiany w ostatnich dwóch latach (2024 w odniesieniu do roku poprzedniego) oraz w roku 2024 na tle średniej z wielolecia 2010-2023.

Ocenę zanieczyszczenia powietrza i depozycji rtęcią w Europie przeprowadzono dla ostatnich dostępnych danych pochodzących z okresu 2010-2023. Podstawą tej oceny były dane zgromadzone w dwóch bazach danych:

- bazie AirBase (do której, za pośrednictwem GIOŚ, regularnie wprowadzane są również dane z Polski), prowadzonej przez Europejską Agencję Środowiska EAŚ (Baza EEA1, Baza EEA2),
- bazie danych EMEP (baza ebas).

W przypadkach rozbieżności wyników depozycji zawartych w bazach EAŚ i EMEP dla danej stacji, w ocenie jako bardziej wiarygodne uwzględniono wyniki pochodzące z bazy EMEP.

Ponadto, w celu dokonania pełniejszej oceny zanieczyszczenia atmosfery rtęcią, w opracowaniu przeanalizowano wyniki obliczeń modelowych przeprowadzonych przez Meteorologiczne Centrum Syntetyzujące – Wschód (MSC-E) EMEP, wykonanych na podstawie danych dotyczących emisji rtęci przygotowanych przez Centrum Inwentaryzacji i Prognoz Emisji EMEP (Centre on Emission Inventories and Predictions CEIP) oraz danych meteorologicznych opracowanych przez Europejskie Centrum Prognoz Średnioterminowych (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts ECMWF).

Analizy danych przeprowadzono z uwzględnieniem zmienności parametrów meteorologicznych na wybranych stacjach oślonowych zlokalizowanych najbliżej omawianych w opracowaniu stacji tła regionalnego PMŚ, na których wykonywane są pomiary rtęci. Podstawą oceny zmienności warunków meteorologicznych były informacje i dane pochodzące z bazy danych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego pn. „Dane publiczne IMGW-PIB” (Baza IMGW-PIB). Do analizy cyrkulacji atmosferycznej wykorzystano dane udostępnione bezpośrednio z IMGW-PIB.

W opracowaniu, wzorem lat ubiegłych, przedstawiono również analizę emisji rtęci w Polsce na tle danych z Unii Europejskiej i domeny EMEP. Źródłem danych w skali kraju były informacje opracowane przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami Instytutu Ochrony Środowiska – Państwowego Instytutu Badawczego i opublikowane przez Ministerstwo Klimatu i Środowiska (MKiŚ, 2025) oraz Główny Urząd Statystyczny (GUS, 2024). Dane dotyczące emisji w krajach Unii Europejskiej zaczerpnięto z bazy danych EMEP (Baza CEIP).

## **2. Przyjęte w opracowaniu założenia, kryteria i oznaczenia**

W opracowaniu uwzględniono wymagania określone w aktualnym *Rozporządzeniu Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 11 grudnia 2020 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (RMŚ, 2020)* wraz z *rozporządzeniem Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 3 października 2022 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (RMŚ, 2022)*. Wcześniej obowiązywało *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8 czerwca 2018 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (RMŚ, 2018)* (które z kolei stanowiło nowelizację *Rozporządzenia z dnia 13 września 2012 r. (RMŚ, 2012)*). Rozporządzenia te transponują zapisy:

- *Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE w sprawie jakości powietrza i czystsze powietrze dla Europy (KE, 2008),*

- *Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2004/107/WE z dnia 15 grudnia 2004 r. w sprawie arsenu, kadmu, niklu, rtęci i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w otaczającym powietrzu (KE, 2004),*
- *Dyrektywy Komisji (UE) 2015/1480 z dnia 28 sierpnia 2015 r. zmieniającej niektóre załączniki do dyrektyw Parlamentu Europejskiego i Rady 2004/107/WE i 2008/50/WE ustanawiających przepisy dotyczące metod referencyjnych, zatwierdzania danych i lokalizacji punktów pomiarowych do oceny jakości powietrza (KE, 2015).*

Podstawą oceny warunków meteorologicznych w Polsce w latach 2010-2024 były wyniki pomiarów temperatury i wysokości opadu atmosferycznego prowadzonych na tzw. stacjach osłonowych (stacjach Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego): w Częstochowie, Chojnicach, Kozienicach, Legnicy, Raciborzu i w Suwałkach. Stacje te zlokalizowane są w regionach, w których funkcjonują omawiane w opracowaniu stacje PMŚ.

Analizę wielkości oraz struktury emisji rtęci w Polsce omówiono na podstawie najbardziej aktualnych i dostępnych danych inwentaryzacji emisji wykonanej na poziomie krajowym z roku 2023.

Zmienność stężeń rtęci całkowitej w powietrzu atmosferycznym na poszczególnych stacjach monitoringu wykonujących oznaczenia tego zanieczyszczenia w Polsce przedstawiono na podstawie analiz serii dobowych, zaś depozycji – na podstawie wyników miesięcznych. W celu zestawienia wyników stężeń Hg w powietrzu pochodzących ze wszystkich stacji w jednolity sposób, umożliwiając porównanie wyników w skali wielolecia, wyniki pomiarów pochodzące ze stacji automatycznych (wartości 1-godzinne) uśredniono do wartości dobowych przy zachowaniu zasad kompletności serii i pokrycia czasu w roku, określonych w aktualnym *Rozporządzeniu Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 11 grudnia 2020 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (RMŚ, 2020)*. Od 2021 roku na wszystkich omawianych stacjach tła regionalnego w Polsce pomiary stężeń rtęci gazowej są wykonywane metodą automatyczną; wcześniej na stacji Puszcza Borecka stosowano metodę manualną, a na pozostałych stacjach – automatyczną.

Do oceny poziomów stężeń w powietrzu atmosferycznym i depozycji rtęci w Europie, wybrano wszystkie stacje pozamiejskie tła, na których w latach 2010-2023 prowadzono pomiary rtęci (ostatnie dostępne dane w bazie europejskiej są z roku 2023), spełniające przyjęte kryteria selekcji danych. Podstawą analizy wyników pomiarów stężeń były zasoby bazy AirBase (do której, za pośrednictwem GIOŚ, regularnie wprowadzane są również polskie dane ze stacji PMŚ), prowadzonej przez Europejską Agencję Środowiska (EAŚ). W przypadku depozycji, podstawę stanowiły wyniki zawarte w bazie AirBase oraz w bazie EMEP (raportowe w ramach Konwencji w sprawie transgranicznego zanieczyszczania powietrza na dalekie odległości LRTAP). Założono, że wszystkie wyniki w bazach danych są zweryfikowane (z reguły nie korygowano wartości). Wyjątek stanowiły sytuacje, gdy wartości w bazach ewidentnie wskazywały na błąd podania jednostki lub gdy różnice wartości depozycji pomiędzy danymi zgromadzonymi w bazie AirBase i EMEP dla danej stacji były znaczne. Wówczas do dalszych analiz przyjęto wartości z bazy EMEP. Wyniki pomiarów depozycji w bazie EMEP przechowywane są w postaci ładunku a nie wskaźnika depozycji ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{dzień}$ ). W celu przedstawienia w opracowaniu wielkości wskaźnika depozycji, dla każdej stacji pomiarowej na podstawie ładunku, wykonano obliczenie z uwzględnieniem długości okresu

pomiarowego. Oznacza to, że wyniki badań na niektórych stacjach europejskich mogą być przedstawione, jako wynik obliczeń i tym samym mogą być obarczone dodatkową niepewnością.

W analizach uwzględniono obliczone przez EAŚ parametry statystyczne. W przypadku wykonywania pomiarów rtęci na tej samej stacji różnymi metodami (np. dla różnych czasów uśredniania, metodami automatycznymi i manualnymi i/lub różnymi metodami oznaczania w laboratoriach), w pierwszej kolejności wybierano wyniki pomiarów wykonywane metodą referencyjną i/lub z referencyjnym czasem uśredniania. W przypadku metod równorzędnych, wybierano wyniki dla serii pomiarowej przedstawiającej gorszą sytuację (wyższe stężenie). Podawane w opracowaniu wartości dla każdego kraju obliczono jako średnią arytmetyczną z wartości średnich rocznych z pojedynczych stacji funkcjonujących na jego terenie. Wartości minimalne i maksymalne w kraju odnoszą się do pojedynczej stacji.

Wyniki pomiarów z polskich i europejskich stacji poddano analizie trendów. Do poszukiwania i analizy trendów w rocznych seriach danych charakteryzujących stężenie w powietrzu i wskaźniki depozycji rtęci zastosowano nieparametryczny test Manna-Kendalla, który służy do wykrycia istnienia malejącego lub rosnącego trendu w serii danych, a następnie nieparametryczną metodę Sena do szacowania wielkości trendu - nachylenia linii trendu. Testy te służą do analizy danych, w których nie występują cykle sezonowe lub inne (zatem nadają się do wartości rocznych lub wartości średnich dla sezonów). Dopuszczają braki danych i nie wymagają, by analizowane serie charakteryzowały się konkretnym rozkładem. Testowana jest hipoteza zerowa  $H_0$  o braku istnienia trendu, czyli zakładająca przypadkowy rozkład obserwacji  $x_i$  w czasie wobec alternatywnej hipotezy  $H_1$ , przyjmującej istnienie rosnącego lub malejącego trendu. Stosowane narzędzie wykorzystuje wielkość  $Z$ . Dodatnia wartość  $Z$  świadczy o trendzie rosnącym, a ujemna – o malejącym. Test stosowany jest dla serii pomiarowych zawierających więcej niż 10 danych.

Poziom istotności 0,001 (\*\*\*) oznacza 0,1% prawdopodobieństwa, że wartości  $x_i$  mają przypadkowy rozkład i z tym prawdopodobieństwem popełnia się błąd odrzucając hipotezę zakładającą brak istnienia trendu. Poziom 0,001 istotności oznacza, że istnienie trendu jest bardzo prawdopodobne (\*\*\*) . Poziom 0,01 oznakowano (\*\*), 0,05 (\*) a 0,1 – oznaczający 10% prawdopodobieństwa, że błędem jest odrzucenie hipotezy o braku trendu – oznakowano (+). Dla krótszych niż 10 lat serii nie wskazywano trendu - (oznakowanie NA).

Na potrzeby niniejszego opracowania przyjęto następujące skróty i oznaczenia (używane najczęściej w tabelach i na rysunkach):

Skróty nazw własnych:

**AirBase** – baza danych Europejskiej Agencji Środowiska

**EAŚ** –Europejska Agencja Środowiska

**GIOŚ** – Główny Inspektorat Ochrony Środowiska

**GUS** – Główny Urząd Statystyczny

**IOŚ-PIB** – Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy

**IMGW-PIB** – Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy

**KOBIZE** – Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami IOŚ-PIB

**PMŚ** – Państwowy Monitoring Środowiska

**EMEP** – Międzynarodowy program współpracy w dziedzinie monitoringu i oceny przenoszenia zanieczyszczeń powietrza na duże odległości w Europie (Co-operative

Programme for Monitoring and Evaluation of the Long Range Transmission of Air Pollutants in Europe)

**Konwencja LRTAP** – Konwencja w sprawie transgranicznego zanieczyszczania powietrza na dalekie odległości (Convention on Long-range Transboundary Air Pollution)

Parametry statystyczne dla zanieczyszczenia powietrza:

**Sa** – stężenie średnie roczne,

**Sa min** – minimalne stężenie średnie roczne,

**Sa max** – maksymalne stężenie średnie roczne,

**Slato** – stężenie średnie w okresie letnim (IV-IX),

**Szima** – stężenie średnie w okresie zimowym (I-III, X-XII),

**S24** – stężenie średnie dobowe,

**S24min** – minimalne stężenie średnie dobowe,

**S24max** – maksymalne stężenie średnie dobowe,

Parametry statystyczne dla depozycji:

**Da** – sumaryczna roczna depozycja do podłoża,

**Dlato** – sumaryczna depozycja do podłoża w okresie letnim (IV-IX),

**Dzima** – sumaryczna depozycja do podłoża w okresie zimowym (I-III, X-XII),

**Da min** – minimalna miesięczna depozycja do podłoża,

**Da max** – maksymalna miesięczna depozycja do podłoża,

**Dwa** – średni roczny wskaźnik depozycji do podłoża,

**Dwl** – średni wskaźnik depozycji do podłoża w lecie,

**Dwz** – średni wskaźnik depozycji do podłoża w zimie,

**Dwa min** – minimalny miesięczny wskaźnik depozycji do podłoża,

**Dwa max** – maksymalny miesięczny wskaźnik depozycji do podłoża.

Kody krajów wg ISO:

**AT** - Austria

**BA** - Bośnia i Hercegowina

**BE** - Belgia

**BG** - Bułgaria

**CH** - Szwajcaria

**CY** - Cypr

**CZ** - Czechy

**DE** - Niemcy

**DK** - Dania

**EE** - Estonia

**ES** - Hiszpania

**FI** - Finlandia

**FR** - Francja

**GB** - Wielka Brytania

**GR** - Grecja

**HR** - Chorwacja

**HU** - Węgry

**IE** - Irlandia

**IS** - Islandia

**IT** - Włochy  
**LT** - Litwa  
**LU** - Luksemburg  
**LV** - Łotwa  
**MK** - Macedonia  
**MT** - Malta  
**NL** - Niderlandy (Holandia)  
**NO** - Norwegia  
**PL** - Polska  
**PT** - Portugalia  
**RO** - Rumunia  
**RS** - Serbia  
**SE** - Szwecja  
**SI** - Słowenia  
**SK** - Słowacja (Republika Słowacji)  
**TR** - Turcja  
**XK** - Kosowo



### 3. Rtęć w środowisku

Rtęć w środowisku występuje na trzech poziomach utlenienia, jako  $\text{Hg}^0$  (rtęć pierwiastkowa),  $\text{Hg}^{1+}$  (związki rtęciawe) i  $\text{Hg}^{2+}$  (związki rtęciowe). Rtęć tworzy różne związki, pojawiające się w różnych stanach skupienia:

- Hg elementarna występuje w środowisku zarówno w postaci gazowej, jak i w postaci ciekłej;
- Hg nieorganiczna występuje w postaci np. chlorku rtęci  $\text{HgCl}_2$ , chlorku rtęciawego, tzw. kalomelu  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ , octanu rtęci  $\text{Hg}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ , siarczku rtęci  $\text{HgS}$ , siarczanu rtęci  $\text{HgSO}_4$ , azotanu rtęci  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  oraz tlenku rtęci  $\text{HgO}$ ;
- Hg organiczna występuje w postaci monometylortęci  $\text{MeHg}$  i dimetylortęci  $\text{Me}_2\text{Hg}$  (Gworek, 2013).

Stężenie rtęci w powietrzu zależy od stopnia lotności jej związków. Ilość odparowanej rtęci podwaja się wraz ze wzrostem temperatury o  $10^\circ\text{C}$ . Lotność związków rtęci kształtuje się w następującej kolejności (szereg malejący):  $\text{Hg}^0 > \text{Hg}_2\text{Cl}_2 > \text{HgCl}_2 > \text{HgS} > \text{HgO}$ . Rtęć w powietrzu (98% w formie gazowej) występuje w trzech stopniach utlenienia. Dominującą jest rtęć elementarna, stanowiąca około 95% całkowitej masy, rtęć na drugim stopniu utlenienia występuje w niewielkich ilościach, a rtęć na pierwszym stopniu utlenienia występuje w ilościach śladowych. Utlenianie rtęci elementarnej jest najważniejszym procesem usuwania rtęci z powietrza. Głównymi reakcjami utleniania gazowej rtęci elementarnej  $\text{Hg}^0$  są:

- reakcja z ozonem  $\text{O}_3$ ;
- reakcja z rodnikiem hydroksylowym ( $\cdot\text{OH}$ );
- reakcja z rodnikiem azotanowym ( $\cdot\text{NO}_3$ );
- reakcja ze związkami i rodnikami chloru, bromu i jodu.

Utlenione formy związków rtęci występują w powietrzu w bardzo niskich stężeniach ( $\text{pg}/\text{m}^3$ ) i z powodu niskich ciśnień pary szybko ulegają suchej depozycji do podłoża.

Rtęć w powietrzu występuje również w fazie wodnej: w kroplach deszczu, we mgle i chmurach. Rodzaj przemian rtęci zależy od wielu czynników takich jak temperatura, nasłonecznienie i odczyn wody opadowej lub chmurowej. Rozpuszczona w wodzie rtęć elementarna może ulegać utlenianiu, a końcowym produktem tych reakcji jest przeważnie forma jonowa  $\text{Hg}^{2+}$ .

Czas przebywania rtęci w powietrzu zależy od wielu czynników, poza warunkami meteorologicznymi i różnymi jej formami również od występowania zanieczyszczeń powietrza:

- gazowa rtęć elementarna ( $\text{Hg}^0$ ) – 6 do 18 miesięcy;
- związki chemiczne rtęci w formie utlenionej ( $\text{Hg}^{2+}$ ) i zawarte w cząsteczkach pyłu – szybko usuwane z powietrza w raz z suchą i mokrą depozycją – kilka godzin do kilku dni.

Gazowa rtęć elementarna, ze względu na długi okres usuwania z powietrza, może być transportowana na duże odległości.

O zanieczyszczeniu powietrza rtęcią decyduje:

- bieżąca emisja ze źródeł naturalnych;
- bieżąca emisja ze źródeł antropogenicznych;
- reemisja z historycznego depozytu ze źródeł naturalnych i antropogenicznych;
- szybkość depozycji mokrej i suchej.

Światowe tło zanieczyszczenia powietrza rtęcią określa się na 1,5-2,0 ng/m<sup>3</sup>. Oceniając zmiany światowego tła zanieczyszczenia na podstawie pomiarów w 6 stacjach w północnej i południowej hemisferze, stwierdza się wzrost zanieczyszczenia od roku 1970, które osiągnęło maksimum w roku 1980. Następnie odnotowano spadek do roku 1996, po czym zanieczyszczenie pozostało na tym samym poziomie – na półkuli północnej na poziomie 1,5-1,7 ng/m<sup>3</sup> całkowitej rtęci gazowej. Zawartość rtęci w powietrzu na Antarktydzie była niższa niż tło światowe i w latach 2007-2011 wynosiła ok. 0,93 ng/m<sup>3</sup> (Gworek i in. 2013).

### Wpływ rtęci na zdrowie ludzi

Jak w przypadku wszystkich toksycznych substancji, efekty działania rtęci są zależne od dawki. Rtęć w różnych formach jest częściowo zatrzymywana w organizmie, a niektóre tkanki mają tendencję do jej akumulowania. Najdłużej w organizmie człowieka pozostaje metylortęć (Miklavčič i in., 2013). Rtęć wpływa głównie na system nerwowy, nerki, a po inhalacji, na płuca. Co ważne, metylortęć przekracza barierę krew-łożysko 10 razy wydajniej niż inne formy rtęci, a co za tym idzie, przedstawia znaczne zagrożenie dla rozwoju zarodków (Young-Seoub i in., 2012). Ekspozycja w okresie niemowlęcym wpływa na rozwój mózgu i układu nerwowego. Może to skutkować uszkodzeniami wzroku i słuchu, upośledzać zdolności motoryczne, powodować opóźnienia w rozwoju mowy i pamięci (Bose-O'Reilly i in., 2010, Grandjean and Herz, 2011).

Ostatnie badania wykazały również, że u osób starszych ekspozycja na rtęć może zwiększać ryzyko wystąpienia chorób sercowo-naczyniowych (Karagas i in., 2012) i powodować problemy z ciśnieniem krwi (Genchi i in., 2017).

### Działania międzynarodowe

Problem zanieczyszczenia rtęcią jest rozpatrywany na arenie międzynarodowej od wielu dziesięcioleci.

W 1998 r. 33 europejskie i północnoamerykańskie kraje podpisały Protokół z Aarhus w sprawie metali ciężkich (UNECE, 1998), jako część w Konwencji w sprawie transgranicznego zanieczyszczania powietrza na dalekie odległości (CLRTAP). Postawiono wymagania w celu zmniejszenia wykorzystania rtęci w produktach, a także zmniejszenia emisji rtęci, kadmu i ołowiu do powietrza z przemysłu, procesów spalania i przetwarzania odpadów. Protokół z Aarhus wszedł w życie w 2001 roku, w konsekwencji czego UE wdrożyła kilka polityk mających na celu zmniejszenie emisji rtęci.

W 2002 r. Organizacja Narodów Zjednoczonych (ONZ) zleciła badanie w celu określenia globalnego wpływu rtęci na środowisko i zdrowie ludzi (UNEP, 2002). Stwierdzono, że rtęć stwarza znaczące ryzyko dla środowiska i że niezbędne są dalsze działania międzynarodowe. W październiku 2013 r. zostało przyjęte porozumienie międzynarodowe, obecnie znane jako Konwencja z Minamaty (UNEP, 2017). Została ona dotychczas ratyfikowana przez ponad 100 Stron, w tym Polskę (w 2021 r.). Powszechne przyjęcie Konwencji to pierwsze międzynarodowe zobowiązanie w globalnej walce przeciwko zanieczyszczeniu rtęcią. Celem tej Konwencji jest ochrona zdrowia ludzi i środowiska przed antropogenicznymi emisjami i uwolnieniami rtęci i związków rtęci. Konwencja z Minamaty obejmuje następujące zagadnienia: podaż, handel, produkty z dodatkiem rtęci, emisja do powietrza, górnictwo złota na małą skalę, uwolnienia do wody i ziemi, odpady, miejsca zanieczyszczone, pomoc techniczna i finansowa, wymiana informacji, świadomość społeczna i edukacja, badania i monitoring, aspekty zdrowotne, plany wdrożeniowe oraz raportowanie.

## Działania w Unii Europejskiej

W Europie pierwsze regulacje prawne dotyczące rtęci zostały przyjęte prawie cztery dekady temu. Początkowe regulacje zakazały używania substancji zawierających rtęć jako pestycydów (EU, 1978). Jednak eksport tych związków do krajów spoza Europy pozostawał legalny przez ponad 20 lat, do momentu gdy zostały one zakazane - do 2003 r. (EU, 2003). Wprowadzane są też regulacje dotyczące emisji ze źródeł przemysłowych – Dyrektywa IED (EU, 2010). Dzięki powyższemu w krajach Unii Europejskiej większość wymagań zapisanych w Konwencji z Minamaty jest już spełniona przez obowiązujące prawodawstwo. Pomimo tego dla wzmocnienia unijnych przepisów dotyczących rtęci w 2017 roku wprowadzono dalsze regulacje (EU, 2017).

Przepisy wprowadzają zakazy i ograniczenia w następujących dziedzinach:

- przywóz rtęci metalicznej;
- wywóz produktów rtęciowych;
- dotychczasowe zastosowanie rtęci w procesach przemysłowych;
- nowe zastosowania rtęci w produktach i procesach;
- tradycyjne wydobywanie i przetwarzanie złota na małą skalę (rzemieślnicze).

W ramach dalszych działań w 2021 r. przyjęto Konkluzje dotyczące najlepszych dostępnych technik (BAT) w odniesieniu do dużych obiektów energetycznego spalania zgodnie z dyrektywą 2010/75/UE. Odnoszą się one do spalania paliw w instalacjach o całkowitej nominalnej mocy w paliwie wynoszącej 50 MW lub więcej, zgazowania węgla lub innych paliw w instalacjach o całkowitej nominalnej mocy dostarczonej w paliwie wynoszącej 20 MW, unieszkodliwiania lub odzysku odpadów we współspalarniach odpadów (przy wskazanych wydajnościach). Konkluzje dotyczące najlepszych dostępnych technik (BAT) służą jako odniesienie przy ustalaniu warunków pozwolenia w przypadku wymienionych instalacji zaś właściwe organy powinny określać dopuszczalne wartości emisji, dzięki którym w normalnych warunkach eksploatacji emisje nie przekroczą poziomów powiązanych z najlepszymi dostępnymi technikami określonymi w decyzjach dotyczących konkluzji BAT.

## 4. Monitoring rtęci w atmosferze w Polsce

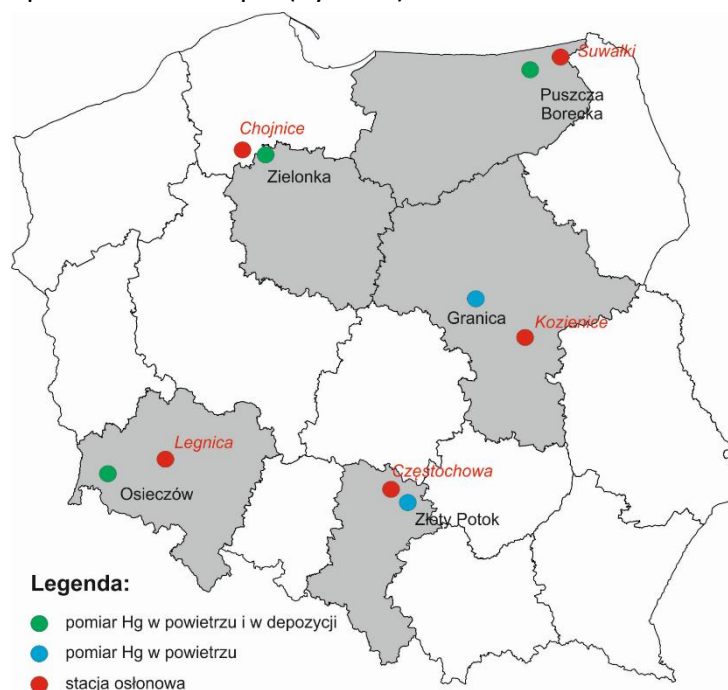
### 4.1. Opis stacji

Zgodnie z wymaganiami określonymi w aktualnym *Rozporządzeniu Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 11 grudnia 2020 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu* (RMŚ, 2020), a tym samym z dyrektywami 2008/50/WE, 2004/107/WE i 2015/1480 pomiary zanieczyszczenia powietrza rtęcią i depozycji całkowitej (podobnie jak innych metali ciężkich i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA)) prowadzi się w Polsce na wybranych stacjach pomiarowych tła regionalnego. Wynika to z faktu, że rtęć jest substancją bardzo niebezpieczną dla zdrowia ludzkiego (posiada zdolność kumulowania się w organizmach) i występuje w całym środowisku. Obowiązek ten został uwzględniony w obowiązujących w okresie dokonywanej oceny Programach Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 2010-2012 (PMŚ, 2009), 2013-2015 (PMŚ, 2012), 2016-2020 (PMŚ, 2015), 2020-2025 (PMŚ, 2020) oraz w Wykonawczych Programach Państwowego Monitoringu Środowiska na kolejne lata. Podstawowe cele wykonywania tych pomiarów to monitorowanie transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń oraz opracowywanie ocen jakości powietrza na stacjach tła regionalnego.

Do realizacji programu określonego dla stacji tła regionalnego zostały wytypowane przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska następujące stacje tła regionalnego:

- Granica (województwo mazowieckie),
- Osieczów (województwo dolnośląskie),
- Puszcza Borecka (województwo warmińsko-mazurskie),
- Zielonka (województwo kujawsko-pomorskie),
- Złoty Potok (województwo śląskie).

Lokalizację stacji tła regionalnego w Polsce wraz z osłonowymi stacjami meteorologicznymi pokazano na mapie (Rys. 4.1).



Rys. 4.1. Lokalizacja stacji tła regionalnego oraz osłonowych stacji meteorologicznych Źródło danych: Państwowy Monitoring Środowiska – GIOŚ, IMGW-PIB. Opracowanie: IOŚ-PIB

Podstawowe informacje o stacjach zamieszczono w tabeli 4.1, wskazując ich lokalizację, jednostkę nadzorującą (właściciela stacji) oraz kody stacji funkcjonujące od 2017 roku w krajowym Systemie Informatycznym Ekoinfonet (SI Ekoinfonet) i Europejskiej Sieci Informacji i Obserwacji Środowiska (EIONET). Ponadto, dla każdej stacji podano informacje o tym, która stacja meteorologiczna została wytypowana jako stacja osłonowa. Dane z tych stacji wykorzystano do oceny zmienności warunków meteorologicznych w rejonie tych stacji w latach 2010-2024 (rozdział 5). W tabeli zaznaczono również elementy programu pomiarowego realizowanego w roku 2024.

Tab.4.1. Podstawowe informacje o stacjach tła regionalnego w Polsce

(źródło danych: PMS/IMGW-PIB) Źródło danych: Państwowy Monitoring Środowiska – GIOŚ, IMGW-PIB.

Opracowanie: IOŚ-PIB

| Informacja          | Granica      | Osieczów     | Puszcza Borecka     | Zielonka           | Złoty Potok  |
|---------------------|--------------|--------------|---------------------|--------------------|--------------|
| Województwo         | mazowieckie  | dolnośląskie | warmińsko-mazurskie | kujawsko-pomorskie | śląskie      |
| Współrzędne         | 20°27'20" E  | 15°25'54" E  | 22°02'17" E         | 17°56'00" E        | 19°27'29" E  |
|                     | 52°17'09" N  | 51°09'04" N  | 54°07'30" N         | 53°39'00" N        | 50°42'38" N  |
| Właściciel stacji   | GIOŚ         | GIOŚ         | IOŚ-PIB             | GIOŚ               | GIOŚ         |
| Kod w SI Ekoinfonet | MzGranicaKPN | DsOsieczow21 | WmPuszczaBor        | KpZielBoryTu       | SlZlotPotLes |
| Kod w EIONET        | PL0128A      | PL0505A      | PL0005R             | PL0077A            | PL0243A      |
| Stacja osłonowa     | Kozienice    | Legnica      | Suwałki             | Chojnice           | Częstochowa  |
| Rtęć w powietrzu    | +            | +            | +                   | +                  | +            |
| Depozycja rtęci     |              | +            | +                   | +                  |              |

## 4.2. Metodyka pomiarów

Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 11 grudnia 2020 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (RMŚ, 2020) oraz obowiązujące w okresie objętym analizami niniejszego opracowania Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8 czerwca 2018 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (RMŚ, 2018) i Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 września 2012 r. (RMŚ, 2012), zgodnie z postanowieniami Dyrektywy 2004/107/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 15 grudnia 2004 r. w sprawie arsenu, kadmu, rtęci, niklu i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w otaczającym powietrzu wskazują metodyki referencyjne poboru próbek i analiz:

- dla rtęci gazowej zgodnie z normą PN-EN 15852: Jakość powietrza atmosferycznego. Standardowa metoda oznaczania rtęci gazowej całkowitej;
- dla depozycji rtęci zgodnie z normą PN-EN 15853: Jakość powietrza atmosferycznego. Standardowa metoda oznaczania depozycji rtęci.

Pomiary stężenia całkowitej rtęci gazowej (TGM) na stacjach tła regionalnego w Osieczowie, Zielonce, Złotym Potoku oraz na stacji w Granicy prowadzone były w sposób ciągły. Od początku pomiarów stosowano tam automatyczne spektrometry fluorescencyjne (CVAFS), rejestrujące godzinne wartości stężeń rtęci gazowej firmy Tekran. W połowie roku 2019 stacje te zostały wyposażone w nowe analizatory rtęci wykorzystujące metodę absorpcyjnej spektrometrii atomowej Zeemana (Zeeman AAS) firmy Lumex. Na stacjach w Granicy i Złotym Potoku nowe analizatory zastąpiły stare w czerwcu 2019 roku, w Osieczowie

i Zielonce prowadzono pomiary równoległe obiema metodami, a serie z roku 2019 w całości pochodzą ze starych analizatorów. Prezentowane w raporcie wyniki z lat 2020 - 2024 zostały uzyskane przy wykorzystaniu nowych analizatorów Lumex. Pomiary w stacji Puszcza Borecka w latach 2010-2020 wykonywano aspiracyjną metodą manualną wg wytycznych EMEP, z częstością raz na tydzień. Próbkę pobierano przez 24 godziny z zatężaniem rtęci na tzw. złotej pułapce (szklana rurka do poboru próbek powietrza o długości 10-12 cm, wypełniona sorbentem, którego skład stanowiły drobne elementy (1-2 mm) kwarcowe powleczone złotem), a następnie poddawano ją termodesorpcji i oznaczeniu metodą spektrometrii absorpcyjnej z użyciem analizatora AMA-254. W roku 2020 stację Puszcza Borecka wyposażono również w analizator Lumex i przeprowadzono wstępną serię pomiarową (równoległe z pomiarami manualnymi). Od 2021 roku na tej stacji pomiary są również prowadzone metodą automatyczną.

W tabeli 4.2 zestawiono informacje o metodach pomiarów stężeń całkowitej rtęci gazowej stosowane przez stacje tła regionalnego w 2024 roku.

Tab. 4.2. Informacje o metodach pomiaru stężenia całkowitej rtęci gazowej na stacjach tła regionalnego w Polsce w 2024

Źródło danych: Państwowy Monitoring Środowiska – GIOŚ. Opracowanie: IOŚ-PIB

| Informacja        | Granica                                                | Osieczów | Zielonka | Złoty Potok | Puszcza Borecka |
|-------------------|--------------------------------------------------------|----------|----------|-------------|-----------------|
| Metoda oznaczania | Zeeman AAS - absorpcyjna spektrometria atomowa Zeemana |          |          |             |                 |
| Nazwa urządzenia  | Lumex                                                  |          |          |             |                 |
| Typ urządzenia    | RA-915AM                                               |          |          |             |                 |
| Rok produkcji     | 2019                                                   |          |          |             | 2020            |

Na stacjach tła regionalnego: Osieczów, Puszcza Borecka i Zielonka badano zawartość rtęci w opadach całkowitych. Wartości depozycji obliczano na podstawie stężenia rtęci i wysokości opadu (obliczanej na podstawie masy/objętości zebranych opadów). Do pobierania próbek opadu do określenia wielkości depozycji rtęci wykorzystywano kolektory opadu całkowitego (o konstrukcji otwartej) – Eigenbrodt na stacjach GIOŚ, kolektor wg wzoru IVL na stacji IOŚ-PIB. W tabeli 4.3 przedstawiono podstawowe informacje o metodach pobierania próbek opadu całkowitego do pomiaru wielkości depozycji rtęci.

Zebrane na stacjach GIOŚ próbki opadów poddawano mineralizacji i oznaczano metodą CV-AFS z użyciem analizatora Millennium Merlin. W przypadku stacji Puszcza Borecka oznaczenia wykonywano metodą CV-AFS z użyciem analizatora Tekran 2600 w Instytucie Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie (Tab. 4.4).

Tab. 4.3. Informacje o metodach pobierania próbek depozycji rtęci na stacjach tła regionalnego w Polsce

Źródło danych: Państwowy Monitoring Środowiska – GIOŚ. Opracowanie: IOŚ-PIB

| Informacja                                  | Osieczów                   | Puszcza Borecka            | Zielonka                   |
|---------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Typ urządzenia                              | kolektor opadu całkowitego | kolektor opadu całkowitego | kolektor opadu całkowitego |
| Nazwa urządzenia                            | NSA 181/KD                 | IVL                        | NSA 181/KE                 |
| Producent urządzenia                        | Eigenbrodt                 | IVL                        | Eigenbrodt                 |
| Rok produkcji                               | 2019                       | 2002                       | 2019                       |
| Objętość butli                              | 5 dm <sup>3</sup>          | 0,5 dm <sup>3</sup>        | 5 dm <sup>3</sup>          |
| Materiał, z którego wykonane są butle i lej | szkło kwarcowe             | szkło borokrzemowe         | szkło kwarcowe             |
| Temperatura próbek w aparacie               | +4 do +6 °C                | otoczenia (zimą ok. +5°C)  | +4 do +6 °C                |

|                                   |                                       |                                                                |                                       |
|-----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Opcja podgrzewania leja           | tak                                   | tak                                                            | tak                                   |
| Częstotliwość zmiany butli        | co 4-5 tygodni                        | co 1 tydzień                                                   | 2 razy w miesiącu                     |
| Metoda określania wysokości opadu | obliczeniowa na podstawie masy próbki | obliczeniowa na podstawie masy próbki + deszczomierz Hellmanna | obliczeniowa na podstawie masy próbki |
| Sposób zabezpieczania próbek      | utrwalanie HNO <sub>3</sub>           | utrwalanie HNO <sub>3</sub>                                    | utrwalanie HCl+bromek-bromian potasu  |

Tab. 4.4. Informacje o metodach pomiaru depozycji rtęci na stacjach tła regionalnego w Polsce

Źródło danych: Państwowy Monitoring Środowiska – GIOŚ. Opracowanie: IOŚ-PIB

|                   |                               |                               |                               |
|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Informacja        | Osieczów                      | Puszcza Borecka               | Zielonka                      |
| Metoda oznaczania | system fluorescencji atomowej | system fluorescencji atomowej | system fluorescencji atomowej |
| Nazwa urządzenia  | Millennium Merlin             | Tekran                        | Millennium Merlin             |
| Typ urządzenia    | PSA 10.025                    | Model 2600                    | PSA 10.025                    |
| Rok produkcji     | 2009                          |                               | 2010                          |

## 5. Emisja

### 5.1. Źródła emisji rtęci

Emisja rtęci może być podzielona na emisję pierwotną i re-emisję (albo re-mobilizację), czyli emisję wtórną. Pierwotna emisja dotyczy rtęci, która jest po raz pierwszy uwalniana do środowiska, bezpośrednio ze źródeł naturalnych (np. wulkanów) lub antropogenicznych. Re-emisja odnosi się do rtęci ponownie wprowadzanej do powietrza lub wody po jej wcześniejszym uwolnieniu ze źródła. Na przykład rtęć z powietrza jest deponowana do oceanu a po pewnym czasie z oceanu re-emitowana do atmosfery i wtedy nie pochodzi z pierwotnego źródła, jak np. działalność przemysłowa.

Szacuje się, że ok. 10% światowej emisji rtęci do atmosfery pochodzi ze źródeł naturalnych, a 30% ze źródeł antropogenicznych. Pozostałe 60% to re-emisja rtęci pierwotnie wyemitowanej, głównie w wyniku działalności człowieka.

Działalność człowieka, w wyniku której rtęć dostaje się do środowiska można podzielić na:

- taką, w której rtęć jest używana w prowadzonych procesach (np. wytwarzanie chlorku winylu),
- taką, w której rtęć trafia do środowiska w sposób nie zamierzony, głównie w wyniku używania surowców zanieczyszczonych rtęcią; głównym przykładem jest spalanie węgla kamiennego, brunatnego i drewna, podczas którego uwalniana jest rtęć zawarta w paliwie.

Źródła naturalne:

- wybuchy wulkanów,
- erozja gleb,
- pożary.

Źródła antropogeniczne:

- użytkowanie rtęci: procesy chemiczne (np. wytwarzanie chlorku winylu), kopalnie złota, baterie, żarówki, stomatologia;

- emisja związana z różnymi procesami, jako efekt uboczny: spalanie paliw stałych, przetwórstwo metali, produkcja cementu, rafinerie ropy, zagospodarowanie odpadów (składowiska i spalarnie).

W skali światowej w 2010 roku 37% emisji rtęci pochodziło z małych kopalń złota, 24% ze spalania węgla, 13% z przetwórstwa metali, 9% z produkcji cementu, po 5% z produkcji złota na dużą skalę i z odpadów zawierających rtęć, a 9% z innych źródeł.

Szacuje się, że rocznie na świecie emituje się 2000-2500 ton rtęci, przy czym w ostatnich latach emisja w Europie i Ameryce Północnej maleje, a w Azji (w wyniku działalności przemysłowej i spalania paliw), Afryce i Ameryce Południowej (z powodu wydobycia złota) rośnie (EEA, 2018). Większość globalnej emisji rtęci ma miejsce w Azji (49%, z czego 27% przypada na Wschodnią Azję), następnie w Afryce (17%) i Ameryce Południowej (13%) (EMEP, 2021).

## 5.2. Produkcja i wykorzystanie rtęci

Poniżej przedstawiono informacje zaczerpnięte z Raportu Europejskiej Agencji Środowiska *Mercury in Europe's environment. A priority for European and global action* (EEA, 2018).

Rudy rtęci przez tysiące lat były wydobywane na niewielką skalę. Wydobycie znacząco wzrosło w XVI wieku, gdy zaczęto je wykorzystywać w procesie pozyskiwania rud srebra. W połowie XIX wieku wykorzystanie rtęci wzrosło wraz z uruchomieniem kopalni złota i rewolucją przemysłową w Europie. Kolejne wzrosty miały miejsce w latach 40-tych i 70-tych XX wieku, gdy znalazła zastosowanie militarne (materiały wybuchowe). Potem wydobycie zmniejszyło się znacząco, chociaż w ostatnich latach niektóre kopalnie znowu zostały otwarte. Obecnie rtęć jest wydobywana tylko w 4 krajach: Chinach, Indonezji, Kirgistanie i Meksyku. Produkcja rtęci została przeniesiona do regionów o największym zapotrzebowaniu (w małych kopalniach złota i do produkcji chlorku winylu), podczas gdy Europa i Ameryka Północna wprowadziły ograniczenia dotyczące produkcji, handlu i użytkowania rtęci.

Rtęć jest wykorzystywana jako surowiec w różnych procesach przemysłowych. Szacuje się, że w roku 2015 zużyto na świecie 4716 ton rtęci. Zaobserwowano tendencję wzrostową w stosunku do 2005 roku, głównie za sprawą użytkowania rtęci w małych kopalniach złota i przy produkcji chlorku winylu. Do danych tych należy podchodzić ostrożnie ze względu na zmiany w metodyce szacowania zużycia.

37% światowego zużycia rtęci przypada na małe kopalnie złota a 26% na produkcję chlorku winylu (służącego do wytwarzania PCV). Używa się jej także przy produkcji chemikaliów, żarówek, baterii oraz w stomatologii (plomby dentystyczne).

Wzrost zużycia rtęci w produkcji chlorku winylu jest związany ze wzrostem zapotrzebowania w krajach rozwijających się na takie produkty, jak np. plastikowe ramy okienne. W takich krajach, jak Chiny stosowane są procesy oparte na wykorzystaniu rtęci, podczas gdy w krajach rozwiniętych (np. w Europie) stosowane są technologie wolne od rtęci.



Rzemieślnicze wydobycie złota w małej skali w kopalniach w Azji, Afryce, Ameryce Środkowej i Południowej polega na oczyszczaniu i ekstrakcji złota z wydobywanej rudy. Rtęć jest używana do oddzielenia złota od innych materiałów w wydobytej rudzie. Powstaje amalgamat, który następnie jest poddawany obróbce termicznej, w której rtęć odparowuje i pozostaje złoto. Praktycznie cała rtęć jest wprowadzana do środowiska. Prowadzone są badania nad możliwością zastąpienia rtęci boraksem.

W Europie podjęto działania zmierzające do zakończenia używania rtęci w procesach przemysłowych i produktach. Nie używa się jej w małych kopalniach złota (poza Gujaną Francuską, stanowiącą terytorium Francji) a przy produkcji chlorku winylu stosowano ją tylko w jednej fabryce na Słowacji.

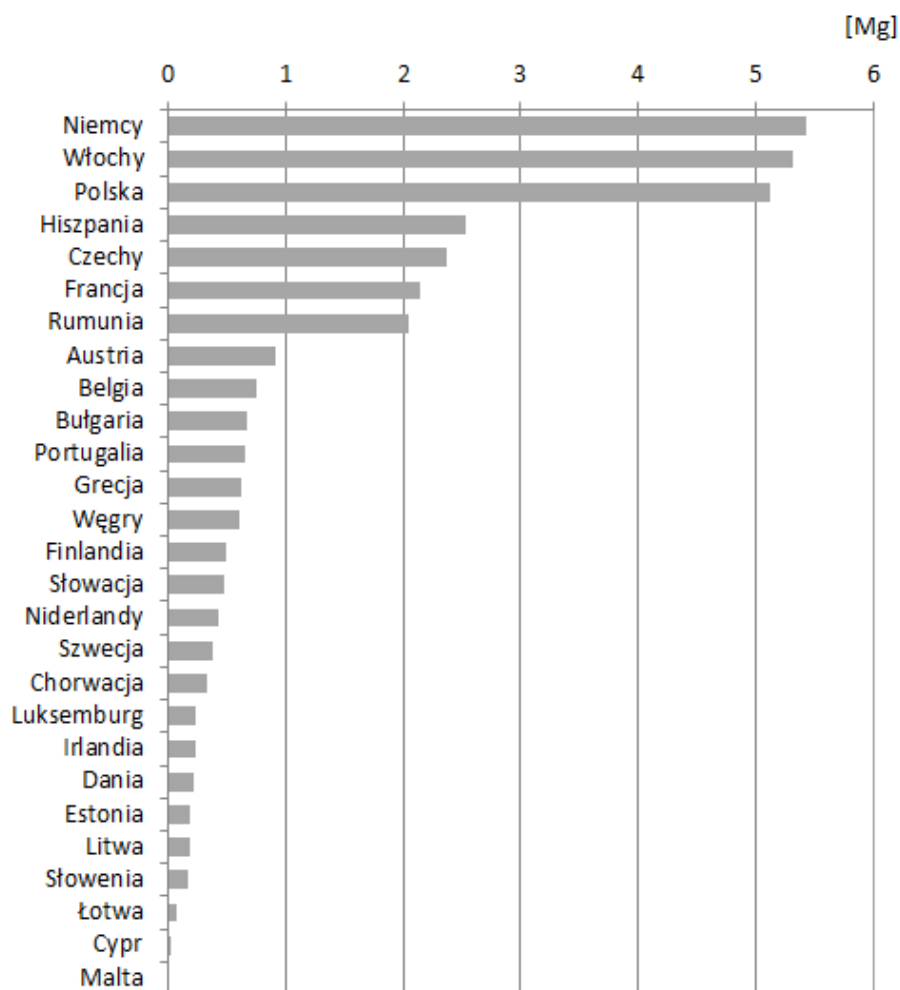
W krajach Unii Europejskiej w 2015 roku 85 ton rtęci zużyto w przemyśle chloro-alkalicznym a 56 ton w stomatologii. Ponieważ w 2017 roku zakazano używania rtęci w przemyśle przy produkcji związków chloru, to główne zużycie przypada na stomatologię.

W 2015 roku w Europie zużyto 249 ton rtęci, co stanowi 5% jej światowego zużycia. W tym samym roku we Wschodniej i Południowo-wschodniej Azji zużyto 2407 ton rtęci.

Wypełnienia (plomby) zawierające w swoim składzie ok. 50% rtęci są używane w stomatologii od XIX wieku ze względu na niski koszt i dużą trwałość. Przyjmując, że ok. 75% spośród 500 mln mieszkańców Unii Europejskiej ma plomby zawierające rtęć zgromadzone jest w ich organizmach ok. 1500 ton rtęci. Może ona być uwolniona do środowiska na przykład w procesie kremacji. Alternatywą dla plomb zawierających rtęć są wypełnienia kompozytowe, które są coraz częściej stosowane w Europie, ale ze względu na koszty są mniej popularne w krajach o niższych dochodach. Obecne prawodawstwo Unii Europejskiej zabrania stosowania plomb zawierających rtęć w zębach mlecznych, u dzieci poniżej 15 roku życia oraz u kobiet ciężarnych i karmiących. Kraje członkowskie Unii Europejskiej są zobowiązane do opracowania planów zmniejszania zużycia rtęci w stomatologii.

### **5.3. Emisja rtęci w krajach Unii Europejskiej**

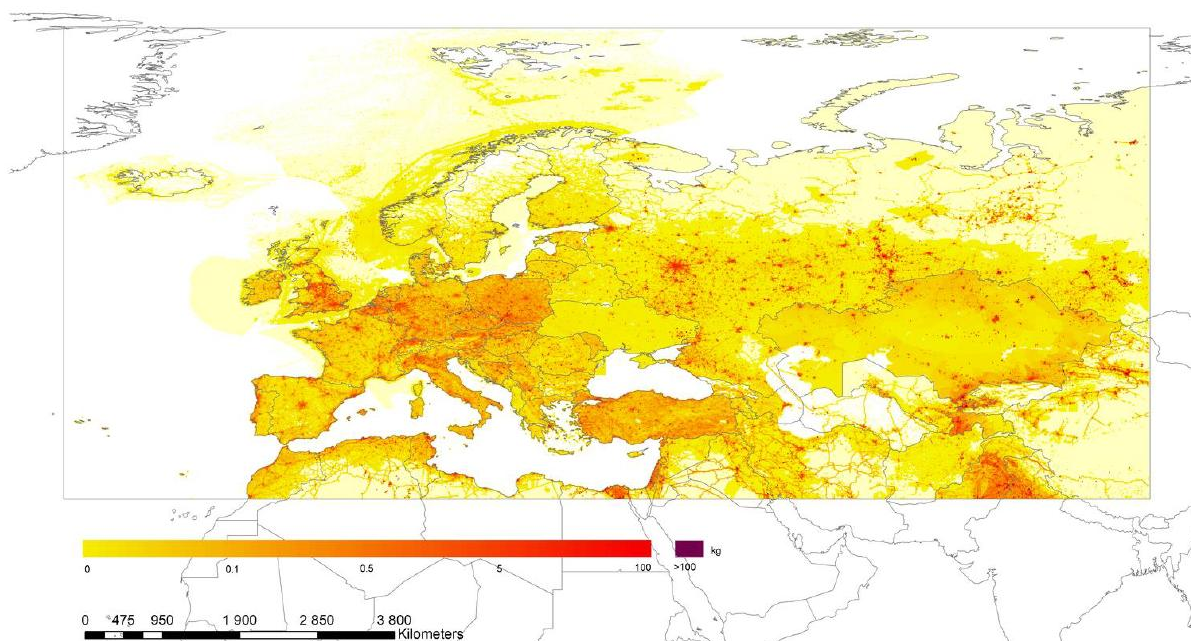
Według danych gromadzonych w ramach *Konwencji w sprawie transgranicznego zanieczyszczenia powietrza na dalekie odległości (Konwencja LRTAP)*, w 27 krajach Unii Europejskiej w 2023 roku wyemitowano ze źródeł antropogenicznych 32,63 Mg rtęci (ostatnie dostępne dane raportowane przez kraje-strony Konwencji, wykorzystywane do obliczeń modelowych). Wśród krajów o największej emisji rtęci znajdują się: Niemcy, Włochy, Polska, Hiszpania, Czechy, Francja i Rumunia (Rys. 5.2). Z krajów tych pochodziło w sumie 66,4% rtęci wyemitowanej w roku 2023 na obszarze UE27. Warto zaznaczyć, że 42% rtęci pochodzącej z Unii Europejskiej wyemitowały pierwsze 3 kraje w tym rankingu, a wśród nich na trzecim miejscu znajduje się Polska. Znacząca emisja pochodzi z Wielkiej Brytanii, która już nie jest uwzględniana w zestawieniu dla krajów Unii Europejskiej (gdyby uwzględnić ten kraj w rankingu, to zajęłby 4 miejsce). Najmniejszą emisję rtęci odnotowano w najmniejszych krajach: na Łotwie, Cyprze i Malcie (Rys. 5.1). W stosunku do roku 2010 we wszystkich krajach odnotowano spadek emisji, co spowodowało, że sumaryczna emisja rtęci na obszarze Unii Europejskiej (przy uwzględnieniu 27 krajów) była w 2023 roku o 56% mniejsza.



Rys. 5.1. Wielkości emisji rtęci w 27 krajach Unii Europejskiej w roku 2023 [Mg]  
 Źródło danych: <http://webdab01.umweltbundesamt.at>. Opracowanie: IOŚ-PIB

Emisja z 27 krajów Unii Europejskiej w 2023 roku stanowiła 19,5% emisji całkowitej z domeny EMEP, czyli obszaru objętego *Konwencją LRTAP* – Europy, Centralnej Azji i Kaukazu. Udział ten był znacząco mniejszy niż w roku 2010, gdy wyniósł 34,2%. Udział Polski w emisji z Unii Europejskiej w 2023 roku wynosił 15,7% (spadek w stosunku do roku 2010 o 4,2 punktu procentowego), a w emisji z domeny EMEP 3,1% (spadek o 3,8 punktu procentowego w stosunku do roku 2010).

Rozkład przestrzenny emisji rtęci w siatce EMEP wskazuje na lokalizację obszarów o największej emisji rtęci spośród krajów Unii Europejskiej w Niemczech, w Polsce, w północnych Włoszech, a spośród innych krajów – w Wielkiej Brytanii, Serbii, Bośni i Hercegowinie oraz w Turcji (Rys. 5.2).



Rys. 5.2. Rozkład przestrzenny emisji rtęci w domenę EMEP w roku 2023 [kg] (siatka 0,1°x0,1°)  
 Źródło: [www.ceip.at/the-emep-grid/gridded-emissions/hg](http://www.ceip.at/the-emep-grid/gridded-emissions/hg)

#### 5.4. Struktura emisji rtęci w Polsce

Prezentowane dane dotyczące wielkości emisji rtęci z poszczególnych sektorów zaczerpnięto z opracowania przygotowanego przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (MKiŚ, KOBIZE, 2025). Dane zostały przygotowane w oparciu o obowiązującą obecnie strukturę źródeł emisji w układzie klasyfikacji NFR (*Nomenclature for Reporting*). Jest ona wykorzystywana przy raportowaniu do *Konwencji EKG ONZ w sprawie transgranicznego zanieczyszczenia powietrza na dalekie odległości (CLRTAP)* oraz do Unii Europejskiej w ramach *Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/2284 z dnia 14 grudnia 2016 r. w sprawie redukcji krajowych emisji niektórych rodzajów zanieczyszczeń atmosferycznych* (tzw. dyrektywie pułapowej), a także na potrzeby statystyki krajowej. We wcześniejszych opracowaniach dotyczących zanieczyszczenia powietrza rtęcią (do 2019 r.) prezentowano dane dotyczące emisji w układzie sektorów SNAP.

W roku 2023 krajowa emisja rtęci wyniosła 5,11 Mg; w stosunku do emisji z poprzedniego roku była ona o 17,7% mniejsza.

W tabeli 5.1. zestawiono wielkości emisji rtęci z głównych sektorów NFR w roku 2023.

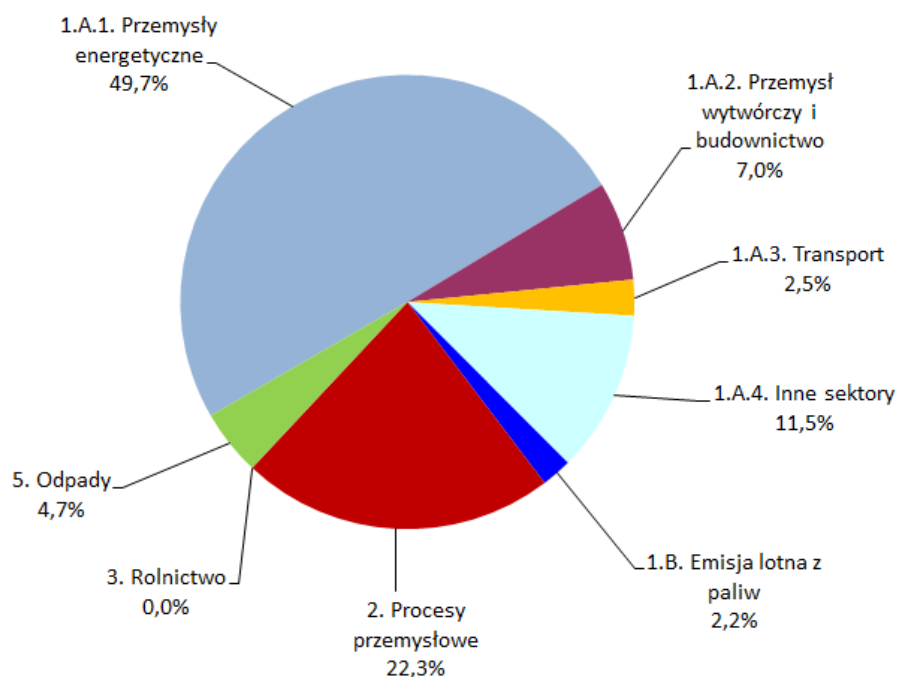
Tab. 5.1. Emisja rtęci w Polsce z głównych sektorów (NFR) w roku 2023

Źródło danych: MKiŚ, KOBiZE, 2025. Opracowanie: IOŚ-PIB

| Źródła emisji                                     | Emisja Hg   |
|---------------------------------------------------|-------------|
|                                                   | [Mg]        |
| <b>1. Energia</b>                                 | <b>3,73</b> |
| A. Spalanie paliw                                 | 3,62        |
| 1. Przemysły energetyczne                         | 2,54        |
| 2. Przemysł wytwórczy i budownictwo               | 0,36        |
| 3. Transport                                      | 0,13        |
| 4. Inne sektory                                   | 0,59        |
| B. Emisja lotna z paliw                           | 0,11        |
| <b>2. Procesy przemysłowe</b>                     | <b>1,14</b> |
| A. Produkty mineralne                             | 0,01        |
| B. Przemysł chemiczny                             | 0,00        |
| C. Produkcja metali                               | 0,92        |
| D. Stosowanie rozpuszczalników i innych produktów | 0,21        |
| G. – L. Inne                                      | 0,00        |
| <b>3. Rolnictwo</b>                               | <b>0,00</b> |
| B. Nawozy naturalne                               | 0,00        |
| D. Gleby rolne                                    | 0,00        |
| F. Spalanie resztek roślinnych                    | 0,00        |
| <b>5. Odpady</b>                                  | <b>0,24</b> |
| A. Składowiska odpadów stałych                    | 0,00        |
| C. Spopielanie i otwarte spalanie odpadów         | 0,24        |
| D. Gospodarka ściekami                            | 0,00        |
| E. Inne                                           | 0,00        |
| <b>Suma</b>                                       | <b>5,11</b> |

Udział emisji z poszczególnych sektorów w emisji krajowej rtęci w 2023 roku zaprezentowano na rysunku 5.3.

Dominującym źródłem emisji rtęci jest spalanie paliw w sektorze 1A1. *Przemysły energetyczne*. W roku 2023 z tego sektora pochodziło 49,7% rtęci. Na kolejnych miejscach – ze znacznie mniejszym udziałem w całkowitej emisji Hg – znalazły się: *Procesy przemysłowe* – 22,3%, następnie *Inne sektory* (gdzie mieszczą się instytucje, handel, usługi, gospodarstwa domowe, spalanie paliw w rolnictwie, leśnictwie i rybołówstwie) – 11,5%, *Przemysł wytwórczy i budownictwo* – 7,0% oraz *Odpady* – 4,7%. W dalszej kolejności znalazły się kategorie: *Transport* – 2,5% i *Emisja lotna z paliw* – 2,2%. Emisja z pozostałych sektorów była pomijalnie mała.



Rys. 5.3. Główne sektory emisji rtęci w Polsce w 2023 roku  
Źródło danych: MKiŚ, KOBiZE, 2025. Opracowanie: IOŚ-PIB

Biorąc pod uwagę emisję rtęci w roku 2023 z zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza można stwierdzić, że 40,7% emisji krajowej z tego typu zakładów miało źródło w województwie łódzkim (główne źródło - elektrownia w Bełchatowie). Na kolejnych miejscach znalazły się województwa: dolnośląskie (14,1% emisji), śląskie (10,9%) i świętokrzyskie (9,2%). Listę zamykają województwa lubelskie i warmińsko-mazurskie (odpowiednio 0,6% i 0,2% emisji rtęci z zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza w Polsce); brak danych dla województwa lubuskiego (GUS, 2024).

## 6. Charakterystyka warunków meteorologicznych

W niniejszym rozdziale przedstawiono podstawowe informacje dotyczące zmienności wybranych wielkości meteorologicznych w roku 2024 na tle roku poprzedniego i okresu 2010-2023. W ocenie uwzględniono zmiany temperatury i wysokości opadu oraz kierunku napływu mas powietrza, wynikającego z cyrkulacji atmosferycznej. Analizy warunków meteorologicznych w rejonach stacji tła przeprowadzono na podstawie danych IMGW-PIB, pochodzących z wybranych stacji - reprezentatywnych, jeśli chodzi o warunki meteorologiczne w rejonach analizowanych stacji tła (patrz rozdział 4). W analizach uwzględniono wyniki pomiarów z najbliższych stacji meteorologicznych zwanych osłonowymi. Dane o opadach z meteorologicznych stacji osłonowych posłużyły tylko do oceny skali i tendencji zmian warunków opadowych w rejonach stacji tła regionalnego. Dlatego też, wielkość depozycji rtęci do podłoża obliczono na podstawie wyników pochodzących z kolektorów zlokalizowanych na poszczególnych stacjach tła regionalnego.

## Temperatura powietrza

Temperatura powietrza jest głównym parametrem meteorologicznym mającym bezpośredni i pośredni wpływ na obserwowane stężenia rtęci w powietrzu. W sezonie chłodnym, przy niskich temperaturach powietrza zwiększa się zapotrzebowanie na ciepło i tym samym wzrasta emisja rtęci w wyniku produkcji energii pochodzącej ze spalania paliw kopalnych (w tym przede wszystkim węgla). W sezonie ciepłym, wysoka temperatura sprzyja reakcjom zachodzącym w atmosferze i tworzeniu się wtórnego aerozolu z rtęcią, natomiast przy bardzo wysokich temperaturach zwiększa się produkcja energii (i tym samym zwiększa się emisja zanieczyszczeń do atmosfery) w wyniku jej zapotrzebowania dla urządzeń chłodzących. Obie sytuacje przy niekorzystnych warunkach rozpraszania zanieczyszczeń mogą sprzyjać powstawaniu sytuacji epizodycznych.

W roku 2024 średnie roczne temperatury powietrza na wszystkich uwzględnionych w opracowaniu stacjach osiągnęły najwyższe wartości w analizowanym wieloleciu 2010-2024 (Tab. 6.1). W północno-wschodniej Polsce (Suwałki/Puszcza Borecka) wartości temperatury były, jak zwykle, najniższe, a w południowo-zachodniej Polsce (Legnica/Osieczów) - najwyższe. Cechą charakterystyczną warunków termicznych w roku 2024 były wyjątkowo ciepłe luty i marzec. Na wielu stacjach luty był rekordowo ciepły w całym analizowanym okresie. W sezonie ciepłym na szczególną uwagę zasługuje względnie ciepły, a na niektórych stacjach rekordowo ciepły – wrzesień.

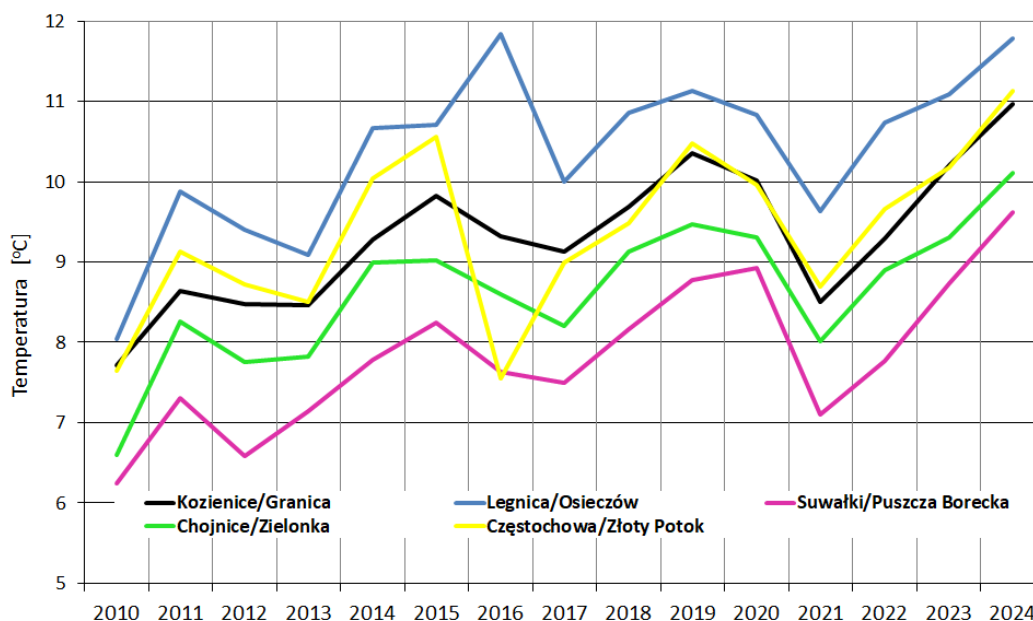
Na wszystkich stacjach średnie temperatury były wyższe od średniej z wielolecia 2010-2023, przy czym największe różnice zanotowano w rejonach stacji Puszcza Borecka i Złoty Potok (o 1,9°C), a najmniejszą w rejonie stacji Osieczów (o 1,5°C). W stosunku do poprzedniego roku największy wzrost temperatury zanotowano dla rejonu stacji Puszcza Borecka (0,9°C), a najmniejszy – w rejonie stacji Osieczów (0,7°C).

Tab. 6.1. Średnie roczne temperatury w latach 2010-2024 i ich zmiany; wyniki ze stacji ośłonowych dla wymienionych stacji tła regionalnego

Źródło danych: IMGW-PIB. Opracowanie: IOŚ-PIB

| Parametr             | Okres            | Stacja  |          |                 |          |             |
|----------------------|------------------|---------|----------|-----------------|----------|-------------|
|                      |                  | Granica | Osieczów | Puszcza Borecka | Zielonka | Złoty Potok |
| Temperatura [°C]     | 2024             | 11,0    | 11,8     | 9,6             | 10,1     | 11,1        |
|                      | 2023             | 10,2    | 11,1     | 8,7             | 9,3      | 10,2        |
|                      | 2010-2023        | 9,2     | 10,3     | 7,7             | 8,5      | 9,3         |
| Różnica [°C]         | 2024/2023        | 0,8     | 0,7      | 0,9             | 0,8      | 0,9         |
|                      | 2024/(2010-2023) | 1,8     | 1,5      | 1,9             | 1,6      | 1,9         |
| Różnica względna [%] | 2024/2023        | 7,5%    | 6,2%     | 10,1%           | 8,7%     | 9,3%        |
|                      | 2024/(2010-2023) | 19,1%   | 14,6%    | 24,8%           | 18,5%    | 20,2%       |

Najchłodniejszy w rejonach omawianych stacji był rok 2010, po którym temperatury były generalnie wyższe (Rys. 6.1). Największy przyrost temperatury zaobserwowano od 2021 roku, co wzmocniło jej tendencję wzrostową. Można stwierdzić, że w latach 2010-2024 tendencja zmian temperatury na wszystkich 5 stacjach jest dodatnia, o średnim wzroście 1,8°C/15 lat.



Rys. 6.1. Średnie roczne wartości temperatury powietrza w latach 2010-2024 w rejonach stacji tła regionalnego  
Źródło danych: IMGW-PIB. Opracowanie: IOŚ-PIB

Podsumowując można stwierdzić, że rok 2024 był najcieplejszym w wieloleciu 2010-2024. Na takie warunki miały wpływ względnie ciepłe miesiące zimowe i upalne miesiące letnie.

#### Opad atmosferyczny

Drugim istotnym elementem meteorologicznym, poza temperaturą powietrza, mającym wpływ na jakość powietrza atmosferycznego oraz wielkość deponowanych ładunków do podłoża jest opad atmosferyczny, który wymywa z atmosfery zanieczyszczenia, w tym związki rtęci.

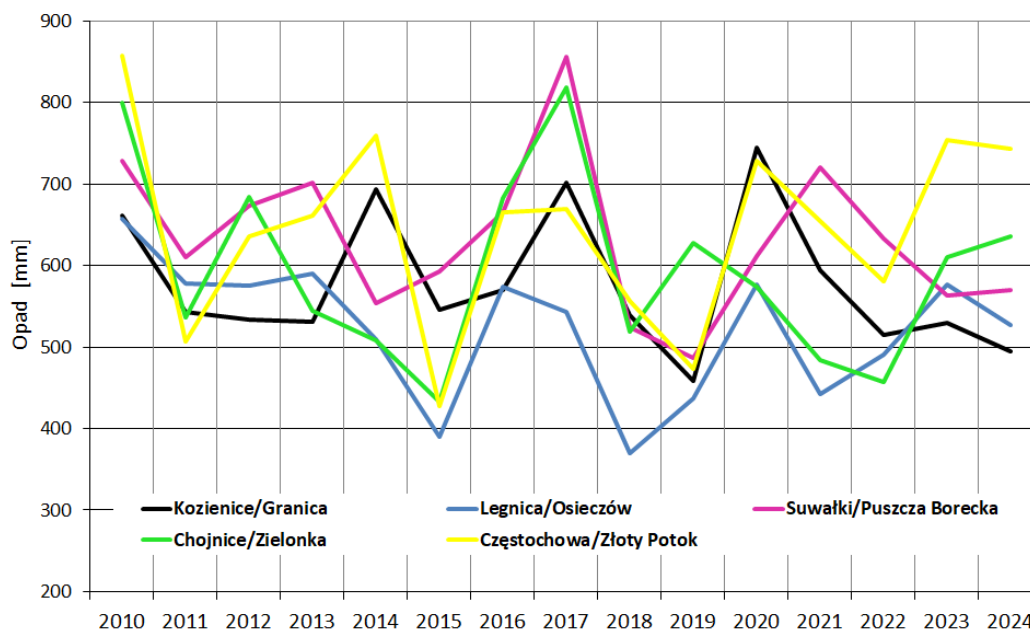
W 2024 roku sumaryczna wysokość opadu w rejonach większości stacji była niższa w stosunku do wartości z roku poprzedniego (różnice względne wyniosły średnio ok. -5%) z wyjątkiem rejonów Zielonki i Puszczy Boreckiej, gdzie odnotowano niewielki wzrost opadów (Tab. 6.2). W stosunku do wartości średnich dla wielolecia (2010-2023) opady w roku 2024 były wyższe w rejonie Złotego Potoku (o 16,6%), Zielonki (o 7,5%) i Osieczowa (o 1,0%), a na stacjach ośłonowych dla Granicy i Puszczy Boreckiej odnotowano spadki, odpowiednio o 15,2% i 10,5%.

Tab. 6.2. Roczne sumy wysokości opadu w latach 2010-2024 i ich względne zmiany  
Źródło danych: IMGW-PIB. Opracowanie: IOŚ-PIB

| Parametr             | Okres            | Stacja  |          |                 |          |             |
|----------------------|------------------|---------|----------|-----------------|----------|-------------|
|                      |                  | Granica | Osieczów | Puszcza Borecka | Zielonka | Złoty Potok |
| Wysokość opadu [mm]  | 2024             | 494,2   | 527,4    | 570,3           | 636,0    | 743,7       |
|                      | 2023             | 529,2   | 576,2    | 563,4           | 609,9    | 754,6       |
|                      | 2010-2023        | 582,9   | 522,1    | 637,3           | 591,7    | 638,1       |
| Różnica względna [%] | 2024/2023        | -6,6%   | -8,5%    | 1,2%            | 4,3%     | -1,4%       |
|                      | 2024/(2010-2023) | -15,2%  | 1,0%     | -10,5%          | 7,5%     | 16,6%       |

W ciągu roku 2024 opady były, jak zwykle, zróżnicowane w czasie i przestrzeni. Należy zaznaczyć, że na większości stacji zanotowano niskie opady w ciepłej połowie roku. Cechą

charakterystyczną warunków opadowych obserwowanych na większości stacji osłonowych w roku 2024 był bardzo bogaty w opady sezon zimowy (styczeń-luty); szczególnie w lutym na wielu stacjach zanotowano rekordowe opady deszczu i śniegu.



Rys. 6.2. Sumy roczne wysokości opadu w latach 2010-2024 w rejonach stacji tła regionalnego

Źródło danych: IMGW-PIB. Opracowanie: IOŚ-PIB

### Warunki termiczno-opadowe

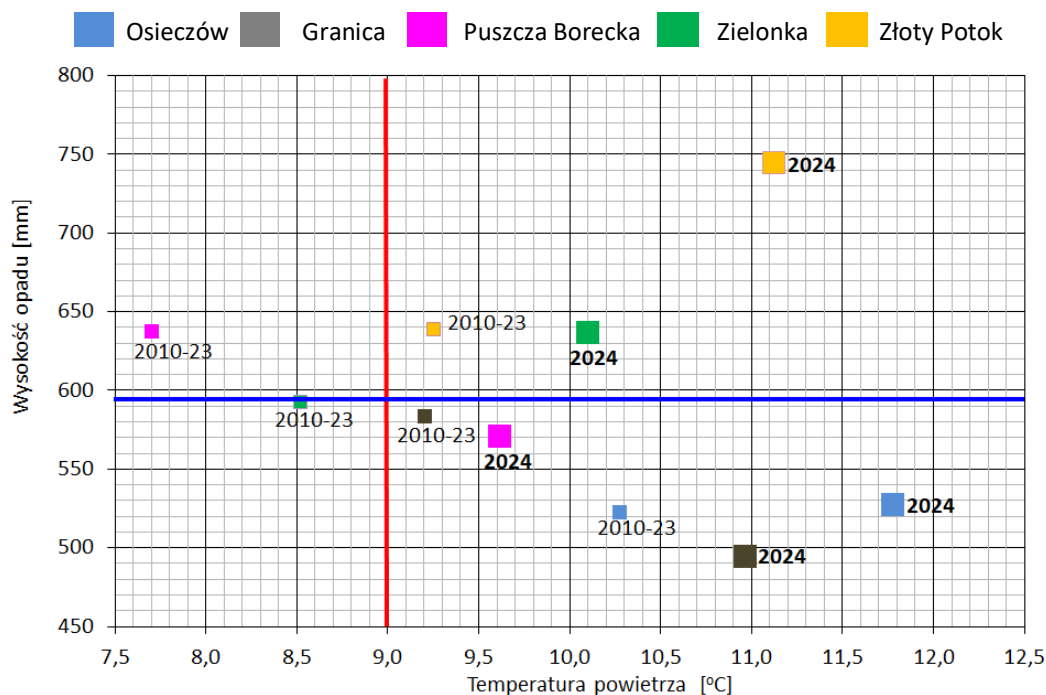
Charakterystykę warunków termiczno-opadowych dla rejonów każdej stacji w roku 2024 i w okresie 2010-2023 przedstawiono na rysunku 6.3. Linie pionową i poziomą wyznaczono na podstawie wartości średnich obliczonych dla wszystkich stacji osłonowych z okresu analizowanych 15 lat, odpowiednio dla temperatury powietrza (kolor czerwony) i sumarycznej wysokości opadów (kolor niebieski). Punkt przecięcia się tych linii wyznacza przeciętne wartości rocznej temperatury powietrza i rocznej sumy wysokości opadu w latach 2010-2024.

Należy zauważyć, że o ile reprezentatywność przestrzenna wybranych stacji osłonowych pod względem temperatury powietrza jest bardzo dobra (różnice w stosunku do wyników pomiarów prowadzonych na wybranych stacjach tła regionalnego z reguły nie przekraczały poziomu błędów pomiarów), o tyle reprezentatywność pod względem wysokości opadów jest dużo gorsza, ponieważ opady należą do najbardziej zmiennych w czasie i przestrzeni elementów meteorologicznych. Stąd też wysokości opadów na stacjach osłonowych i na stacjach tła mogą się między sobą różnić. Różnice te mogą być pogłębione także z powodu stosowania innej metody pomiaru. Na osłonowych stacjach meteorologicznych IMGW-PIB stosowane są deszczomierze umieszczone na wysokości 1m n.p.g., natomiast na stacjach tła - kolektory opadu o większej powierzchni wlotu opadu, umieszczone na wysokości 1,5 m n.p.g.



Najcieplejszym w roku 2024 - spośród omawianych obszarów Polski - był rejon stacji Osieczów, zaś najchłodniejszym - rejon stacji Puszcza Borecka, podobnie jak w poprzednich latach.

Opady w 2024 roku w stosunku do poprzedniego roku i wielolecia 2010-2023 były dość zróżnicowane pod względem sumarycznej wysokości. Można zauważyć (Rys. 6.3), że w rejonie stacji Złoty Potok opady były nie tylko najwyższe, ale i najbardziej odbiegające od opadów przeciętnych. Najniższe opady i niższe niż w wieloleciu wystąpiły w rejonie Granicy.

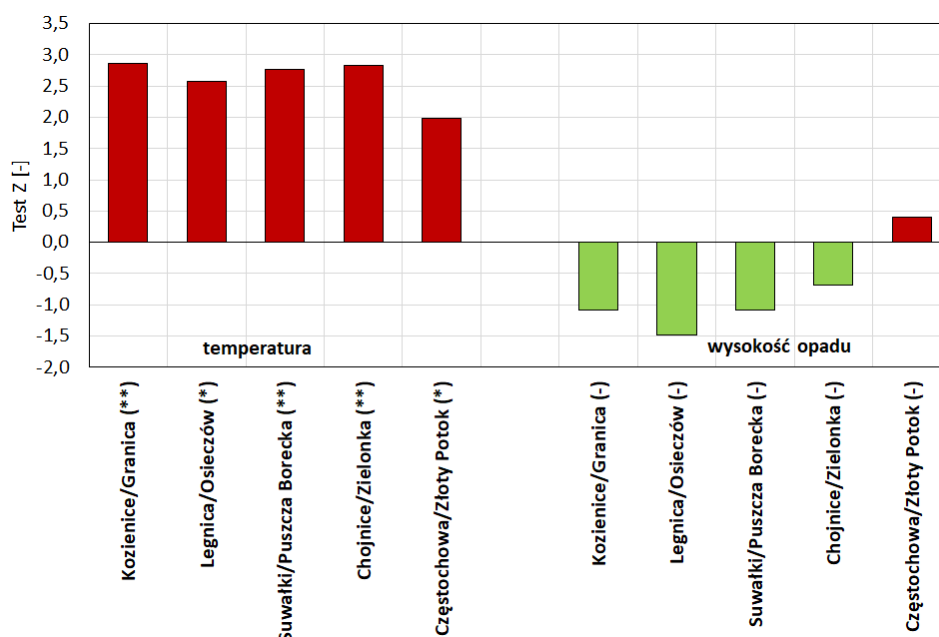


Rys. 6.3. Charakterystyka warunków termiczno-opadowych w latach 2010-2024 dla uśrednionych wartości temperatury i wysokości opadu dla stacji osłonowych 5 stacji tła regionalnego

Źródło danych: IMGW-PIB. Opracowanie: IOŚ-PIB

Można zauważyć, że w roku 2024 najbardziej zbliżony do przeciętnych warunków meteorologicznych dotychczas analizowanych pod względem temperatury powietrza i wysokości opadów był rejon stacji Puszcza Borecka.

Dla średnich rocznych wartości temperatury powietrza i sumarycznych wysokości opadów przeprowadzono analizę trendów. Wykazała ona istnienie trendów rosnących o różnym stopniu istotności dla temperatury w rejonach wszystkich stacji tła, najmniej istotnych w rejonach stacji Osieczów i Złoty Potok (Rys. 6.4). W przypadku opadów nie stwierdzono trendów, a jedynie tendencję – rosnącą w rejonie stacji Złoty Potok, a malejącą w rejonie pozostałych stacji.



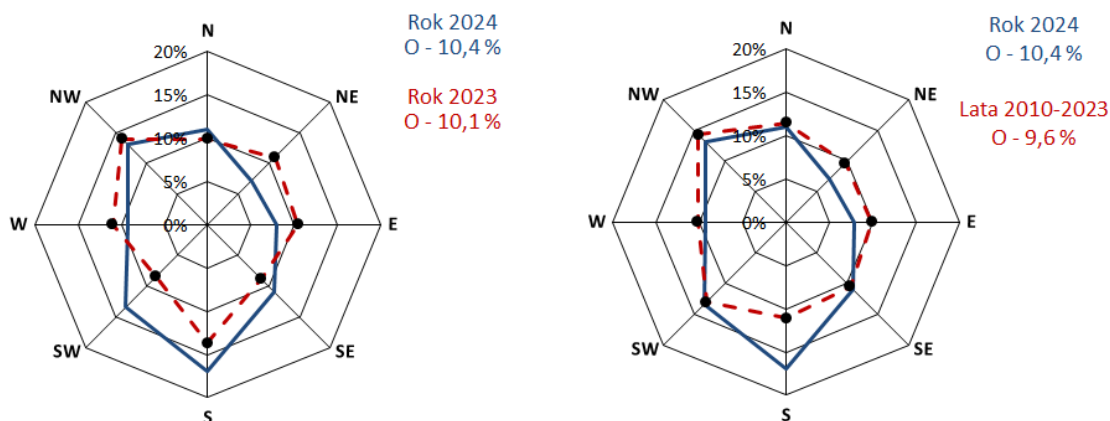
Rys. 6.4. Trendy i tendencje zmian średnich rocznych temperatur i sum wysokości opadów w dla stacji osłonowych 5 stacji tła regionalnego w latach 2010-2024

Źródło danych: IMGW-PIB. Opracowanie: IOŚ-PIB

#### Kierunek napływu mas powietrza – cyrkulacje

Przedstawione kierunki cyrkulacji powietrza charakteryzują przeciętne kierunki napływu mas powietrza nad obszar Polski (obliczone na podstawie wartości dobowych - danych IMGW-PIB). Warunki o nieokreślonym kierunku napływu mas powietrza i ze słabszymi na ogół wiatrami oznaczane są poprzez cyrkulację typu „0”. Cyrkulacja atmosferyczna, jako element wielkoskalowy, lepiej odzwierciedla ruchy mas powietrza niosącego zanieczyszczenia niż kierunki wiatru mierzone na stacjach na wysokości 10 m n.p.g., uwarunkowane często orografią terenu i zalesieniem.

W roku 2024 nad Polskę najczęściej napływały masy powietrza z kierunku południowego i południowo-zachodniego (odpowiednio ok. 17% i 13% czasu w roku). Najrzadziej obserwowano napływy mas powietrza z kierunku wschodniego i północno-wschodniego, występujące przez 7 i 8% czasu. W stosunku do roku poprzedniego zyskały kierunki południowo-zachodni, południowy i południowo-wschodni, kosztem kierunków północno-wschodniego, północnego i wschodniego (Rys. 6.5).



Rys. 6.5. Częstość wstępowania poszczególnych kierunków cyrkulacji atmosferycznej w 2024 roku na tle wartości z roku 2023 i okresu 2010-2023

Źródło danych: IMGW-PIB. Opracowanie: IOŚ-PIB

Cyrkulacje typu 0 w 2024 roku występowały przez 10,4% czasu, czyli podobnie jak w roku poprzednim (10,1%) i nieco częściej niż w wieloleciu 2010-2023 (9,6%).

W roku 2023 cechą charakterystyczną napływu mas powietrza nad stację tła w stosunku do lat wcześniejszych była ponadprzeciętna częstość występowania cyrkulacji z kierunków sektora południowego w przeciwieństwie do lat wcześniejszych, kiedy przeważały kierunki północno-zachodni i południowo-zachodni.

## 7. Ocena zanieczyszczenia atmosfery rtęcią Polsce

W rozdziale przedstawiono ocenę stopnia zanieczyszczenia atmosfery rtęcią (stężenia w powietrzu i depozycję) na stacjach tła regionalnego w latach 2010-2024.

### 7.1. Zanieczyszczenie powietrza rtęcią

Ocenę zanieczyszczenia powietrza rtęcią w postaci gazowej w latach 2010-2024 wykonano na podstawie wyników pomiarów z pięciu stacji tła regionalnego: Granica, Osieczów, Zielonka (Bory Tucholskie), Puszcza Borecka i Żłoty Potok. Seria pomiarowa uzyskana na stacji Zielonka w 2024 r. nie została wykorzystana w opracowaniu ze względu na zbyt niską kompletność (42,6%).

Wartości średnich rocznych stężeń Hg pokazano w tabeli 7.1. Przedstawione statystyki uzyskano na podstawie obliczeń z dobowych serii (wyniki 1-godzinne z pomiarów automatycznych zostały uśrednione do wartości dobowych przy zastosowaniu kryterium 75% kompletności, tj. dla co najmniej 18 wyników w dobie). Umożliwiło to zestawienie wyników pomiarów manualnych (z Puszczy Boreckiej z lat 2010-2020) i automatycznych (pozostałe stacje w całym analizowanym okresie i Puszcza Borecka w latach 2022-2024) ze wszystkich stacji i porównanie tych wyników ze sobą z uwzględnieniem jednolitych kryteriów. W tabeli 7.1 przedstawiono także statystyki dla stacji, które nie spełniają kryterium kompletności serii, ale wyniki były równomiernie rozłożone w roku.

Analiza wartości stężeń średnich dobowych na stacjach tła regionalnego w roku 2024 wskazuje na stosunkowo niskie poziomy rtęci gazowej, zawierające się w granicach od 0,91 do 3,39 ng/m<sup>3</sup> (bez uwzględnienia niekompletnej serii z Zielonki) (Rys. 7.1, Tab. 7.1).

Rozpiętość stężeń dobowych Hg w powietrzu atmosferycznym w całym rozważanym okresie ostatnich 15 lat (2010-2024) wyniosła 0,20 - 7,09 ng/m<sup>3</sup>.

Tab. 7.1. Średnie roczne i sezonowe oraz maksymalne i minimalne stężenia rtęci w powietrzu atmosferycznym na stacjach tła regionalnego w latach 2010-2024

Źródło danych: Państwowy Monitoring Środowiska – GIOŚ. Opracowanie: IOŚ-PIB

| Rok  | Stacja                        | Liczba wyników |             | Stosunek lato/zima | Stężenie [ng/m <sup>3</sup> ] |       |       |        |        |
|------|-------------------------------|----------------|-------------|--------------------|-------------------------------|-------|-------|--------|--------|
|      |                               | Rok            | Kompletność |                    | Sa                            | Slato | Szima | S24min | S24max |
| 2010 | Granica                       | 298            | 81,6%       | 1,19               | 1,51                          | 1,37  | 1,67  | 0,99   | 2,55   |
|      | Osieczów                      | 320            | 87,7%       | 0,77               | 2,39                          | 1,96  | 2,71  | 1,22   | 6,28   |
|      | Puszcza Borecka <sup>*)</sup> | 53             | 14,5%       | 1,04               | 1,27                          | 0,99  | 1,56  | 0,50   | 4,20   |
|      | Zielonka                      | 290            | 79,5%       | 0,87               | 1,67                          | 1,66  | 1,69  | 1,12   | 3,64   |
|      | Złoty Potok                   | 284            | 77,8%       | 1,49               | 1,96                          | 1,84  | 2,16  | 1,19   | 4,41   |
| 2011 | Granica                       | 352            | 96,4%       | 1,00               | 1,52                          | 1,42  | 1,63  | 0,93   | 3,22   |
|      | Osieczów                      | 320            | 87,7%       | 1,25               | 2,17                          | 2,10  | 2,25  | 1,26   | 5,34   |
|      | Puszcza Borecka <sup>*)</sup> | 52             | 14,2%       | 1,00               | 1,43                          | 1,52  | 1,33  | 0,58   | 3,03   |
|      | Zielonka                      | 332            | 91,0%       | 1,05               | 1,55                          | 1,49  | 1,61  | 0,99   | 2,70   |
|      | Złoty Potok                   | 191            | 52,3%       | 0,35               | 1,80                          | 1,75  | 1,81  | 1,26   | 2,53   |
| 2012 | Granica                       | 340            | 93,2%       | 0,98               | 1,76                          | 1,78  | 1,74  | 1,25   | 3,41   |
|      | Osieczów                      | 344            | 94,2%       | 1,05               | 1,66                          | 1,61  | 1,71  | 1,04   | 3,93   |
|      | Puszcza Borecka <sup>*)</sup> | 52             | 14,2%       | 1,00               | 1,59                          | 1,67  | 1,52  | 0,89   | 3,44   |
|      | Zielonka                      | 340            | 93,2%       | 1,01               | 1,37                          | 1,27  | 1,47  | 0,91   | 3,10   |
|      | Złoty Potok                   | 320            | 87,7%       | 1,00               | 1,83                          | 1,88  | 1,77  | 1,22   | 4,98   |
| 2013 | Granica                       | 352            | 96,4%       | 1,03               | 1,43                          | 1,35  | 1,50  | 0,84   | 2,83   |
|      | Osieczów                      | 288            | 78,9%       | 0,87               | 1,89                          | 1,84  | 1,95  | 1,20   | 4,69   |
|      | Puszcza Borecka <sup>*)</sup> | 52             | 14,2%       | 1,00               | 1,60                          | 1,67  | 1,52  | 0,50   | 2,75   |
|      | Zielonka                      | 325            | 89,0%       | 0,93               | 1,85                          | 1,78  | 1,92  | 0,88   | 6,27   |
|      | Złoty Potok                   | 301            | 82,5%       | 0,81               | 1,77                          | 1,72  | 1,81  | 1,11   | 3,03   |
| 2014 | Granica                       | 347            | 95,1%       | 1,01               | 1,20                          | 1,08  | 1,31  | 0,81   | 1,86   |
|      | Osieczów                      | 296            | 81,1%       | 1,28               | 1,70                          | 1,68  | 1,72  | 0,90   | 4,29   |
|      | Puszcza Borecka <sup>*)</sup> | 54             | 14,8%       | 1,00               | 1,13                          | 1,14  | 1,12  | 0,30   | 3,00   |
|      | Zielonka                      | 290            | 79,5%       | 0,85               | 1,97                          | 1,90  | 2,03  | 1,03   | 7,09   |
|      | Złoty Potok                   | 329            | 90,1%       | 1,11               | 1,66                          | 1,57  | 1,76  | 1,07   | 3,18   |
| 2015 | Granica                       | 335            | 91,8%       | 0,95               | 1,32                          | 1,23  | 1,41  | 0,63   | 2,86   |
|      | Osieczów                      | 271            | 74,2%       | 1,26               | 1,75                          | 1,82  | 1,66  | 1,08   | 4,92   |
|      | Puszcza Borecka <sup>*)</sup> | 50             | 13,7%       | 1,08               | 1,44                          | 1,24  | 1,66  | 0,60   | 3,80   |
|      | Zielonka <sup>**)</sup>       | 202            | 55,3%       | 0,82               | -                             | -     | -     | 0,88   | 3,07   |
|      | Złoty Potok                   | 319            | 87,4%       | 1,18               | 1,80                          | 1,72  | 1,90  | 1,18   | 3,86   |
| 2016 | Granica                       | 335            | 91,5%       | 1,03               | 1,26                          | 1,19  | 1,34  | 0,72   | 1,98   |
|      | Osieczów                      | 334            | 91,3%       | 1,15               | 1,55                          | 1,60  | 1,50  | 0,98   | 4,35   |
|      | Puszcza Borecka <sup>*)</sup> | 51             | 13,9%       | 1,04               | 1,79                          | 1,62  | 1,97  | 0,75   | 3,79   |
|      | Zielonka <sup>**)</sup>       | 264            | 72,1%       | 1,67               | -                             | -     | -     | 1,03   | 4,58   |
|      | Złoty Potok                   | 361            | 98,9%       | 1,01               | 1,65                          | 1,55  | 1,76  | 1,11   | 3,08   |
| 2017 | Granica                       | 351            | 96,2%       | 0,97               | 1,40                          | 1,28  | 1,51  | 0,90   | 2,73   |
|      | Osieczów                      | 312            | 85,5%       | 1,05               | 1,75                          | 1,85  | 1,64  | 1,12   | 5,26   |
|      | Puszcza Borecka <sup>*)</sup> | 50             | 13,7%       | 1,00               | 1,07                          | 1,08  | 1,07  | 0,50   | 2,40   |
|      | Zielonka                      | 268            | 73,4%       | 0,56               | 1,44                          | 1,42  | 1,44  | 0,90   | 3,00   |
|      | Złoty Potok                   | 355            | 97,3%       | 1,03               | 1,88                          | 1,79  | 1,97  | 1,33   | 4,26   |
| 2018 | Granica                       | 318            | 87,1%       | 1,13               | 1,28                          | 1,23  | 1,34  | 0,82   | 2,05   |
|      | Osieczów                      | 350            | 95,9%       | 1,05               | 1,48                          | 1,47  | 1,50  | 1,10   | 3,60   |
|      | Puszcza Borecka <sup>*)</sup> | 53             | 14,5%       | 0,96               | 1,41                          | 1,65  | 1,17  | 0,20   | 4,40   |
|      | Zielonka                      | 319            | 87,4%       | 1,17               | 1,48                          | 1,41  | 1,57  | 1,08   | 3,28   |
|      | Złoty Potok                   | 342            | 93,7%       | 0,95               | 1,64                          | 1,53  | 1,74  | 1,10   | 3,04   |

| Rok  | Stacja                          | Liczba wyników |             | Stosunek lato/zima | Stężenie [ng/m <sup>3</sup> ] |       |       |        |        |
|------|---------------------------------|----------------|-------------|--------------------|-------------------------------|-------|-------|--------|--------|
|      |                                 | Rok            | Kompletność |                    | Sa                            | Slato | Szima | S24min | S24max |
| 2019 | Granica                         | 328            | 89,9%       | 0,92               | 1,37                          | 1,31  | 1,42  | 0,95   | 2,03   |
|      | Osieczów                        | 335            | 91,8%       | 1,19               | 1,49                          | 1,47  | 1,52  | 1,00   | 3,74   |
|      | Puszcza Borecka <sup>*)</sup>   | 47             | 12,9%       | 1,14               | 1,76                          | 1,54  | 2,00  | 0,80   | 5,00   |
|      | Zielonka                        | 257            | 70,4%       | 1,11               | 1,42                          | 1,40  | 1,43  | 0,90   | 2,14   |
|      | Złoty Potok                     | 354            | 97,0%       | 1,02               | 1,68                          | 1,64  | 1,71  | 1,12   | 2,77   |
| 2020 | Granica                         | 326            | 89,1%       | 0,96               | 1,60                          | 1,51  | 1,68  | 1,10   | 2,15   |
|      | Osieczów                        | 364            | 99,5%       | 0,99               | 1,72                          | 1,70  | 1,74  | 1,24   | 3,67   |
|      | Puszcza Borecka <sup>*)</sup>   | 53             | 14,5%       | 0,89               | 1,61                          | 1,46  | 1,75  | 1,00   | 3,40   |
|      | Zielonka                        | 308            | 84,2%       | 1,23               | 1,60                          | 1,45  | 1,80  | 1,16   | 3,30   |
|      | Złoty Potok                     | 358            | 97,8%       | 0,98               | 1,71                          | 1,59  | 1,82  | 1,17   | 2,64   |
| 2021 | Granica                         | 315            | 86,3%       | 1,19               | 1,58                          | 1,54  | 1,62  | 1,23   | 2,24   |
|      | Osieczów                        | 359            | 98,4%       | 0,99               | 1,69                          | 1,65  | 1,72  | 1,20   | 3,40   |
|      | Puszcza Borecka <sup>***)</sup> | -              | -           | -                  | -                             | -     | -     | -      | -      |
|      | Zielonka                        | 264            | 72,3%       | 0,90               | 1,62                          | 1,50  | 1,72  | 1,11   | 2,79   |
|      | Złoty Potok                     | 359            | 98,4%       | 1,01               | 1,74                          | 1,71  | 1,77  | 1,33   | 2,63   |
| 2022 | Granica                         | 278            | 76,2%       | 0,68               | 1,58                          | 1,50  | 1,64  | 1,10   | 2,35   |
|      | Osieczów                        | 364            | 99,7%       | 1,01               | 1,72                          | 1,69  | 1,75  | 1,31   | 2,85   |
|      | Puszcza Borecka                 | 342            | 93,7%       | 1,00               | 1,31                          | 1,27  | 1,36  | 0,80   | 2,06   |
|      | Zielonka                        | 347            | 95,1%       | 1,01               | 1,38                          | 1,33  | 1,43  | 1,04   | 1,76   |
|      | Złoty Potok                     | 362            | 99,2%       | 1,00               | 1,66                          | 1,62  | 1,70  | 1,15   | 2,19   |
| 2023 | Granica                         | 331            | 90,7%       | 1,02               | 1,64                          | 1,59  | 1,69  | 1,19   | 2,42   |
|      | Osieczów                        | 339            | 92,9%       | 0,94               | 1,66                          | 1,72  | 1,60  | 1,23   | 2,38   |
|      | Puszcza Borecka                 | 347            | 95,1%       | 0,98               | 1,42                          | 1,41  | 1,42  | 1,03   | 1,77   |
|      | Zielonka                        | 274            | 75,1%       | 1,54               | 1,37                          | 1,37  | 1,35  | 1,11   | 1,72   |
|      | Złoty Potok                     | 362            | 99,2%       | 1,01               | 1,60                          | 1,59  | 1,61  | 1,25   | 2,16   |
| 2024 | Granica                         | 326            | 89,1%       | 0,88               | 1,55                          | 1,57  | 1,52  | 0,96   | 1,92   |
|      | Osieczów                        | 340            | 92,9%       | 0,94               | 1,58                          | 1,58  | 1,58  | 1,17   | 3,39   |
|      | Puszcza Borecka                 | 315            | 86,1%       | 0,99               | 1,37                          | 1,40  | 1,34  | 0,91   | 2,12   |
|      | Zielonka <sup>**</sup>          | 156            | 42,6%       | 0,82               | -                             | -     | -     | 0,90   | 3,71   |
|      | Złoty Potok                     | 355            | 97,0%       | 1,01               | 1,60                          | 1,58  | 1,61  | 1,22   | 2,15   |

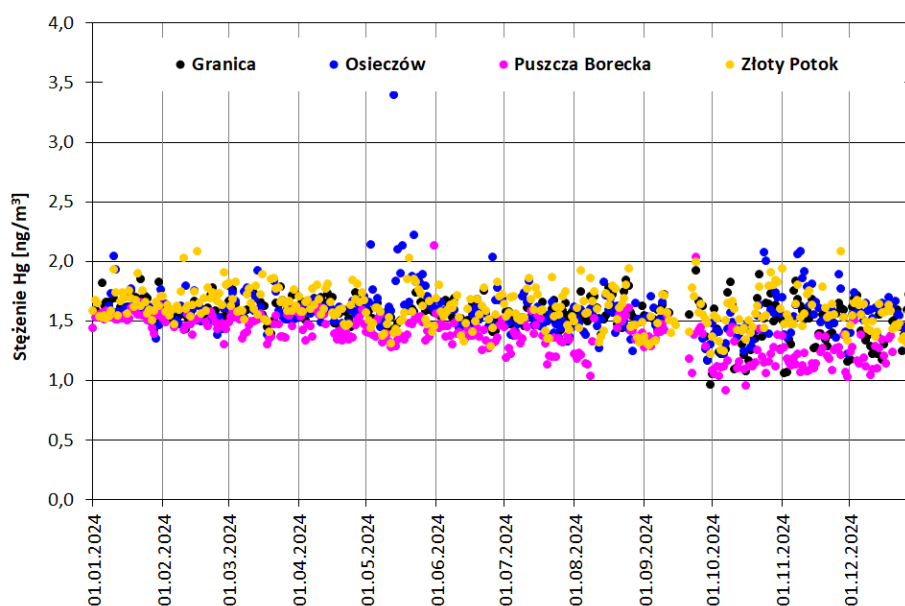
<sup>\*)</sup> cykliczne pomiary okresowe

<sup>\*\*)</sup> seria niespełniająca kryterium wystarczającej kompletności serii oraz równomiernego rozłożenia wyników w ciągu roku, by można było obliczyć parametry statystyczne (seria nieuwzględniona w analizach)

<sup>\*\*\*)</sup> seria unieważniona

Największą rozpiętość pomiędzy maksymalną a minimalną wartością dobową stężenia w roku 2024 (pomijając niekompletną serię z Zielonki) zaobserwowano na stacji w Osieczowie (2,22 ng/m<sup>3</sup>), mniejszą w Puszczy Boreckiej (1,21 ng/m<sup>3</sup>), a najmniejsze w Granicy (0,96 ng/m<sup>3</sup>) i Złotym Potoku (0,93 ng/m<sup>3</sup>). We wcześniejszych latach na ogół notowano wyższe stężenia rtęci zimą niż latem (poza Osieczowem w okresie 2015-2017 i w 2023 roku, Puszcza Borecką w okresie 2011-2014 i Zielonką w 2023 roku). W roku 2024 średnie sezonowe stężenia były niemal identyczne: w Granicy i Puszczy Boreckiej średnie stężenia w sezonie ciepłym były o 0,05 ng/m<sup>3</sup> wyższe niż w chłodnym, w Osieczowie były równe i tylko w Złotym Potoku średnie stężenie zimą było wyższe o 0,03 ng/m<sup>3</sup> niż latem. Przeciętne różnice stężeń obserwowane w sezonach ciepłym i chłodnym w poszczególnych latach nie były wysokie i na ogół nie przekraczały 0,10 ng/m<sup>3</sup>.

W pierwszych trzech kwartałach 2024 roku średnie dobowe stężenia rtęci w powietrzu na poszczególnych stacjach były bardziej zbliżone niż w czwartym kwartale. W okresie październik – grudzień na wszystkich stacjach widać większą rozpiętość wyników (Rys. 7.1).

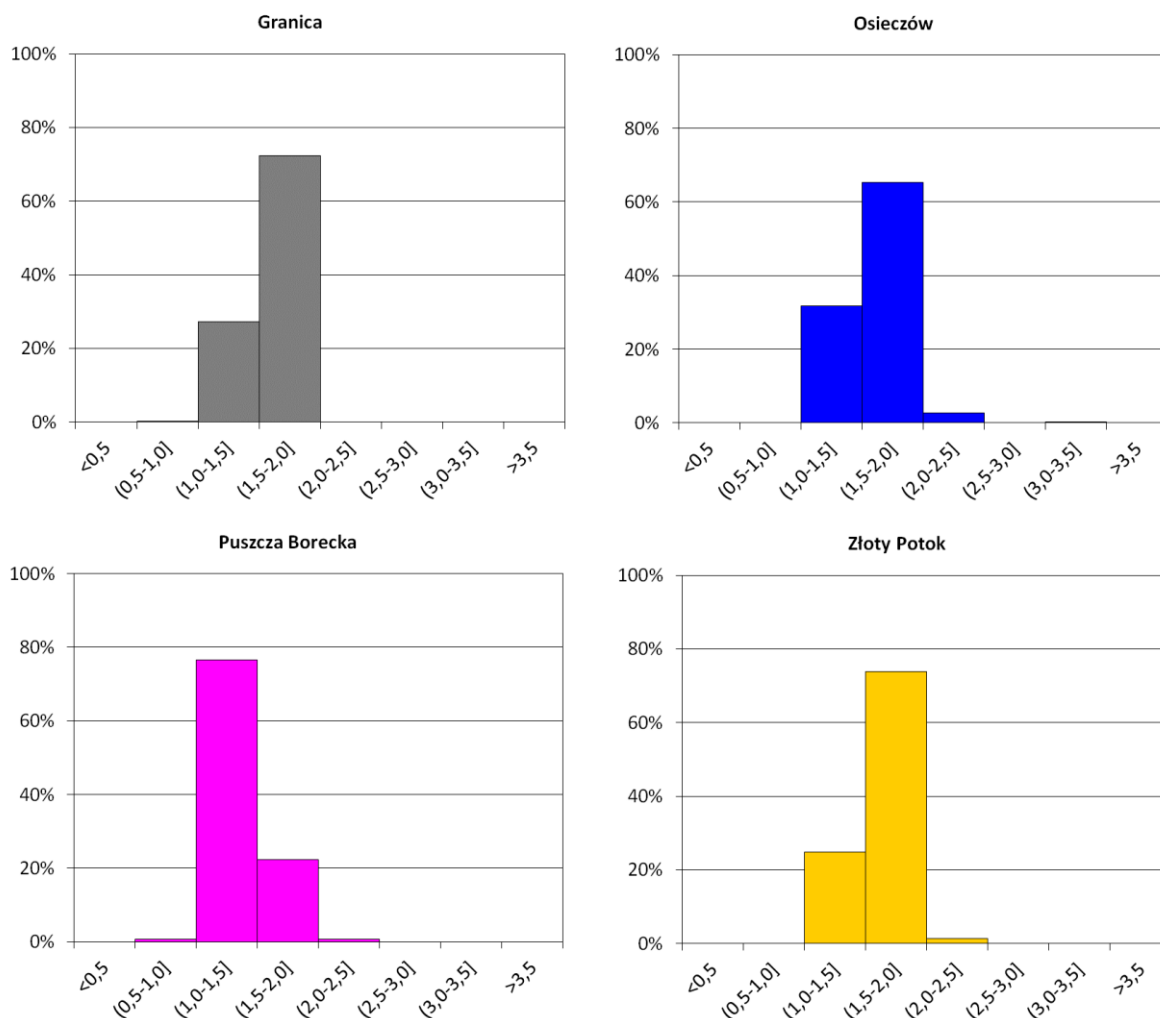


Rys. 7.1. Przebieg średnich dobowych stężeń Hg w powietrzu na stacjach tła regionalnego w roku 2024 (źródło danych: PMŚ)

Źródło danych: Państwowy Monitoring Środowiska – GIOŚ. Opracowanie: IOŚ-PIB

Analiza częstości występowania wartości stężeń średnich dobowych rtęci w powietrzu atmosferycznym potwierdza prawidłowości zależne od lokalizacji stacji (Rys. 7.2).

W 2024 roku podobne rozkłady stężeń uzyskano na stacjach Granica, Osieczów i Złoty Potok, gdzie zdecydowana większość wartości stężeń (ponad 60%) zawierała się w granicach 1,5 - 2,0 ng/m<sup>3</sup>. Nieco inaczej stężenia układały się na stacji Puszcza Borecka (w poprzednich latach także na stacji Zielonka, z której serię za 2024 rok unieważniono), gdzie największy udział w przebiegu stężeń miały wartości w granicach 1,0 - 1,5 ng/m<sup>3</sup> (76,5%), a następnie, ze znacznie mniejszym udziałem, plasowały się wartości z przedziału 1,5 - 2,0 ng/m<sup>3</sup> (Rys. 7.2). We wcześniejszych latach obraz dla stacji Granica był pośredni – dominowały wyniki z przedziału 1,5-2,0 ng/m<sup>3</sup>, ale udział wartości z przedziału 1,0 - 1,5 ng/m<sup>3</sup> był również znaczący. Dla pozostałych stacji zależności obserwowane w 2024 roku były podobne do obserwowanych w latach wcześniejszych, chociaż zmniejszyły się udziały wyników w przedziale 1,5-2,0 ng/m<sup>3</sup>, a zwiększyły w przedziale 1,0 - 1,5 ng/m<sup>3</sup>.

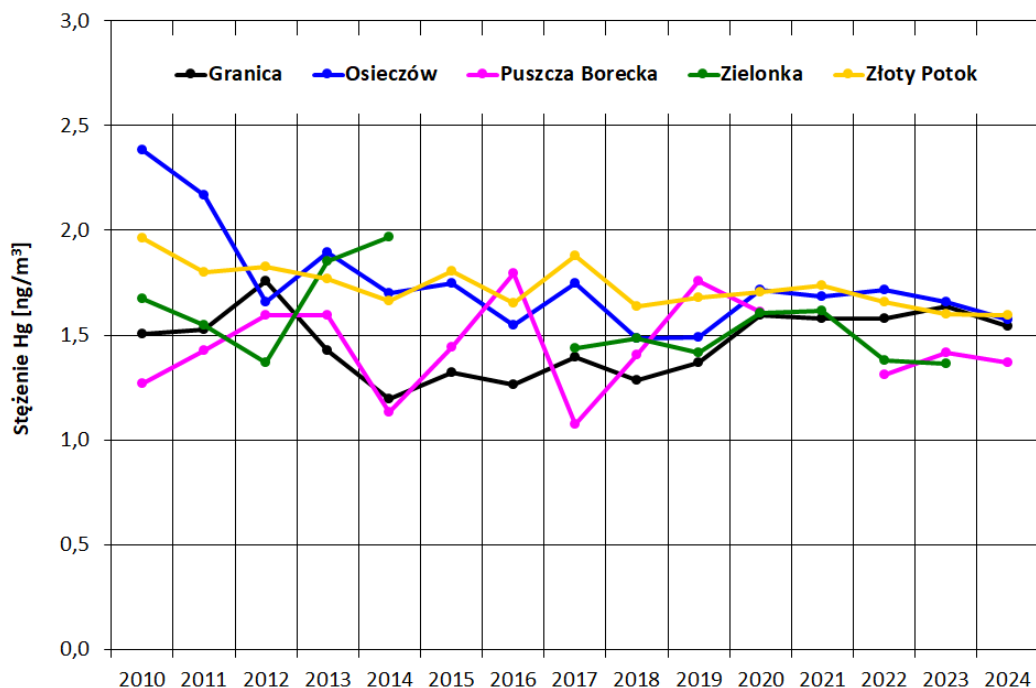


Rys. 7.2. Histogramy rozkładu średnich dobowych stężeń całkowitej rtęci w powietrzu na stacjach tła regionalnego w roku 2024

Źródło danych: Państwowy Monitoring Środowiska – GIOŚ. Opracowanie: IOŚ-PIB

Analiza wyników średnich rocznych obliczonych na podstawie stężeń średnich dobowych pokazuje, że najwyższe stężenia rtęci w powietrzu w 2024 roku uzyskano na stacjach Złoty Potok ( $1,60 \text{ ng/m}^3$ ) i Osieczów ( $1,58 \text{ ng/m}^3$ ), nieco niższe na stacji Granica ( $1,55 \text{ ng/m}^3$ ), a najniższe na stacji Puszcza Borecka ( $1,37 \text{ ng/m}^3$ ).

W roku 2024 na wszystkich stacjach zaobserwowano spadek średniego rocznego stężenia Hg w powietrzu w stosunku do wartości z roku poprzedniego, przy czym zmiany te były niewielkie – wyniosły od -5,5% w Granicy do -0,3% w Złotym Potoku. W przypadku analizy wartości średnich rocznych z 2024 roku w zestawieniu ze średnimi z wielolecia (2010-2023), niższe wartości uzyskano na wszystkich stacjach, poza Granicą. Zmiany względne wyniosły po kilka procent, mieszcząc się od -10% w Osieczowie do 5,8% w Granicy (Tab. 7.2, Rys. 7.3). Z porównania wyłączono stację w Zielonce ze względu na unieważnienie serii pomiarowej z ostatniego roku.



Rys. 7.3. Stężenie średnie roczne Hg na stacjach tła regionalnego w latach 2010-2024  
(źródło danych: PMŚ)

Tab. 7.2. Zmiany względne stężeń średnich rocznych Hg w roku 2024 względem roku 2023 oraz wartości średnich z lat 2010-2023

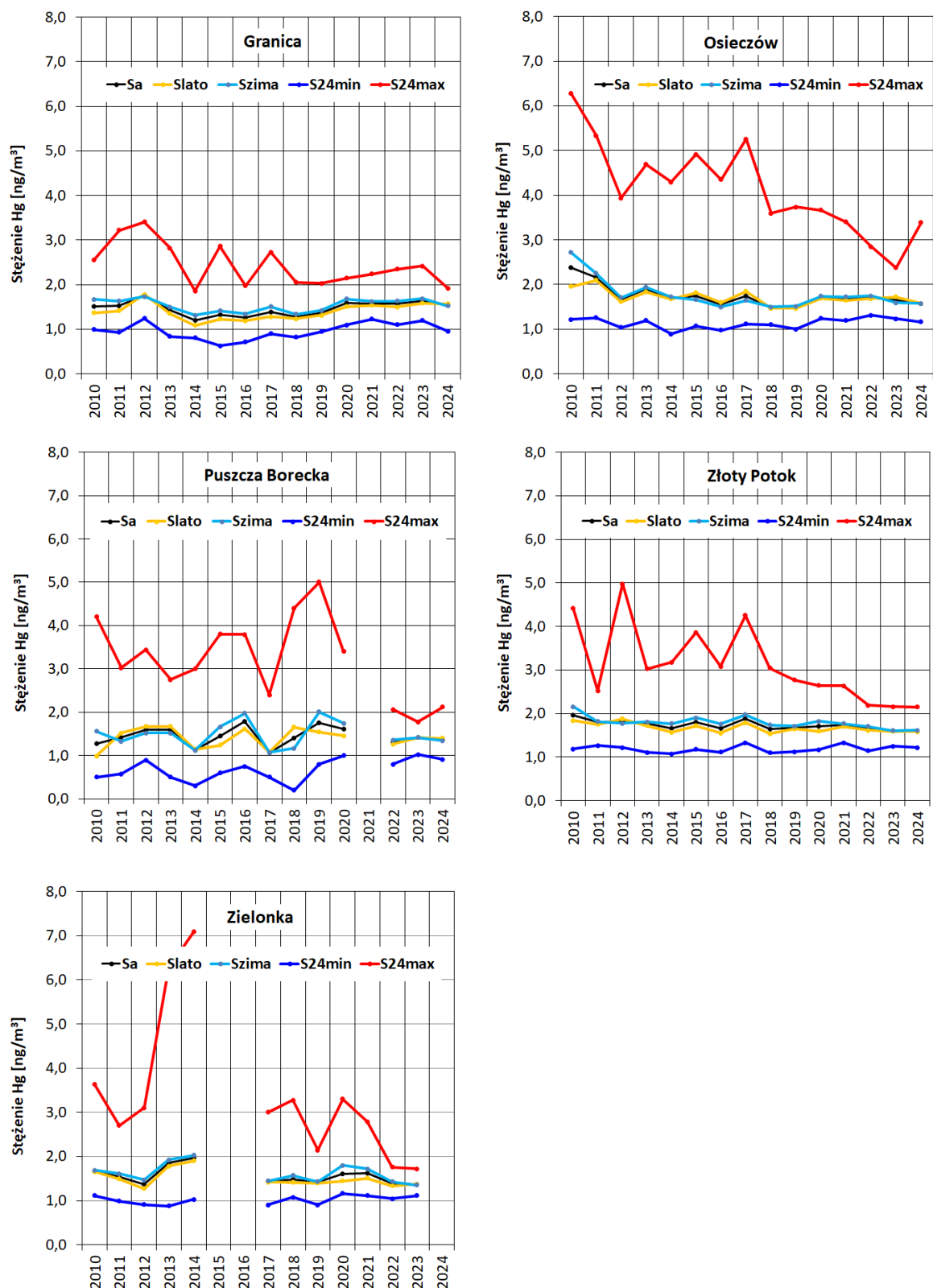
Źródło danych: Państwowy Monitoring Środowiska – GIOŚ. Opracowanie: IOS-PIB

| Parametr             | Okres          | Stacja  |          |                 |          |             |
|----------------------|----------------|---------|----------|-----------------|----------|-------------|
|                      |                | Granica | Osieczów | Puszcza Borecka | Zielonka | Złoty Potok |
| Stężenie [ng/m³]     | 2024           | 1,55    | 1,58     | 1,37            | -        | 1,60        |
|                      | 2023           | 1,64    | 1,66     | 1,42            | 1,37     | 1,60        |
|                      | 2010-2023      | 1,46    | 1,76     | 1,45            | 1,56     | 1,74        |
| Różnica względna [%] | 2024/2023      | -5,5%   | -4,8%    | -3,2%           | -        | -0,3%       |
|                      | 2024/2010-2023 | 5,8%    | -10,3%   | -5,4%           | -        | -8,3%       |

Zmienność najwyższych i najniższych wartości średnich dobowych stężeń rtęci w powietrzu, wartości sezonowych oraz średnich rocznych w latach 2010-2024 przedstawiono na rysunku 7.4.

W roku 2024, w stosunku do roku poprzedniego, w sezonie ciepłym zaobserwowano spadek stężeń na wszystkich stacjach, a w sezonie chłodnym spadek w Granicy, niemal brak zmiany w Złotym Potoku i wzrost w Osieczowie i Puszczy Boreckiej. Analiza wartości dobowych pokazała, że w roku 2024 w stosunku do roku 2023 zaobserwowano wzrost stężeń maksymalnych dobowych w Osieczowie i Puszczy Boreckiej, spadek w Granicy i brak zmian w Złotym Potoku oraz nieznaczny spadek stężeń minimalnych na wszystkich stacjach.



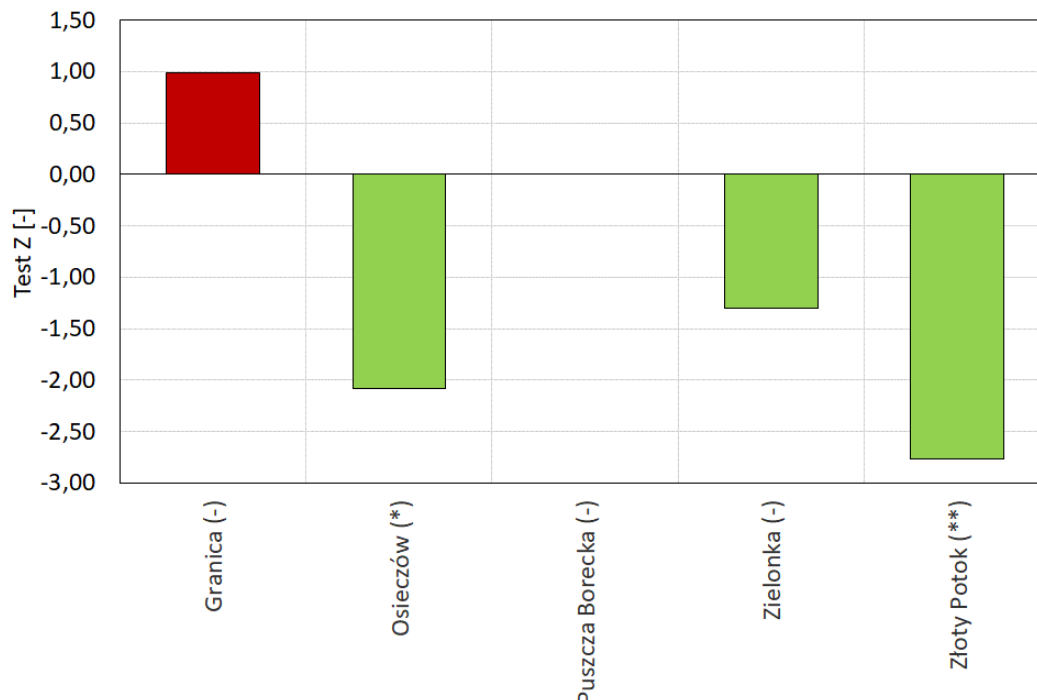


Rys. 7.4. Stężenie średnie roczne, sezonowe oraz minimalne i maksymalne stężenia dobowe Hg na stacjach tła regionalnego w latach 2010-2024. Serie z Zielonki z lat 2015, 2016 i 2024 oraz z Puszczy Boreckiej z roku 2021 zostały unieważnione

Źródło danych: Państwowy Monitoring Środowiska – GIOŚ. Opracowanie: IOS-PIB

Warto wskazać na utrzymujące się przez cały analizowany okres 2010-2024 niewielkie różnice pomiędzy stężeniami średnimi sezonowymi na wszystkich stacjach, przy na ogół nieznacznie wyższych wartościach zimą (w 2024 roku wyższa wartość w zimie wystąpiła tylko w Złotym Potoku). Dzieje się tak pomimo, iż największy udział w emisji rtęci do powietrza mają procesy spalania w sektorze *Przemysły energetyczne*, a więc największa emisja występuje w sezonie chłodnym i można by się spodziewać wzrostu stężenia rtęci w powietrzu w tym okresie. W przypadku stacji tła regionalnego, oddalonych od źródeł tzw. niskiej emisji, uzyskane wyniki w całym analizowanym okresie świadczą o znacznym wymieszaniu powietrza i tym samym o braku bezpośredniego wpływu emisji pochodzącej z indywidualnego ogrzewania domów (z wykorzystaniem jako paliwa węgla zawierającego rtęć). Uzyskane wyniki wskazywać również mogą, że pomimo długiego czasu przebywania rtęci w atmosferze, emisja pochodząca ze spalania węgla w gospodarstwach domowych (przy udziale tego sektora w emisji całkowitej roku na poziomie ok. 10%) nie wpływa znacząco na kształtowanie jakości powietrza w okresie zimy poza najbliższym otoczeniem tych źródeł.

Dane uzyskane w latach 2010-2024 poddano analizie statystycznej w celu wykrycia trendów. Jedynie na stacjach w Osieczowie i Złotym Potoku odnotowano trend malejący stężenia rtęci w powietrzu o nie największej istotności statystycznej, odpowiednio (\*) w Osieczowie i (\*\*) w Złotym Potoku. Na stacji Zielonka w latach 2010-2023 wystąpiła nieznaczna tendencja malejąca (o czym świadczy ujemna wartość Z), w Puszczy Boreckiej – brak tendencji zmian, a w Granicy – nieznaczna, nieistotna statystycznie tendencja rosnąca (dodatnia wartość Z) (Rys. 7.5).



Rys. 7.5. Trendy i tendencje zmian stężeń średnich rocznych rtęci gazowej na stacjach tła regionalnego w latach 2010-2024 (w Zielonce w latach 2010-2023)

Źródło danych: Państwowy Monitoring Środowiska – GIOŚ. Opracowanie: IOŚ-PIB

## 7.2. Depozycja rtęci do podłoża

Ocenę depozycji całkowitej Hg do podłoża w Polsce na obszarach pozamiejskich przeprowadzono na podstawie danych pochodzących z trzech stacji tła regionalnego: Osieczów, Puszcza Borecka i Zielonka. Wielkości depozycji na poszczególnych stacjach dla lat 2010-2024 przedstawiono w tabeli 7.3. Najwyższy wskaźnik depozycji w roku 2024 zanotowano w Osieczowie, zaś najniższy w Zielonce.

Tab. 7.3. Roczne wartości depozycji Hg na stacjach tła regionalnego w latach 2010-2024

Źródło danych: Państwowy Monitoring Środowiska – GIOŚ. Opracowanie: IOŚ-PIB

| Rok  | Stacja              | Pokrycie   |                    | Ładunek [ $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ] |        |        | Wskaźnik [ $\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień] |       |       |
|------|---------------------|------------|--------------------|--------------------------------------|--------|--------|--------------------------------------------|-------|-------|
|      |                     | Liczba dni | Stosunek lato/zima | rok                                  | lato   | zima   | rok                                        | lato  | zima  |
| 2010 | Osieczów            | 301        | 0,95               | 2,369                                | 1,561  | 0,808  | 0,005                                      | 0,006 | 0,004 |
|      | Puszcza Borecka     | 288        | 1,23               | 7,488                                | 6,654  | 0,834  | 0,025                                      | 0,039 | 0,006 |
|      | Zielonka*           | 35         | 0,00               | -                                    | -      | 12,170 | -                                          | -     | 0,348 |
| 2011 | Osieczów            | 336        | 1,29               | 11,497                               | 8,283  | 3,214  | 0,032                                      | 0,036 | 0,028 |
|      | Puszcza Borecka     | 364        | 1,08               | 19,220                               | 16,031 | 3,189  | 0,040                                      | 0,070 | 0,015 |
|      | Zielonka            | 364        | 1,08               | 16,474                               | 4,669  | 11,805 | 0,043                                      | 0,023 | 0,059 |
| 2012 | Osieczów            | 365        | 0,99               | 4,684                                | 3,227  | 1,457  | 0,010                                      | 0,014 | 0,007 |
|      | Puszcza Borecka     | 364        | 1,00               | 33,155                               | 26,879 | 6,276  | 0,085                                      | 0,135 | 0,035 |
|      | Zielonka            | 365        | 0,98               | 10,951                               | 7,582  | 3,369  | 0,027                                      | 0,038 | 0,019 |
| 2013 | Osieczów            | 364        | 1,00               | 4,090                                | 3,024  | 1,065  | 0,010                                      | 0,015 | 0,006 |
|      | Puszcza Borecka     | 364        | 1,00               | 31,684                               | 27,426 | 4,258  | 0,074                                      | 0,136 | 0,024 |
|      | Zielonka            | 370        | 0,97               | 7,850                                | 5,583  | 2,267  | 0,020                                      | 0,030 | 0,011 |
| 2014 | Osieczów            | 343        | 1,13               | 4,164                                | 3,090  | 1,074  | 0,011                                      | 0,017 | 0,007 |
|      | Puszcza Borecka**   | 273        | 2,00               | 2,540                                | 1,870  | 0,670  | 0,009                                      | 0,010 | 0,007 |
|      | Zielonka            | 370        | 0,97               | 6,018                                | 3,509  | 2,509  | 0,015                                      | 0,020 | 0,012 |
| 2015 | Osieczów            | 364        | 1,00               | 2,712                                | 1,622  | 1,090  | 0,007                                      | 0,009 | 0,005 |
|      | Puszcza Borecka     | 308        | 1,44               | 3,937                                | 1,731  | 2,207  | 0,013                                      | 0,008 | 0,020 |
|      | Zielonka***         | 217        | 0,94               | 3,601                                | 1,273  | 2,328  | 0,017                                      | 0,010 | 0,026 |
| 2016 | Osieczów            | 365        | 1,06               | 0,984                                | 0,748  | 0,236  | 0,003                                      | 0,004 | 0,001 |
|      | Puszcza Borecka     | 338        | 1,17               | 2,491                                | 1,020  | 1,471  | 0,006                                      | 0,005 | 0,007 |
|      | Zielonka***         | 187        | 1,10               | 4,844                                | 2,504  | 2,341  | 0,024                                      | 0,024 | 0,025 |
| 2017 | Osieczów            | 369        | 0,72               | 2,652                                | 2,002  | 0,650  | 0,007                                      | 0,011 | 0,003 |
|      | Puszcza Borecka     | 371        | 0,96               | 4,354                                | 2,793  | 1,561  | 0,013                                      | 0,015 | 0,010 |
|      | Zielonka***         | 155        | 0,60               | 7,802                                | 2,948  | 4,854  | 0,051                                      | 0,064 | 0,045 |
| 2018 | Osieczów            | 365        | 0,98               | 2,328                                | 1,755  | 0,573  | 0,007                                      | 0,010 | 0,003 |
|      | Puszcza Borecka     | 364        | 1,00               | 1,216                                | 0,854  | 0,362  | 0,003                                      | 0,004 | 0,002 |
|      | Zielonka***         | 186        | 1,30               | 5,262                                | 3,386  | 1,876  | 0,031                                      | 0,035 | 0,026 |
| 2019 | Osieczów            | 359        | 1,41               | 1,760                                | 1,417  | 0,343  | 0,005                                      | 0,007 | 0,003 |
|      | Puszcza Borecka     | 363        | 1,01               | 1,042                                | 0,773  | 0,270  | 0,003                                      | 0,004 | 0,002 |
|      | Zielonka***         | 210        | 0,87               | 7,441                                | 2,888  | 4,553  | 0,042                                      | 0,033 | 0,048 |
| 2020 | Osieczów            | 364        | 1,00               | 1,558                                | 0,865  | 0,693  | 0,004                                      | 0,005 | 0,004 |
|      | Puszcza Borecka     | 366        | 0,99               | 6,436                                | 3,641  | 2,794  | 0,017                                      | 0,019 | 0,016 |
|      | Zielonka            | 336        | 0,86               | 6,057                                | 4,513  | 1,544  | 0,019                                      | 0,030 | 0,008 |
| 2021 | Osieczów            | 365        | 1,04               | 8,505                                | 6,283  | 2,222  | 0,019                                      | 0,026 | 0,010 |
|      | Puszcza Borecka     | 365        | 1,07               | 2,867                                | 1,844  | 1,022  | 0,007                                      | 0,008 | 0,006 |
|      | Zielonka            | 365        | 0,98               | 3,477                                | 1,577  | 1,900  | 0,011                                      | 0,009 | 0,011 |
| 2022 | Osieczów            | 363        | 0,96               | 7,757                                | 6,368  | 1,389  | 0,021                                      | 0,034 | 0,007 |
|      | Puszcza Borecka**** | 332        | 1,24               | 1,983                                | 1,250  | 0,733  | 0,005                                      | 0,006 | 0,005 |
|      | Zielonka****        | 335        | 0,84               | 3,620                                | 2,268  | 1,352  | 0,011                                      | 0,015 | 0,007 |

| Rok  | Stacja          | Pokrycie   |                    | Ładunek [ $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ] |       |       | Wskaźnik [ $\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień] |       |       |
|------|-----------------|------------|--------------------|--------------------------------------|-------|-------|--------------------------------------------|-------|-------|
|      |                 | Liczba dni | Stosunek lato/zima | rok                                  | lato  | zima  | rok                                        | lato  | zima  |
| 2023 | Osieczów        | 364        | 0,989              | 4,067                                | 1,515 | 2,552 | 0,011                                      | 0,009 | 0,014 |
|      | Puszcza Borecka | 364        | 1,000              | 3,332                                | 1,284 | 2,049 | 0,009                                      | 0,006 | 0,012 |
|      | Zielonka        | 363        | 1,028              | 1,961                                | 0,721 | 1,240 | 0,006                                      | 0,004 | 0,007 |
| 2024 | Osieczów****    | 336        | 0,846              | 4,589                                | 2,466 | 2,123 | 0,014                                      | 0,016 | 0,012 |
|      | Puszcza Borecka | 364        | 1,000              | 3,753                                | 2,359 | 1,394 | 0,010                                      | 0,013 | 0,008 |
|      | Zielonka        | 362        | 1,011              | 2,996                                | 2,367 | 0,628 | 0,008                                      | 0,013 | 0,003 |

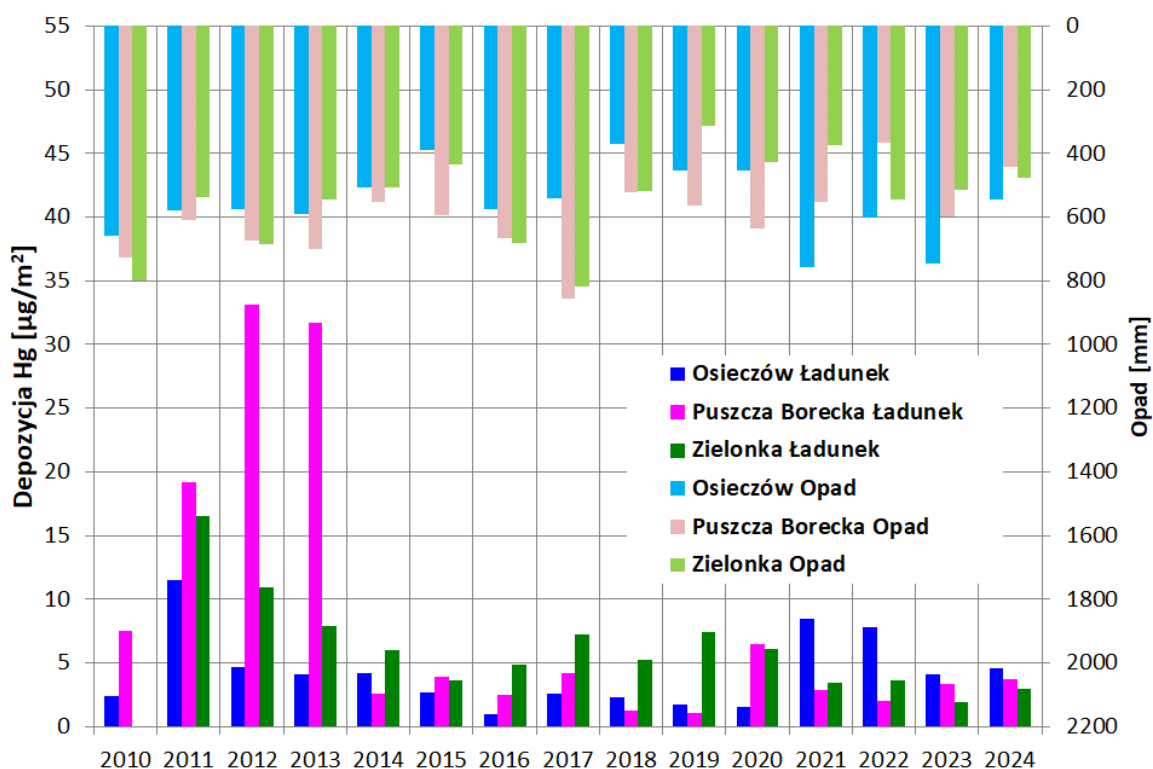
\*) wynik z jednego miesiąca (nie uwzględniono w dalszych analizach)

\*\*) brak wyników z okresu X-XII

\*\*\*) próbki pobierane przez 2 tygodnie w miesiącu

\*\*\*\*) 1 miesiąc bez opadów

Ocena zmian depozycji Hg w 2024 roku w stosunku do uzyskanej wartości dla wielolecia 2010-2023 wskazuje na spadek zarówno ładunku jak i wskaźnika depozycji dla stacji Puszcza Borecka i Zielonka (o ponad 50%), a wzrost dla stacji Osieczów (o ok. 25%).



Rys. 7.6. Roczne wartości depozycji Hg na stacjach tła regionalnego na tle wysokości sumy opadów w latach 2010-2024

Źródło danych: Państwowy Monitoring Środowiska – GIOŚ. Opracowanie: IOŚ-PIB

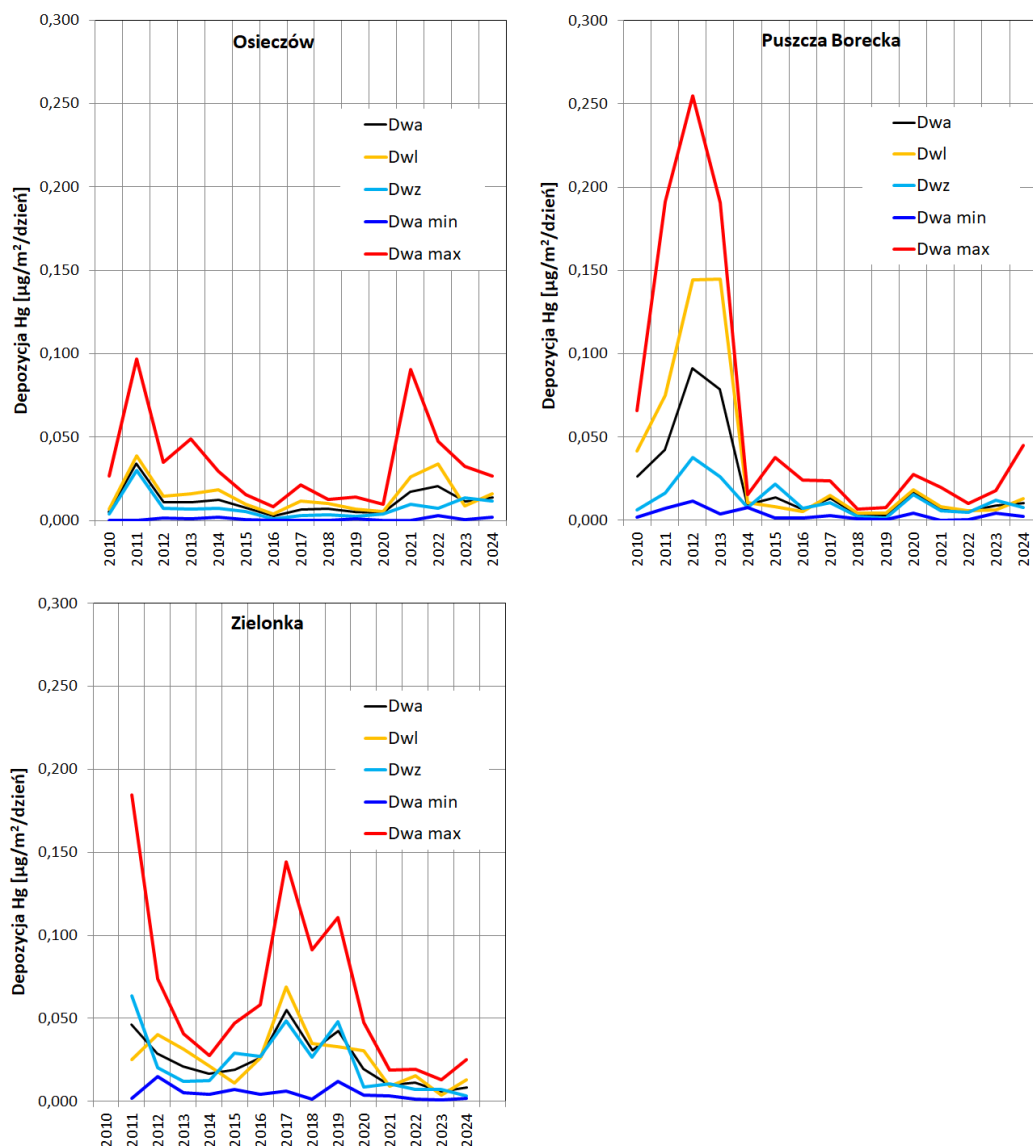
W 2024 roku, w porównaniu do 2023 r., zaobserwowano wzrost ładunku i wskaźnika depozycji na wszystkich stacjach: w Osieczowie i w Puszczy Boreckiej o kilkanaście procent, a w Zielonce o ponad 40-50% (Tab. 7.4, Rys. 7.6).

Tab. 7.4. Zmiany względne ładunku i wskaźnika depozycji Hg w roku 2024 względem roku 2023 oraz wartości średnich z lat 2010-2023

Źródło danych: Państwowy Monitoring Środowiska – GIOŚ. Opracowanie: IOŚ-PIB

| Parametr                                   | Okres            | Stacja   |                 |          |
|--------------------------------------------|------------------|----------|-----------------|----------|
|                                            |                  | Osieczów | Puszcza Borecka | Zielonka |
| Ładunek [ $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ]       | 2024             | 4,589    | 3,753           | 2,996    |
|                                            | 2023             | 4,067    | 3,332           | 1,961    |
|                                            | 2010-2023        | 4,223    | 8,696           | 6,566    |
| Różnica względna dla ładunku [%]           | 2024/2023        | 12,8%    | 12,6%           | 52,7%    |
|                                            | 2024/(2010-2023) | 8,7%     | -56,8%          | -54,4%   |
| Wskaźnik [ $\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień] | 2024             | 0,014    | 0,010           | 0,008    |
|                                            | 2023             | 0,011    | 0,009           | 0,006    |
|                                            | 2010-2023        | 0,011    | 0,022           | 0,024    |
| Różnica względna dla wskaźnika [%]         | 2024/2023        | 19,2%    | 13,3%           | 44,0%    |
|                                            | 2024/(2010-2023) | 25,1%    | -53,4%          | -66,2%   |

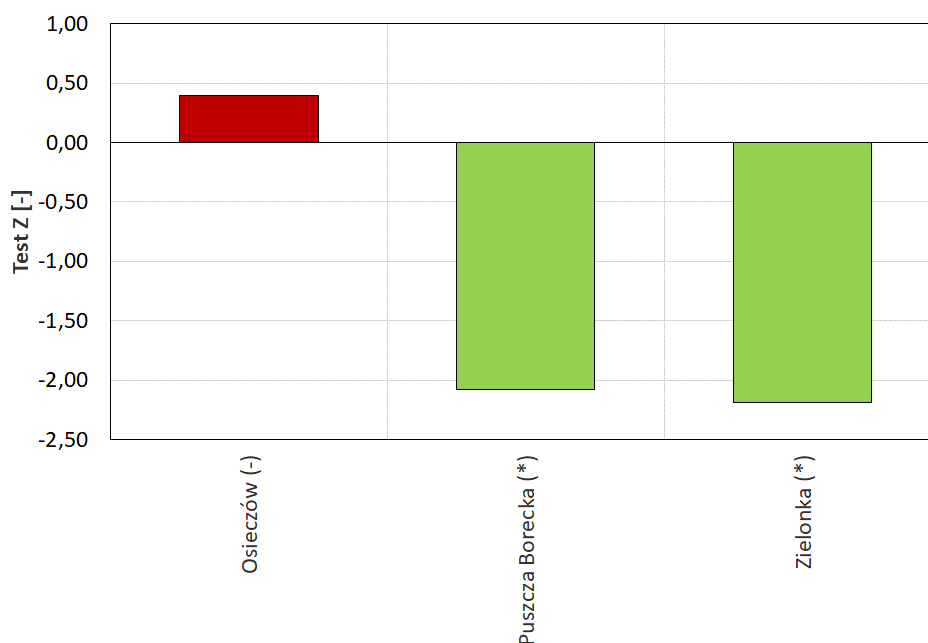
Dobowe wskaźniki depozycji rtęci w analizowanym okresie 2010-2024 osiągały na ogół wyższe wartości w okresie ciepłym niż w chłodnym. Wyjątek stanowił rok 2023, gdy na wszystkich stacjach wskaźniki depozycji Hg były wyższe w chłodnej połowie roku. W przeszłości takie sytuacje zdarzały się na stacji w Zielonce. Ale w 2024 roku ponownie sytuacja się odwróciła do stanu typowego dla wielolecia. Różnice pomiędzy sezonami są jednak bardzo niewielkie (Rys. 7.7).



Rys. 7.7. Wskaźniki depozycji rocznej, sezonowej oraz miesięczne wartości minimalne i maksymalne wskaźników depozycji Hg na stacjach tła regionalnego w latach 2010-2024

Źródło danych: Państwowy Monitoring Środowiska – GIOŚ. Opracowanie: IOŚ-PIB

Analiza trendów wykazała, że wskaźniki depozycji w okresie 2010-2024 charakteryzują się trendem malejącym o niewielkiej istotności statystycznej na stacjach Puszcza Borecka i Zielonka (poziom istotności \*). Wskaźniki z Osieczowa wykazują nieznaczącą statystycznie tendencję rosnącą (Rys. 7.8).



Rys. 7.8. Trendy i tendencje zmian stężeń średnich rocznych wskaźników depozycji rtęci na stacjach tła regionalnego w latach 2010-2024

Źródło danych: Państwowy Monitoring Środowiska – GIOŚ. Opracowanie: IOŚ-PIB

## 8. Ocena zanieczyszczenia atmosfery rtęcią w Europie

Ocenę zanieczyszczenia atmosfery rtęcią w zakresie zmienności stężeń w powietrzu i depozycji na stacjach tła regionalnego w Polsce na tle stacji pozamiejskich tła w Europie wykonano dla ostatniego okresu 2010-2023. Podobnie, jak w poprzednich raportach, w ocenie wykorzystano wyniki pomiarów stężeń i depozycji zgromadzonych w dwóch bazach danych, tj. bazie Europejskiej Agencji Środowiska (e-Reporting) oraz w bazie EMEP (ebas).

### 8.1. Zanieczyszczenie powietrza rtęcią

W poniższym rozdziale zmienność stężeń rtęci w powietrzu atmosferycznym w Europie, ze szczególnym wskazaniem wyników pomiarów uzyskanych na stacjach tła regionalnego w Polsce, przedstawiono jako średnie roczne obliczone dla poszczególnych krajów oraz dla pojedynczych stanowisk pomiarowych, które spełniały kryteria kompletności danych.

Ocenę zanieczyszczenia powietrza rtęcią dla roku 2023 wykonano na podstawie wyników pomiarów pochodzących z 29 stacji pozamiejskich tła funkcjonujących w 15 krajach europejskich (Tab. 8.1 i Rys. 8.1). W 9 krajach prowadzących pomiary rtęci, ocenę wykonano w oparciu o wyniki pomiarów pochodzące z pojedynczych stacji. Tylko w 6 krajach europejskich zlokalizowanych było więcej niż jedna stacja: 5 w Polsce (najwięcej w Europie), po 4 w Finlandii i Niemczech, 3 w Szwecji oraz po 2 stacje w Norwegii i Wielkiej Brytanii (Tab. 8.1).

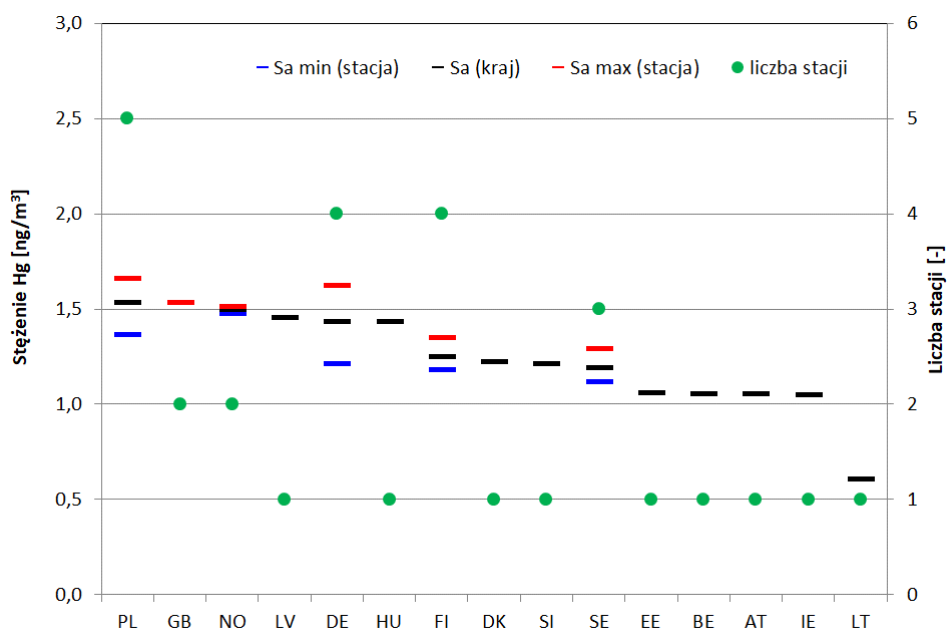
Tab. 8.1. Stężenia średnie roczne Hg (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy

Źródło danych: EAŚ, EMEP. Opracowanie: IOŚ-PIB

| Kod kraju wg ISO | Liczba stacji | Stężenie średnie roczne |                      |                      |
|------------------|---------------|-------------------------|----------------------|----------------------|
|                  |               | Sa min                  | Sa                   | Sa max               |
|                  | [-]           | [ng/m <sup>3</sup> ]    | [ng/m <sup>3</sup> ] | [ng/m <sup>3</sup> ] |
| AT               | 1             | 1,052                   | 1,052                | 1,052                |
| BE               | 1             | 1,055                   | 1,055                | 1,055                |
| DE               | 4             | 1,212                   | 1,434                | 1,620                |
| DK               | 1             | 1,220                   | 1,220                | 1,220                |
| EE               | 1             | 1,060                   | 1,060                | 1,060                |
| FI               | 4             | 1,180                   | 1,248                | 1,346                |
| GB               | 2             | 1,530                   | 1,532                | 1,533                |
| HU               | 1             | 1,434                   | 1,434                | 1,434                |
| IE               | 1             | 1,050                   | 1,050                | 1,050                |
| LT               | 1             | 0,606                   | 0,606                | 0,606                |
| LV               | 1             | 1,451                   | 1,451                | 1,451                |
| NO               | 2             | 1,476                   | 1,493                | 1,510                |
| PL <sup>*)</sup> | 5             | 1,365                   | 1,535                | 1,657                |
| SE               | 3             | 1,117                   | 1,187                | 1,291                |
| SI               | 1             | 1,212                   | 1,212                | 1,212                |
| <b>Europa</b>    | <b>29</b>     | <b>0,606</b>            | <b>1,238</b>         | <b>1,657</b>         |

<sup>\*)</sup> Stacje: Granica, Osieczów, Puszcza Borecka, Zielonka, Żłoty Potok

Uzyskane w 2023 roku uśrednione wyniki dla poszczególnych krajów na obszarach pozamiejskich pokazują, że przeciętne roczne stężenie Hg w powietrzu w Polsce było najwyższe w Europie. Nieznacznie niższe wartości uzyskano dla Węgier i Norwegii. Najniższe stężenie Hg w powietrzu, znacznie odbiegające od pozostałych, zanotowano dla Litwy (Tab. 8.1, Rys. 8.1).



Rys. 8.1. Wartości stężeń średnich rocznych Hg (minimalne, średnie i maksymalne) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji uwzględnionych w analizie w roku 2023

Źródło danych: EAŚ, EMEP. Opracowanie: IOŚ-PIB



Tab. 8.2. Stężenia średnie roczne Hg dla krajów europejskich w latach 2023, 2022 i średnie z lat 2010-2022 oraz zmiany względne w roku 2023 w stosunku do roku wcześniejszego oraz wielolecia

Źródło danych: EAŚ, EMEP. Opracowanie: IOŚ-PIB

| Kod kraju wg ISO | Stężenie średnie [ng/m <sup>3</sup> ] |       |           | Różnica względna [%] w roku 2023 w stosunku do |                  |
|------------------|---------------------------------------|-------|-----------|------------------------------------------------|------------------|
|                  | 2022                                  | 2023  | 2010-2022 | roku 2022                                      | okresu 2010-2022 |
| AT               | 1,147                                 | 1,052 | 1,383     | -8,3%                                          | -23,9%           |
| BE               | 1,124                                 | 1,055 | 1,047     | -6,1%                                          | 0,8%             |
| CY               | **)                                   | *)    | 0,068     | **)                                            | *)               |
| CZ               | **)                                   | *)    | 1,278     | **)                                            | *)               |
| DE               | 1,386                                 | 1,434 | 1,534     | 3,5%                                           | -6,5%            |
| DK               | 1,200                                 | 1,220 | 1,313     | 1,7%                                           | -7,1%            |
| EE               | **)                                   | 1,060 | 1,280     | **)                                            | -17,2%           |
| ES               | **)                                   | *)    | 1,052     | *)                                             | *)               |
| FI               | 1,217                                 | 1,248 | 1,274     | 2,5%                                           | -2,1%            |
| GB               | 1,425                                 | 1,532 | 1,234     | 7,5%                                           | 24,1%            |
| HU               | 1,498                                 | 1,434 | 1,4985    | -4,3%                                          | -4,3%            |
| IE               | 1,102                                 | 1,050 | 1,332     | -4,7%                                          | -21,2%           |
| IS               | **)                                   | *)    | 1,873     | *)                                             | *)               |
| LT               | 0,690                                 | 0,606 | 1,032     | -12,2%                                         | -41,3%           |
| LV               | 1,436                                 | 1,451 | 1,436     | 1,0%                                           | 1,0%             |
| NO               | 1,478                                 | 1,493 | 1,497     | 1,0%                                           | -0,3%            |
| PL               | 1,529                                 | 1,535 | 1,554     | 0,4%                                           | -1,2%            |
| PT               | **)                                   | *)    | ***)      | *)                                             | *)               |
| SE               | 1,234                                 | 1,187 | 1,347     | -3,8%                                          | -11,8%           |
| SI               | 1,223                                 | 1,212 | 1,040     | -0,9%                                          | 16,5%            |

\*) brak danych z 2023 roku

\*\*) brak danych z 2022 roku

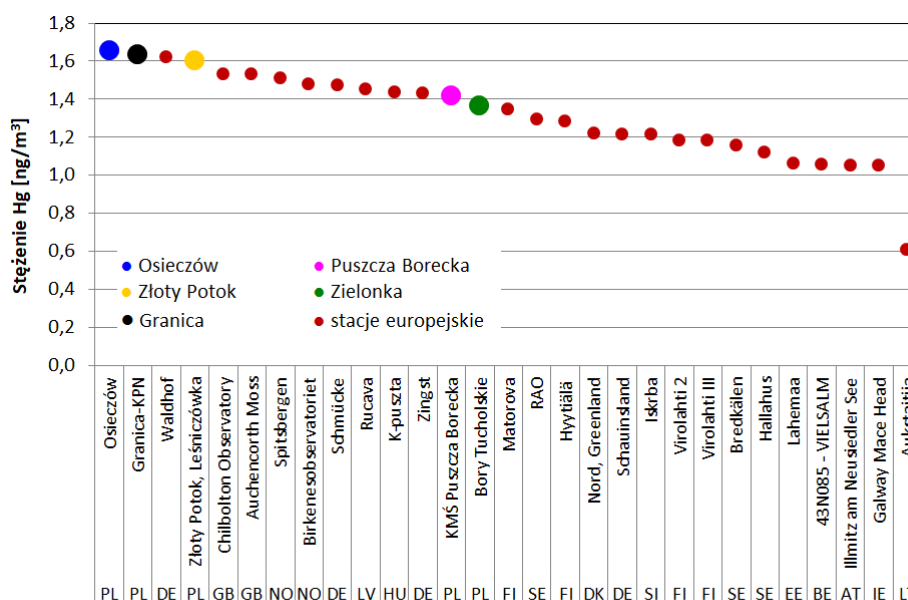
\*\*\*) brak danych z lat 2010-2022

Analiza zmian względnych stężeń średnich rocznych obliczonych dla każdego z krajów europejskich w ostatnich 2 latach (2023-2022) pokazuje wzrost poziomu Hg w powietrzu atmosferycznym z roku na rok dla 7 z 14 analizowanych krajów, dla których wyniki były dostępne z obu lat. Najwyższe wzrosty zaobserwowano dla Wielkiej Brytanii (7,5%), Niemiec (3,5%) oraz Finlandii (2,5%) i Danii (1,7%). Znacznie niższe wzrosty (nie przekraczające 1%) dotyczyły jeszcze Norwegii i Danii oraz Polski (0,4%). Spośród pozostałych 7 krajów, największy spadek stężeń Hg w powietrzu dotyczył Litwy (ponad 12%) oraz Austrii (ponad 8%). W przypadku Słowenii można mówić o braku zmian (spadek nie przekroczył 1%).

Nieco inaczej układały się zmiany pomiędzy stężeniami średnimi z roku 2023 oraz średniej z wielolecia 2010-2022. Spośród 15 krajów, dla których możliwe było porównanie wartości stężenia Hg w powietrzu w 2023 roku ze średnią z wielolecia, wyższe wartości w roku 2023 zanotowano dla Wielkiej Brytanii (ponad 24%) oraz Słowenii (ponad 16%). W przypadku Łotwy i Belgii różnice pomiędzy 2023 roku a średnią z wielolecia nie przebroczyły 1%. Dla pozostałych 11 krajów zanotowano niższe stężenia Hg w roku 2023 niż średnie z wielolecia. Największą różnicę zanotowano dla Litwy (ponad 41%) i Austrii (blisko 24%). W przypadku Polski stężenie średnie roczne w roku 2023 było niższe od średniej z wielolecia o nieco ponad 1% (Tab. 8.2).

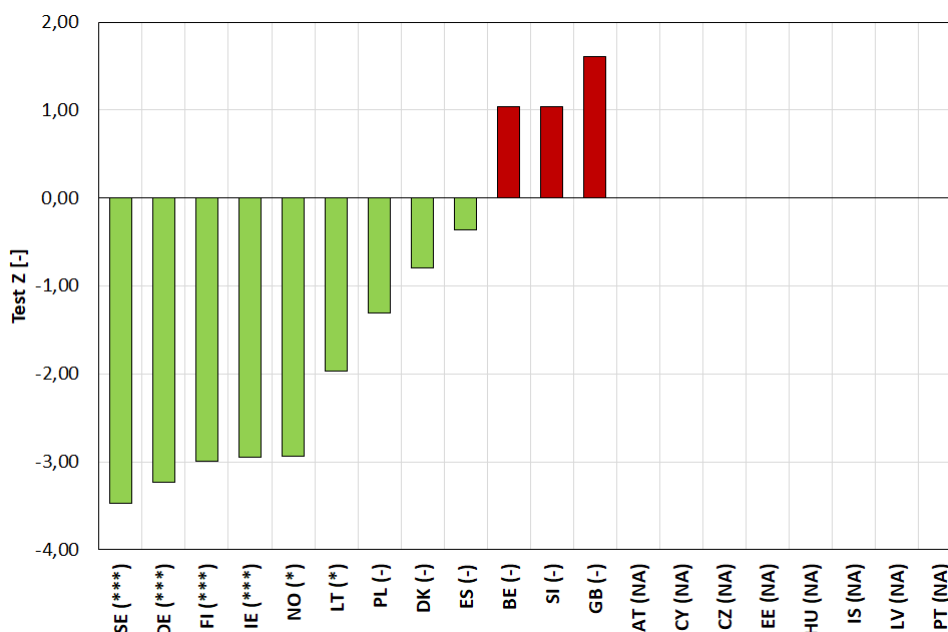
Wartości średnie roczne stężenia rtęci w powietrzu na poszczególnych stacjach w Europie w 2023 roku zawierały się w granicach 0,62-1,66 ng/m<sup>3</sup>. Wśród 5 stacji z najwyższymi

wartościami Hg w Europie znajdowały się 3 stacje z Polski (w Osieczowie i w Granicy, jako dwa pierwsze maksima europejskie oraz w Żłotym Potoku - czwarte maksimum) oraz po jednej ze stacji niemieckich i brytyjskich. Najniższą wartość średnią roczną Hg w powietrzu w 2023 roku uzyskano na stacji litewskiej (Rys. 8.2). Stężenia średnie roczne na pozostałych dwóch stacjach z Polski (Puszcza Borecka i Zielonka) charakteryzowały się bardzo podobnymi wartościami, na poziomie nieco powyżej średniej europejskiej.



Rys. 8.2. Wartości stężeń średnich rocznych Hg na poszczególnych stacjach w Europie w roku 2023  
Źródło danych: EAŚ, EMEP. Opracowanie: IOS-PIB

Przeprowadzona analiza statystyczna trendów zmian stężeń w powietrzu atmosferycznym w okresie 2010-2023 w poszczególnych krajach Europy wskazuje na zauważalne spadki. Taka sytuacja dotyczy 9 spośród 12 krajów, dla których serie pomiarowe były dłuższe niż 10 lat (spośród 20 analizowanych w raporcie). Spadki istotne statystycznie obserwuje się w przypadku 6 krajów, najwyraźniej zaznaczone kolejno dla Szwecji, Niemiec, Finlandii i Irlandii (istotność na poziomie \*\*\*) oraz o mniejszej istotności dla Norwegii i Litwy (\*). W przypadku Polski, Danii i Hiszpanii obserwowana jest nieistotna statystycznie tendencja malejąca. Nieistotne statystycznie tendencje rosnące stężeń średnich rocznych rtęci gazowej dotyczą pozostałych 3 krajów, tj. Belgii, Słowenii i Wielkiej Brytanii (Rys. 8.3).



Rys. 8.3. Trendy i tendencje zmian stężeń średnich rocznych rtęci w powietrzu atmosferycznym w poszczególnych krajach Europy w latach 2010-2023

Źródło danych: EAS, EMEP. Opracowanie: IOŚ-PIB

## 8.2. Depozycja rtęci do podłoża

W poniższym rozdziale omówiono wyniki oceny depozycji Hg w Europie na podstawie obliczonych wartości dobowego wskaźnika depozycji. Analizę przeprowadzono dla stacji pozamiejskich tła funkcjonujących w Europie w okresie 2010-2023. Wyniki przedstawiono jako wartości uśrednione zarówno dla poszczególnych krajów, jak i dla pojedynczych stanowisk, ze szczególnym wskazaniem wyników pomiarów uzyskanych na stacjach tła regionalnego w Polsce.

Ocenę depozycji rtęci przeprowadzono dla roku 2023 na podstawie wyników pomiarów pochodzących z 34 stacji pozamiejskich tła spełniających kryteria selekcji danych, funkcjonujących na terenie 16 krajów europejskich (Tab. 8.3 i Rys. 8.4). Najwięcej stacji spośród uwzględnionych w analizie zlokalizowanych było w Niemczech (6 stacji), Finlandii (5) i Wielkiej Brytanii (4). Ponadto jeszcze tylko w 4 krajach zlokalizowanych było więcej niż po jednej stacji tj. w Polsce i Norwegii (3) oraz w Słowenii i Szwecji (po 2 stacje). W pozostałych 9 krajach ocenę wykonano w oparciu o wyniki pomiarów pochodzące z pojedynczych stacji (Tab. 8.3).

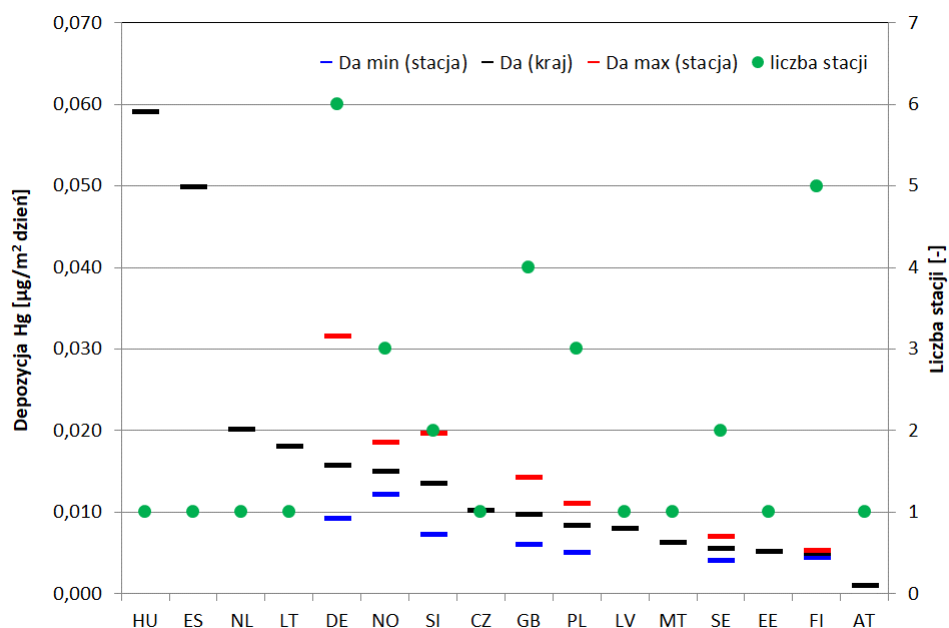
Uśrednione wartości wskaźnika depozycji Hg dla obszarów pozamiejskich tła w poszczególnych krajach europejskich pokazują, że w 2023 roku w Polsce wskaźnik średniej dobowej depozycji rtęci znajdował się na poziomie poniżej średniej obliczonej dla Europy. Niższe niż w Polsce wartości zanotowano tylko dla 6 krajów, tj. Austrii, Finlandii, Estonii, Szwecji, Malty i Łotwy. Prowadzony w Europie monitoring depozycji Hg pokazuje znaczną rozpiętość wartości wskaźnika na poszczególnych stacjach, zauważalny w przypadku Norwegii, Niemiec, Słowenii, Wielkiej Brytanii i Polski, co prowadzi do wniosku, iż pomiar na pojedynczej stacji może nie być miarodajny dla danego kraju (Tab. 8.3 i Rys. 8.4).

Tab. 8.3. Wskaźnik depozycji Hg (wartości minimalne i maksymalne na stacjach oraz średnie dla kraju) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy

Źródło danych: EAŚ, EMEP. Opracowanie: IOŚ-PIB

| Kod kraju wg ISO | Liczba stacji | Dobowy wskaźnik depozycji         |                                   |                                   |
|------------------|---------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|                  |               | Dwa min                           | Dwa                               | Dwa max                           |
|                  | [-]           | [ $\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień] | [ $\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień] | [ $\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień] |
| AT               | 1             | 0,001                             | 0,001                             | 0,001                             |
| CZ               | 1             | 0,010                             | 0,010                             | 0,010                             |
| DE               | 6             | 0,009                             | 0,016                             | 0,032                             |
| EE               | 1             | 0,005                             | 0,005                             | 0,005                             |
| ES               | 1             | 0,050                             | 0,050                             | 0,050                             |
| FI               | 5             | 0,004                             | 0,005                             | 0,005                             |
| GB               | 4             | 0,006                             | 0,010                             | 0,014                             |
| HU               | 1             | 0,059                             | 0,059                             | 0,059                             |
| LT               | 1             | 0,018                             | 0,018                             | 0,018                             |
| LV               | 1             | 0,008                             | 0,008                             | 0,008                             |
| MT               | 1             | 0,006                             | 0,006                             | 0,006                             |
| NL               | 1             | 0,020                             | 0,020                             | 0,020                             |
| NO               | 3             | 0,012                             | 0,015                             | 0,018                             |
| PL <sup>*)</sup> | 3             | 0,005                             | 0,008                             | 0,011                             |
| SE               | 2             | 0,004                             | 0,005                             | 0,007                             |
| SI               | 2             | 0,007                             | 0,013                             | 0,020                             |
| <b>Europa</b>    | <b>34</b>     | <b>0,014</b>                      | <b>0,016</b>                      | <b>0,018</b>                      |

<sup>\*)</sup> Stacje: Osieczów, Puszcza Borecka, Zielonka



Rys. 8.4. Wskaźnik depozycji Hg (wartości minimalne, maksymalne oraz średnie) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji uwzględnionych w analizie w roku 2023

Źródło danych: EAŚ, EMEP. Opracowanie: IOŚ-PIB

Tab. 8.4. Wskaźniki depozycji Hg dla krajów europejskich w latach 2023, 2022 i średnie z lat 2010-2022 oraz zmiany względne w roku 2023 w stosunku do roku wcześniejszego oraz wielolecia

Źródło danych: EAŚ, EMEP. Opracowanie: IOŚ-PIB

| Kod kraju<br>wg ISO | Dwa [ $\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień] |       |           | Różnica względna w roku 2023 w stosunku do [%] |                  |
|---------------------|---------------------------------------|-------|-----------|------------------------------------------------|------------------|
|                     | 2022                                  | 2023  | 2010-2022 | roku 2022                                      | okresu 2010-2022 |
| AT                  | 0,001                                 | 0,001 | 0,003     | 0,0%                                           | -70,5%           |
| BE                  | **)                                   | *)    | 0,015     | *)                                             | *)               |
| CZ                  | 0,002                                 | 0,010 | 0,018     | 364,3%                                         | -43,6%           |
| DE                  | 0,009                                 | 0,016 | 0,016     | 79,0%                                          | -0,1%            |
| EE                  | 0,002                                 | 0,005 | 0,009     | 179,0%                                         | -44,1%           |
| ES                  | 0,026                                 | 0,050 | 0,020     | 94,6%                                          | 147,6%           |
| FI                  | 0,005                                 | 0,005 | 0,007     | -10,7%                                         | -28,7%           |
| GB                  | 0,007                                 | 0,010 | 0,015     | 31,9%                                          | -36,9%           |
| HU                  | 0,009                                 | 0,059 | 0,089     | 555,6%                                         | -33,7%           |
| IE                  | 0,293                                 | *)    | 0,104     | *)                                             | *)               |
| LT                  | 0,014                                 | 0,018 | 0,017     | 28,6%                                          | 8,7%             |
| LV                  | 0,007                                 | 0,008 | 0,031     | 7,7%                                           | -74,7%           |
| MT                  | 0,010                                 | 0,006 | 0,011     | -38,2%                                         | -43,8%           |
| NL                  | 0,023                                 | 0,020 | 0,019     | -12,2%                                         | 5,4%             |
| NO                  | 0,011                                 | 0,015 | 0,025     | 32,6%                                          | -39,3%           |
| PL                  | 0,013                                 | 0,008 | 0,021     | -34,6%                                         | -60,6%           |
| PT                  | 0,006                                 | *)    | 0,018     | *)                                             | *)               |
| SE                  | 0,006                                 | 0,005 | 0,012     | -6,3%                                          | -54,1%           |
| SI                  | 0,012                                 | 0,013 | 0,023     | 14,8%                                          | -41,8%           |

\*) brak danych z 2023 roku

\*\*\*) brak danych z 2022 roku

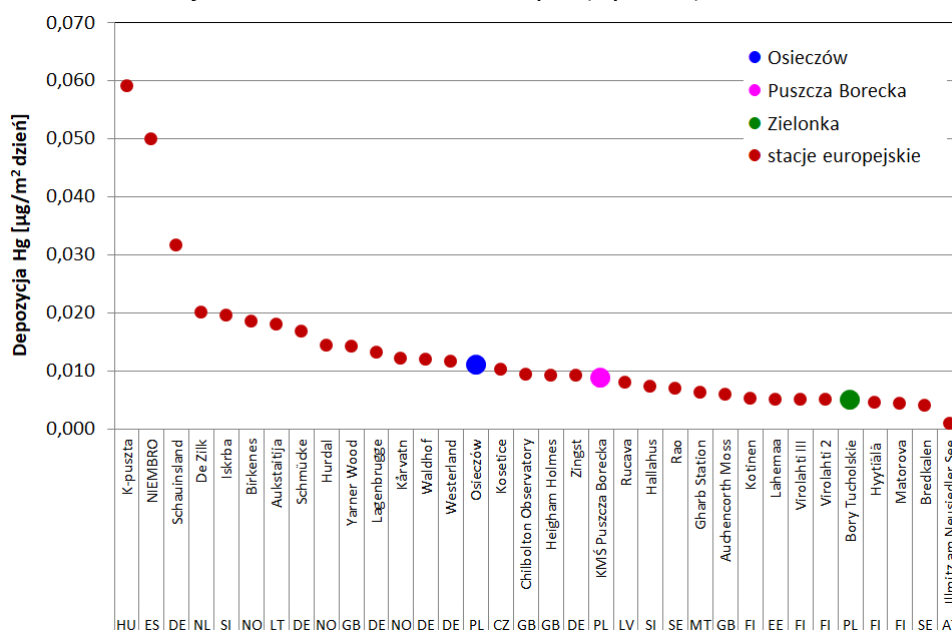
\*\*\*\*) brak danych z lat 2010-2022

Analiza zmian uśrednionego wskaźnika depozycji Hg z roku na rok (2023-2022) wskazuje na wzrost depozycji Hg w 10 spośród 16 analizowanych krajów. Zdecydowanie najwyższy wzrost z roku na rok dotyczył Węgier (ponad 550%), Czech (364%) i Estonii (ponad 179%). Dla pozostałych krajów wzrosty depozycji Hg z roku na rok były również istotne, ale nie tak wysokie. W przypadku Austrii nie odnotowano praktycznie żadnych zmian depozycji z roku na rok. Spośród pozostałych 5 krajów, gdzie zanotowano spadek wartości dobowego wskaźnika depozycji rtęci z roku na rok (Malta, Polska, Holandia, Finlandia i Szwecja), najwyższy dotyczył Malty (38%). W przypadku Polski spadek ten był bliski 35% (Tab. 8.4).

Analiza zmian średniego rocznego wskaźnika depozycji Hg w roku 2023 na tle całego rozważanego okresu 2010-2022 wskazała generalnie niższe wartości, z wyjątkiem Hiszpanii, Litwy i Holandii. Wśród pozostałych 13 krajów zanotowano wyraźnie niższe wartości dobowego wskaźnika depozycji Hg w roku 2023 w stosunku do średniej obliczonej z wielolecia. Najbardziej widoczne spadki dotyczyły Łotwy i Austrii (ponad 70%), Polski (ponad 60%) oraz Szwecji (ponad 50%) - Tab. 8.4.

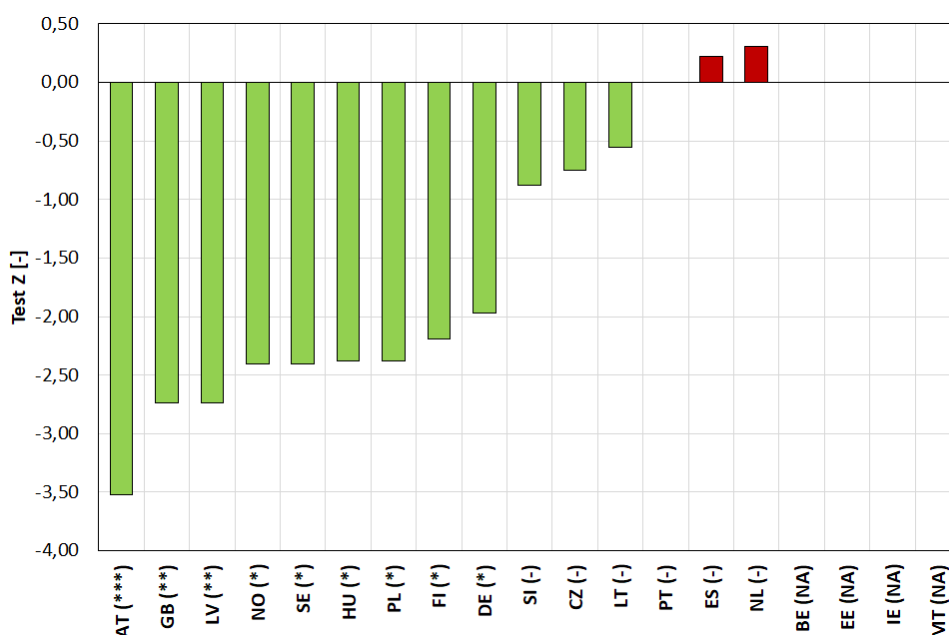
Analiza średniego dobowego wskaźnika depozycji Hg na poszczególnych stacjach europejskich pokazuje znaczną rozpiętość w granicach 0,001 - 0,059  $\mu\text{g}/\text{m}^2$  na dzień. Wśród 5 stacji z najwyższymi wartościami wskaźnika depozycji na 34 poddane analizie, znajdowały się pojedyncze stacje, kolejno z Węgier (maksimum europejskie), Hiszpanii (2 maksimum europejskie), Niemiec (3 maksimum) oraz Holandii i Słowenii. Wartości wskaźnika depozycji Hg uzyskane na polskich stacjach tła regionalnego uplasowały je odpowiednio: Osieczów w strefie wartości średnich na pozycji 15 maksimum europejskiego, Puszczę Borecką w strefie

wartości niskich na pozycji 20 spośród 34 analizowanych stacji oraz Zielonkę w strefie wartości bardzo niskich jako 30 maksimum w Europie (Rys. 8.5).



Rys. 8.5. Roczna depozycja Hg do podłoża na poszczególnych stacjach w Europie w roku 2023

Źródło danych: EAŚ, EMEP. Opracowanie: IOŚ-PIB



Rys. 8.6. Trendy i tendencje zmian stężeń średnich rocznych wskaźników depozycji rtęci w poszczególnych krajach Europy w latach 2010-2023

Źródło danych: EAŚ, EMEP. Opracowanie: IOŚ-PIB

Analiza statystyczna trendów zmian wskaźników depozycji rtęci w okresie 2010-2023 w poszczególnych krajach Europy pokazuje zauważalne spadki. Taka sytuacja dotyczy 12 spośród 15 krajów, dla których serie pomiarowe były dłuższe niż 10 lat (spośród 19 poddanych analizie). W przypadku 9 krajów obserwuje się istotne statystycznie trendy spadkowe, najwyraźniej zaznaczone dla Austrii (istotność na poziomie \*\*\*) oraz Wielkiej Brytanii i Łotwy (istotność na poziomie \*\*). Pozostałych 6 krajów, w tym Polska, charakteryzuje się istotnym statystycznie trendem malejącym o niższej istotności (\*).

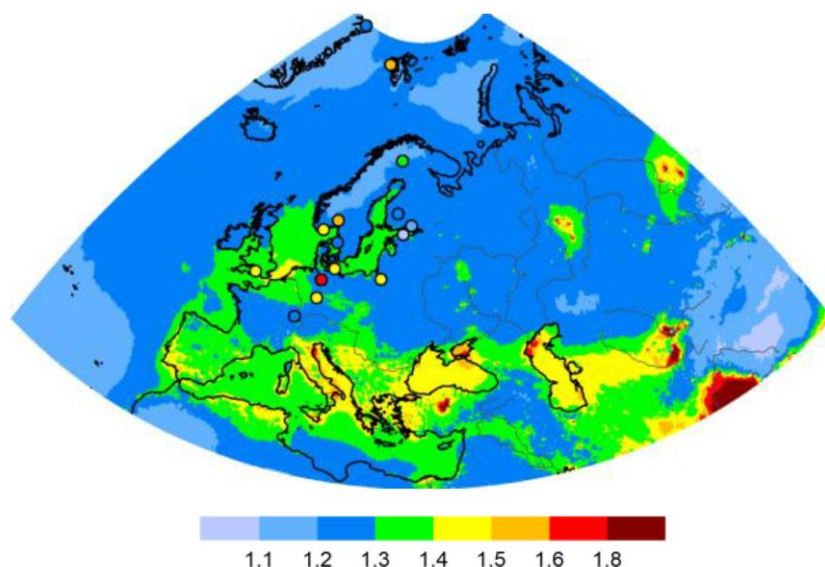
Nieistotne statystycznie tendencje malejące wskaźników depozycji zauważalne są dla Słowenii, Czech i Litwy. W przypadku Portugalii zmiany nie są zauważalne, a w przypadku Holandii i Hiszpanii zaznaczona jest nieistotna statystycznie tendencja rosnąca (Rys. 8.6).

## 9. Modelowanie

W niniejszym rozdziale przedstawiono rezultaty obliczeń modelowych przeprowadzonych przez Meteorologiczne Centrum Syntetyzujące – Wschód (MSC-E) EMEP, zlokalizowanego od 2024 roku w Jožef Stefan Institute w Ljublanie, w Słowenii. Zaczerpnięto je z raportu dotyczącego zanieczyszczenia powietrza metalami ciężkimi i trwałymi zanieczyszczeniami organicznymi w domenie EMEP (EMEP, 2025). Obliczenia modelowe zostały wykonane przy użyciu najnowszej wersji open-source modelu GLEMOS (v2.3.0) z wykorzystaniem danych o emisji rtęci przygotowanych przez Centrum Inwentaryzacji i Prognoz Emisji EMEP (Centre on Emission Inventories and Predictions CEIP) na podstawie danych przekazanych przez kraje za rok 2023 oraz danych meteorologicznych opracowanych przez Europejskie Centrum Prognoz Średnioterminowych (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts ECMWF). Ponadto wykorzystano globalną inwentaryzację emisji Hg (UNEP, 2019). W obliczeniach połączono symulacje modelowe zarówno w skali globalnej, jak i regionalnej, aby uwzględnić wpływ zarówno regionalnych, jak i globalnych źródeł emisji.

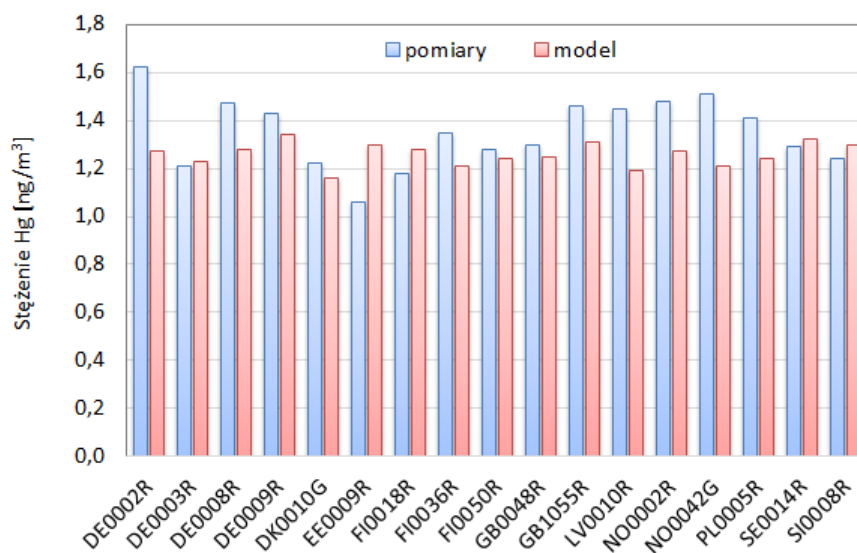
### 9.1. Zanieczyszczenie powietrza rtęcią

Rozkład przestrzenny stężeń rtęci w powietrzu na obszarze EMEP jest mało zróżnicowany pomiędzy regionami (znacznie mniej niż dla innych metali ciężkich), co można przypisać znaczącemu wpływowi transportu globalnego, powodowanemu długim czasem przebywania rtęci w atmosferze. Na większości obszaru stężenie rtęci w powietrzu wahało się pomiędzy 1,0 a 2,0 ng/m<sup>3</sup>, średnio 1,3 ng/m<sup>3</sup> (EMEP, 2025). Podwyższone wartości stężenia rtęci obserwowane są w strefach przybrzeżnych Morza Śródziemnego, a zwłaszcza Morza Czarnego i Kaspijskiego – w południowej części domeny EMEP, co jest spowodowane wpływem naturalnej emisji z tzw. pasa geochemicznego (Pirrone N., Mahaffey K.R., 2005). Stężenia poniżej 1,3 ng/m<sup>3</sup> wystąpiły w Europie Środkowej i północnej, w szczególności w Skandynawii, krajach bałtyckich, Szwajcarii, środkowej Francji, części Niemiec i odległych regionach, takich jak Arktyka. Wyniki pomiarów wskazują na ogół wyższe wartości (Rys. 9.1).



Rys. 9.1. Rozkład przestrzenny stężenia rtęci w powietrzu w roku 2023 – rezultaty obliczeń modelowych. Kółka na mapie pokazują wyniki pomiarów na stacjach w tej samej skali kolorystycznej [ng/m<sup>3</sup>]  
Źródło: EMEP (EMEP, 2025)

Różnice między modelowanymi i obserwowanymi stężeniami w powietrzu dla poszczególnych stacji wahały się od -22 do 23%, a więc model na niektórych stacjach zawyżał, a na innych zaniżał wyniki (Rys. 9.2).

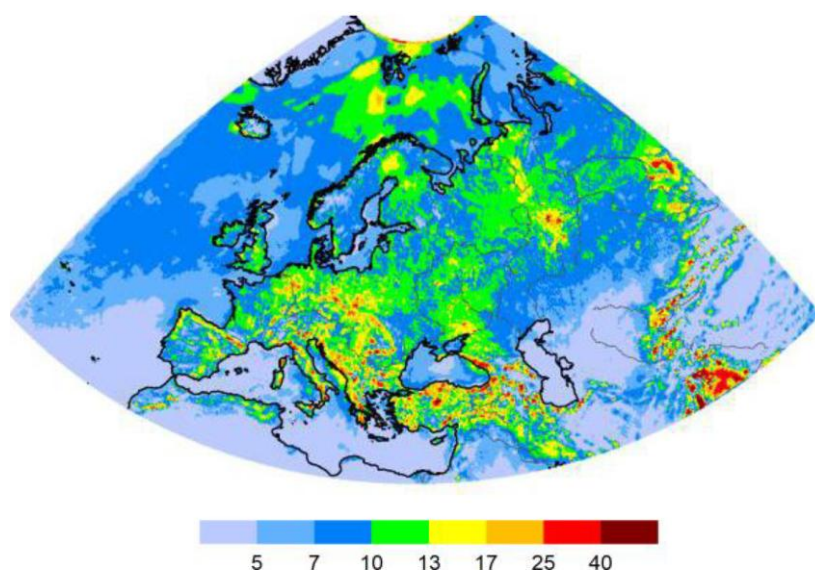


Rys. 9.2. Średnie roczne stężenia rtęci w powietrzu w roku 2023 – rezultaty obliczeń modelowych i wyniki pomiarów [ng/m<sup>3</sup>]  
Źródło danych: EMEP (EMEP, 2025). Opracowanie: IOŚ-PIB



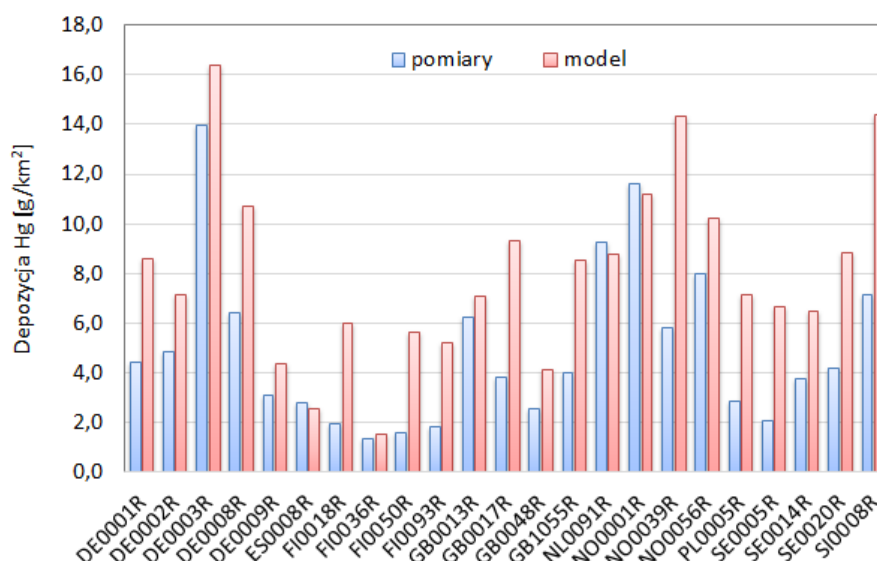
## 9.2. Depozycja rtęci do podłoża

Roczne strumienie depozycji Hg wykazywały znacznie większą zmienność przestrzenną w porównaniu ze stężeniami w powietrzu. Wysokie poziomy całkowitej depozycji Hg (przekraczające  $25 \text{ g/km}^2$ ) obserwuje się w całej Europie środkowej i południowej, w tym w takich krajach jak Niemcy, Polska, Czechy, Rumunia, Włochy, Hiszpania, Bośnia i Hercegowina oraz Bułgaria. Największą depozycję (powyżej  $40 \text{ g/km}^2$ ) występują w częściach Kaukazu, w szczególności w Armenii i Gruzji, a także dla kilku krajów Azji Środkowej i części Turcji, głównie z powodu znacznych emisji antropogenicznych, wysokich rocznych sum opadów i zwiększonego utleniania atmosferycznego rtęci (Rys. 9.3). Znaczącą depozycję odnotowano w Arktyce, co jest efektem dalekiego transportu rtęci i wiąże się również z intensywnym utlenieniem i depozycją rtęci w okresie wiosennym. Wielkość depozycji na tym obszarze wynosi na ogół  $10\text{--}17 \text{ g/km}^2$ , ale miejscami przekracza  $17 \text{ g/km}^2$ . Należy jednak zauważyć, że znaczna część rtęci osadzonej na śniegu jest później ponownie emitowana do atmosfery. Obszary morskie/oceaniczne w domenie EMEP i pustynne obszary Środkowej Azji charakteryzują się najmniejszą depozycją rtęci (około  $7 \text{ g/km}^2$  i poniżej tej wartości) (EMEP, 2025).



Rys. 9.3. Rozkład przestrzenny depozycji rtęci w roku 2023 – rezultaty obliczeń modelowych [ $\text{g/km}^2$ ]  
Źródło: EMEP (EMEP, 2025)

Zgodność między modelowanymi i zmierzonymi poziomami depozycji jest mniejsza niż w przypadku stężenia rtęci w powietrzu, a różnice względne dla poszczególnych stacji EMEP wyniosły w 2023 roku od  $-10\%$  do  $226\%$ , przy czym model w większości przypadków zawyżał wartości depozycji w stosunku do pomiarów (Rys. 9.4). Niższe wyniki modelowania niż pomiarów odnotowano jedynie na pojedynczych stacjach w Hiszpanii, Holandii i Norwegii i tu różnice wyniosły po kilka procent. W przypadkach, gdy model pokazał wyższe wartości, różnice względne wynosiły na ogół po kilkadziesiąt procent, a w 9 na 23 porównywane lokalizacje przekroczyły  $100\%$  (w tym w dwóch przypadkach – w Finlandii i Szwecji – były większe niż  $200\%$ ).



Rys. 9.4. Roczne wartości depozycji rtęci w roku 2023 – rezultaty obliczeń modelowych i wyniki pomiarów [g/km²]

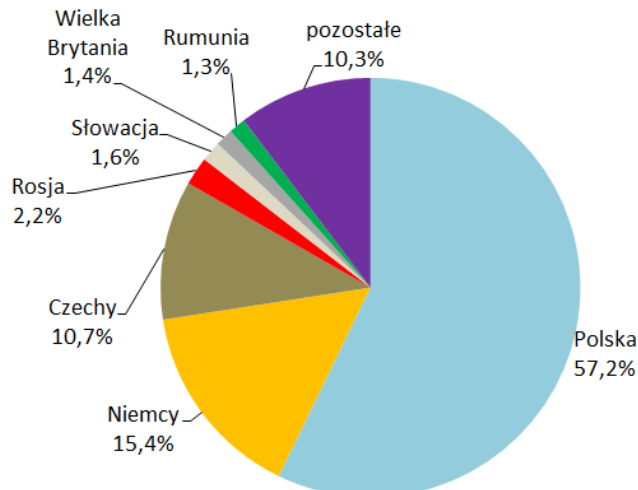
Źródło danych: EMEP (EMEP, 2025). Opracowanie: IOŚ-PIB

### 9.3. Transport transgraniczny rtęci

W wyniku intensywnego transportu międzykontynentalnego udział źródeł emisji z krajów spoza domeny EMEP w całkowitej depozycji rtęci jest największym czynnikiem przyczyniającym się do depozycji Hg w większości krajów EMEP, odpowiadając za ponad 50% całkowitej depozycji w 51 krajach EMEP, z wyjątkiem Czech i Polski; w 30 krajach EMEP transport transgraniczny ze źródeł spoza domeny EMEP stanowił ponad 75% całkowitej depozycji. Bezpośredni wpływ regionalnych źródeł wtórnych/naturalnych jest minimalny i stanowi mniej niż 3% strumienia depozycji we wszystkich krajach (EMEP, 2025).

Biorąc pod uwagę wyłącznie depozycję rtęci ze źródeł antropogenicznych, kraje o znacznych krajowych emisjach rtęci - takie jak Czechy, Serbia, Polska, Niemcy, Włochy, Hiszpania, Portugalia, Rosja, Tadżykistan, Wielka Brytania i Turcja - doświadczają wyższej depozycji ze źródeł krajowych niż z innych krajów EMEP. I odwrotnie, kraje o minimalnych emisjach krajowych (Monako, Liechtenstein, Malta, Cypr, Albania, Mołdawia) wykazują blisko 100% względnego udziału depozycji rtęci pochodzącej z transportu transgranicznego (EMEP, 2025).

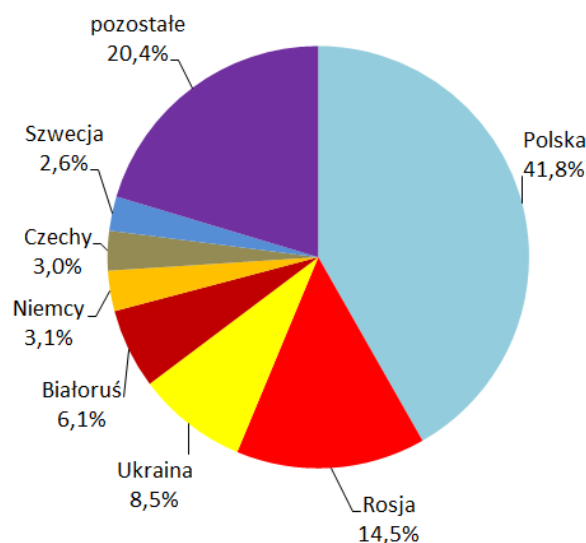
Z 1,84 Mg rtęci ze źródeł antropogenicznych, zdeponowanych w 2023 roku na obszarze Polski, ponad 57% zostało wyemitowane na terenie kraju. W mniejszych ilościach do tej depozycji przyczyniły się źródła niemieckie (ponad 15%), czeskie (ok. 11%), rosyjskie (ponad 2%), słowackie (nieco ponad 1,5%), brytyjskie i rumuńskie (nieco ponad 1%). Pozostałe kraje w domenie EMEP w sumie dostarczyły niewiele ponad 10% rtęci osiadłej na obszarze Polski (Rys. 9.5).



Rys. 9.5. Obszary źródłowe dla depozycji rtęci w Polsce w roku 2023 – na podstawie rezultatów obliczeń modelowych

Źródło danych: EMEP (EMEP, 2025). Opracowanie: IOŚ-PIB

Rtęć emitowana w Polsce osiada na terenie kraju oraz poza jego granicami, przy czym Polska jest głównym receptorem rtęci emitowanej z własnych źródeł.



Rys. 9.6. Obszary docelowe dla depozycji rtęci emitowanej w Polsce w roku 2023 – na podstawie rezultatów obliczeń modelowych

Źródło danych: EMEP (EMEP, 2025). Opracowanie: IOŚ-PIB

W 2023 roku blisko 42% zdeponowanej na podłożu rtęci, pochodzącej z polskich źródeł antropogenicznych, osiadło na naszym terytorium. Poza Polską głównymi odbiorcami rtęci emitowanej w naszym kraju były kraje sąsiednie: Rosja (gdzie osiadło ok. 15% depozycji z polskich źródeł emisji), Ukraina (ok. 9%), Białoruś (ok. 6%), Niemcy i Czechy (po ok. 3%), Szwecja (blisko 3%). W mniejszych ilościach rtęć z Polski osiadała także na innych terenach, do których w sumie dotarło ponad 20% zdeponowanej rtęci pochodzącej z krajowych źródeł (Rys. 9.6).

## 10. Podsumowanie

### ***Emisja rtęci***

Wśród krajów o największej emisji rtęci w Unii Europejskiej znajdują się: Niemcy, Włochy, Polska, Hiszpania, Czechy, Francja i Rumunia. W roku 2023 krajowa emisja rtęci ze źródeł antropogenicznych wyniosła 5,121 Mg i była mniejsza o blisko 18% w stosunku do emisji z roku poprzedniego. Udział Polski w emisji europejskiej (z 27 krajów UE) rtęci w 2023 roku wynosił 16%, a w emisji z domeny EMEP 3%.

Dominującymi sektorami w krajowej emisji Hg w roku 2023 były: *Przemysły energetyczne* (blisko 50% emisji krajowej rtęci) oraz *Procesy przemysłowe* (22%). Około 41% rtęci emitowanej z zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza pochodziło z województwa łódzkiego.

### ***Warunki meteorologiczne***

Cechą charakterystyczną warunków termicznych obserwowanych na większości stacjach osłonowych w 2024 roku była wyjątkowo ciepła zima i upalne lato, czyniąc ten najcieplejszym rokiem w wieloleciu 2010-2023, w którym obserwuje się zdecydowaną tendencję wzrostową temperatury.

Warunki opadowe obserwowane na stacjach w roku 2024 charakteryzowały się spadkiem sum opadów w stosunku do wartości z 2023 roku na trzech z pięciu stacji osłonowych (dla stacji w Granicy, Osieczowa i Złotego Potoku) i względem wielolecia 2010-2023 na dwóch z pięciu stacji (dla Granicy i Puszczy Boreckiej).

Warunki meteorologiczne kształtowane były najczęściej przez masy powietrza napływające nad Polskę z kierunków południowego i południowo-zachodniego, a najrzadziej z kierunków północno-wschodniego i wschodniego. W stosunku do średnich z lat wcześniejszych (2010-2023) odnotowano ponadprzeciętną częstość występowania wiatru z kierunku południowego i niższą częstość wiatru z kierunków północno-wschodniego i wschodniego.

### ***Zanieczyszczenie powietrza rtęcią***

Charakterystyczną cechą przebiegu stężeń Hg w powietrzu na wszystkich stacjach tła regionalnego w 2024 roku i w latach wcześniejszych (2010-2023) są relatywnie niewielkie zmiany. Wyższe stężenia rtęci w powietrzu w 2024 roku uzyskano na stacjach Złoty Potok, Osieczów i Granica, a niższe na stacji Puszcza Borecka (zwykle także na stacji Zielonka, ale seria z 2024 roku z tej stacji nie została uwzględniona w ocenie ze względu na zbyt niską kompletność). W roku 2024 nieznaczny spadek średniego rocznego stężenia Hg w powietrzu z roku na rok zaobserwowano na wszystkich stacjach uwzględnionych w ocenie, przy czym były to zmiany rzędu kilku procent (największa w Granicy wyniosła ok. 5%). Analizy wartości średnich rocznych z 2024 roku w zestawieniu ze średnimi z wielolecia (2010-2023) wykazały niższe wartości na wszystkich stacjach, poza Granicą. Zmiany względne wyniosły kilka procent, jedynie w Osieczowie przekroczyły 10%.

Porównanie wyników stężeń rtęci w powietrzu w 2023 roku w krajach europejskich wskazuje, że przeciętne roczne stężenie rtęci gazowej w powietrzu w Polsce było najwyższe w Europie, nieco wyższe niż uzyskane średnie dla Węgier i Norwegii. Taki stan rzeczy wynika z faktu, iż wśród 5 stacji z najwyższymi stężeniami Hg w powietrzu w Europie, znajdowały się 3 z Polski, w tym z pierwszym i drugim maksimum. Analiza względnych zmian stężeń uśrednionych dla każdego z krajów z roku na rok (w 2023 w stosunku do 2022) pokazuje

wzrost stężeń z roku na rok dla 7 krajów (największy dla Wielkiej Brytanii i Niemiec) oraz spadek dla 7 (największy dla Litwy). W przypadku Polski zanotowano wzrost stężeń Hg z roku na rok o 0,4%, zaś w porównaniu do średniej z wielolecia 2010-2022 spadek na poziomie 1,2%, przy zauważalnej, nieistotnej statystycznie, tendencji malejącej w analizowanym okresie 2010-2023.

### ***Depozycja rtęci***

Pośród trzech analizowanych stacji tła regionalnego, najwyższą depozycję rtęci w roku 2024 zaobserwowano na stacji w Osieczowie, zaś najniższą w Zielonce. Względne zmiany depozycji Hg z roku na rok (2024-2023) wykazały wzrosty na wszystkich stacjach. W roku 2024 zanotowano niższe wartości wskaźników depozycji niż średnia z wielolecia (2010-2023) na stacjach w Puszczy Boreckiej i Zielonce i wyższą w Osieczowie. Wyższe wartości wskaźnika depozycji obserwuje się na ogół latem niż zimą, co wynika z sezonowego rozkładu sum opadów atmosferycznych.

Uśrednione wartości wskaźnika depozycji Hg dla obszarów pozamiejskich tła w poszczególnych krajach europejskich pokazują, że w 2023 roku w Polsce wskaźnik średniej dobowej depozycji rtęci znajdował się na poziomie poniżej średniej obliczonej dla Europy. Wyższe niż w Polsce wartości zanotowano dla 9 krajów. Analiza zmian uśrednionego wskaźnika depozycji Hg z roku na rok (w latach 2023-2022) wskazuje na wzrost depozycji Hg w 10 spośród 16 analizowanych krajów, a spadek w 6, w tym w Polsce. Analiza zmian średniego rocznego wskaźnika depozycji Hg w roku 2023 na tle okresu 2010-2022 wskazała generalne spadki (w tym dla Polski) z wyjątkiem Hiszpanii, Litwy i Holandii. Spadki wskaźnika depozycji rtęci w Europie potwierdza analiza statystyczna, wskazująca na istotne statystycznie trendy malejące dla większości krajów, w tym dla Polski.

### ***Modelowanie***

Rezultaty obliczeń modelowych wskazują, że Polska należy do obszarów o przeciętnych w Europie stężeniach rtęci powietrza i jej depozycji do podłoża (poza województwem śląskim i dolnośląskim w przypadku depozycji, gdzie notowane są wyższe wartości).

Obliczenia modelowe wskazują, że wysokie stężenia rtęci w powietrzu występują we wschodniej i południowej części domeny EMEP i w rejonie Morza Śródziemnego, co jest spowodowane zarówno przez źródła antropogeniczne, jak również przez wpływ naturalnej emisji z tzw. pasa geochemicznego. Obszary o największej depozycji rtęci w Europie były zlokalizowane w Europie środkowej i południowej, co przypisuje się zarówno lokalizacji dużych źródeł emisji, jak i wpływowi źródeł naturalnych.

## 11. Bibliografia

Opracowania wykonane w ramach PMŚ, dostępne na stronie GIOŚ  
<http://powietrze.gios.gov.pl/pjp/maps/measuringstation/U>

- Pyta H., Zajusz R. (2013):** Ocena zanieczyszczenia powietrza rtęcią na stacjach tła regionalnego w Polsce w latach 2010-2012. Inspekcja Ochrony Środowiska, Zabrze, 2013
- Falkowska L.(2014):** Zanieczyszczenie powietrza rtęcią na stacjach tła regionalnego w Polsce - ocena za 2013 rok. Inspekcja Ochrony Środowiska, Gdańsk, 2014
- Skotak K., Degórska A., Prządka Z. (2015):** Zanieczyszczenie powietrza rtęcią na stacjach tła regionalnego w Polsce - ocena za 2014 rok. Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa, 2015
- Falkowska L., Bełdowska M., Saniewska D. (2016):** Zanieczyszczenie powietrza rtęcią na stacjach tła regionalnego w Polsce za 2015 rok. Inspekcja Ochrony Środowiska, Gdańsk, 2016
- Skotak K., Degórska A., Prządka Z. (2017):** Zanieczyszczenie powietrza rtęcią na stacjach tła regionalnego w Polsce za 2016 rok. Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa, 2017
- Skotak K., Degórska A., Prządka Z., Syrzycki M. (2018):** Zanieczyszczenie powietrza rtęcią na stacjach tła regionalnego w Polsce za 2017 rok. Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa, 2018
- Skotak K., Degórska A., Prządka Z., Syrzycki M. (2019):** Zanieczyszczenie powietrza rtęcią na stacjach tła regionalnego w Polsce za 2018 rok. Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa, 2019
- Skotak K., Degórska A., Prządka Z., Syrzycki M. (2020):** Zanieczyszczenie powietrza rtęcią na stacjach tła regionalnego w Polsce za 2019 rok. Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa, 2020
- Skotak K., Degórska A., Prządka Z., Syrzycki M. (2021):** Zanieczyszczenie powietrza rtęcią na stacjach tła regionalnego w Polsce za 2020 rok. Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa, 2021
- Degórska A., Skotak K., Prządka Z., Syrzycki M. (2022):** Ocena zanieczyszczenia powietrza rtęcią na stacjach tła regionalnego w Polsce za 2021 rok, IOŚ-PIB Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa, 2022
- Degórska A., Skotak K., Prządka Z., Syrzycki M. (2023):** Ocena zanieczyszczenia powietrza rtęcią na stacjach tła regionalnego w Polsce za 2022 rok, IOŚ-PIB Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa, 2023
- Degórska A., Skotak K., Prządka Z., Syrzycki M. (2024):** Ocena zanieczyszczenia powietrza rtęcią na stacjach tła regionalnego w Polsce za 2023 rok, IOŚ-PIB Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa, 2024

Materiały źródłowe i zbiory danych przygotowane przez:

oddziały Centralnego Laboratorium Badawczego GIOŚ:

- **we Wrocławiu:** Sprawozdanie z badań jakości powietrza przeprowadzonych na stacji tła regionalnego "Osieczów", Osieczów, gm. Osiecznica, powiat bolesławiecki, Kod stacji: DsOsieczow w roku 2024

- **w Katowicach:** Sprawozdanie z badań jakości powietrza przeprowadzonych na stacji tła regionalnego w roku 2024 Złoty Potok, gm. Janów (rejon Leśniczówki), SIzlotPotLes
  - **w Bydgoszczy:** Sprawozdanie z badań jakości powietrza przeprowadzonych na stacji tła regionalnego Bory Tucholskie, Zielonka, KpZielBoryTu w roku 2024
  - **w Warszawie:** Sprawozdanie z badań jakości powietrza przeprowadzonych na stacji tła regionalnego Granica-KPN, Granica - Kampinoski Park Narodowy, MzGranicaKPN w roku 2024
- oraz **Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy:** Sprawozdanie z badań jakości powietrza przeprowadzonych na stacji tła regionalnego Puszcza Borecka, WmPuszczaBor w roku 2024

Publikacje dostępne (w większości) na stronach www:

- 2021 AMAP Mercury Assessment.** Summary for Policy-makers. Arctic Monitoring and Assessment Programme (2021)
- Bose-O'Reilly i in., (2010):** Mercury exposure and children's health. Curr Probl Pediatr Adolesc Health Care 2010 Sep;40(8):186-215
- EC (2017):** Science for Environment Policy, Tackling mercury pollution in the EU and worldwide, University of the West of England, In-depth report 15, 2017
- EEA (2018):** Mercury in Europe's environment. A priority for European and global action. European Environmental Agency, 2018
- EMEP (2025):** Transboundary pollution by heavy metals and POPs. MSC-E & CCC & CEIP; EMEP Status Report 2/2025
- Genchi i in., (2017):** Mercury Exposure and Heart Diseases, International Journal of Environmental Research and Public Health 14(1):74
- Grandjean and Herz, (2011):** Methylmercury and Brain Development: Imprecision and Underestimation of Developmental Neurotoxicity in Humans Mt Sinai J Med 78:107–118
- GUS (2024):** Ochrona środowiska 2024. Informacje i opracowania statystyczne. GUS, 2024
- Gworek B. i inni (2013)** Rtęć w środowisku – Monografia – IOŚ-PIB, 2013
- Gworek B. i inni (2013)** Źródła uwalniania rtęci do środowiska – Regulacje prawne - Monografia – IOŚ-PIB, 2013
- Karagas i in., (2012):** Evidence on the human health effects of low level methylmercury exposure. Environmental Health Perspectives 120(6): 799-806
- MAKESENS 1.0, (2002):** Mann-Kendall Test and Sen's Slope Estimates for the Trend of Annual Data. Version 1.0. Finnish Meteorological Institute, 2002
- Miklavčič i in., (2013):** Economic benefits of methylmercury exposure control in Europe: monetary value of neurotoxicity prevention. Environ Health 2013 Jan 7;12
- MKiŚ, KOBIZE (2025):** Krajowy bilans emisji SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, NH<sub>3</sub>, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO za lata 1990-2023. Raport syntetyczny. MKiŚ, KOBiZE, 2025
- Pirrone N., Mahaffey K.R. (2005):** Dynamics of Mercury Pollution on Regional and Global Scales: Atmospheric Processes and Human Exposures Around the World. Springer, 2005



**UNEP (2002):** Global Mercury Assessment, United Nations Environmental Programme, Geneva, Switzerland

**UNEP (2019):** Global Mercury Assessment 2018 (AMAP/UNEP, 2019;  
<https://www.amap.no/mercury-emissions/datasets>)

**UNITED NATIONS (2021)** PROGRESS REPORT 2020 Overview of the Minamata Convention on Mercury activities, UNEP/MINAMATACONVENTION/2021/1

**Young-Seoub i in., (2012):** Methylmercury exposure and health effects. J Prev Med Public Health 2012 Nov 29;45(6):353-63

Przepisy prawne i wytyczne:

**EU (1978):** Council Directive 79/117/EEC of 21 December 1978 prohibiting the placing on the market and use of plant protection products containing certain active substances (OJ L 33, 8.2.1979, p. 36-40)

**EU (2003):** Regulation (EC) No 304/2003 of the European Parliament and of the Council of 28 January concerning the export and import of dangerous chemicals (OJ L63, 6.3.2003, p. 1-26)

**EC (2010):** Guidance on the quantification of the contribution of natural sources under the EU Air Quality Directive 2008/20/EC. Draft version 2. European Commission, DG Environment. May 2010

**KE (2005):** Dyrektywa 2004/107/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 1 grudnia 2004 r. w sprawie arsenu, kadmu, rtęci, niklu i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w otaczającym powietrzu (Dz. Urz. UE L 23/3 26.1.2005)

**KE (2008):** Dyrektywa 2008/50/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystsze powietrze dla Europy (Dz. U. UE L 152/1, 11.6.2008)

**KE (2010):** Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE z dnia 24 listopada 2010 roku w sprawie emisji przemysłowych (Dz. Urz. UE L 334/17 z 17.12.2010)

**KE (2015):** Dyrektywa Komisji (UE) 2015/1480 z dnia 28 sierpnia 2015 r. zmieniająca niektóre załączniki do dyrektyw Parlamentu Europejskiego i Rady 2004/107/WE i 2008/50/WE ustanawiających przepisy dotyczące metod referencyjnych, zatwierdzania danych i lokalizacji punktów pomiarowych do oceny jakości powietrza (Dz. Urz. UE L 226 z 29.08.2015, str. 4)

**KE (2016):** Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/2284 z dnia 14 grudnia 2016 r. w sprawie redukcji krajowych emisji niektórych rodzajów zanieczyszczeń atmosferycznych, zmiany dyrektywy 2001/35/WE oraz uchylenia dyrektywy 2001/81/WE (Dz. Urz. UE L 344/1 z 17.12.2006)

**KE (2017):** Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2017/852 z dnia 17 maja 2017 r. w sprawie rtęci oraz uchylające rozporządzenie (WE) nr 1102/2008 (Dz. Urz. UE L 137/1 z 24.05.2017)

**KE (2021):** Decyzja wykonawcza Komisji (UE) 2021/2326 z dnia 30 listopada 2021 r. ustanawiająca konkluzje dotyczące najlepszych dostępnych technik (BAT) w odniesieniu do dużych obiektów energetycznego spalania zgodnie z dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE (notyfikowana jako dokument nr C(2021) 8580)



- LRTAP (1979):** Konwencja Genewska w sprawie transgranicznego zanieczyszczania powietrza na dalekie odległości, sporządzona w Genewie dn. 13 listopada 1979 r. (Dz. U. z 1985 r. Nr 60, poz. 311; Dz.U z 1988 r. Nr 40, poz. 313)
- PMŚ-W (2025):** Wykonawczy Program Państwowego Monitoringu Środowiska na rok 2025. Monitoring jakości powietrza. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa 2025
- PMŚ-W (2024):** Wykonawczy Program Państwowego Monitoringu Środowiska na rok 2024. Monitoring jakości powietrza. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa 2024
- PMŚ-W (2023):** Wykonawczy Program Państwowego Monitoringu Środowiska na rok 2024. Monitoring jakości powietrza. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa 2023
- PMŚ-W (2022):** Wykonawczy Program Państwowego Monitoringu Środowiska na rok 2023. Monitoring jakości powietrza. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa 2022
- PMŚ-W (2021):** Wykonawczy Program Państwowego Monitoringu Środowiska na rok 2022. Monitoring jakości powietrza. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa 2021
- PMŚ-W (2020):** Wykonawczy Program Państwowego Monitoringu Środowiska na rok 2021. Monitoring jakości powietrza. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa 2020
- PMŚ-W (2020):** Wykonawczy Program Państwowego Monitoringu Środowiska na rok 2020. Monitoring jakości powietrza. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa 2020
- PMŚ (2020):** Strategiczny Program Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 2020-2025. Główny Inspektor Ochrony Środowiska, Warszawa 2015
- PMŚ (2015):** Program Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 2016-2020. Główny Inspektor Ochrony Środowiska, Warszawa 2015
- PMŚ (2012):** Program Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 2013-2015. Główny Inspektor Ochrony Środowiska, Warszawa 2012
- PMŚ (2009):** Program Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 2010-2012. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa 2009
- Ustawa Poś:** ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska (t.j. Dz. U. 2025 r., poz. 647)
- RMŚ (2020):** Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 11 grudnia 2020 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (t. j. Dz. U. 2024 poz. 870)
- PN-EN 15852:** Jakość powietrza atmosferycznego. Standardowa metoda oznaczania rtęci gazowej całkowitej
- PN-EN 15853:** Jakość powietrza atmosferycznego. Standardowa metoda oznaczania depozycji rtęci
- UNECE (1998):** Protocol to the 1979 Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution on Heavy Metals (The Aarhus Protocol), United Nations Economic Commission for Europe, Geneva, Switzerland
- UNEP (2017):** Minamata Convention on Mercury, United Nations Environment Programme, Geneva, Switzerland

**Bazy danych i model:**

**Baza GIOŚ:** Bank danych pomiarowych GIOŚ JPOAT3.0

**Baza IMGW-PIB:** Dane publiczne IMGW-PIB

**Baza EEA1:** The European air quality database. AirBase+

**Baza EEA2:** Air Quality e-Reporting (AQ e-Reporting)

**Baza EMEP:** ebas

**Baza CEIP:** *EMEP/CEIP 2025 Emissions as used in EMEP models;*

[emep.emissions@umweltbundesamt.at](mailto:emep.emissions@umweltbundesamt.at) - baza danych emisyjnych EMEP

wersja open-source modelu GLEMOS (v2.2.2): <https://github.com/glemos-model>