



Główny Inspektorat Ochrony Środowiska

**Ocena zanieczyszczenia powietrza rtęcią
na stacjach tła regionalnego w Polsce
za 2022 rok**

Warszawa, 2023

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, Marcin Syrzycki.

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

Spis treści

1. Wprowadzenie	3
2. Przyjęte w opracowaniu założenia, kryteria i oznaczenia.....	4
3. Rtęć w środowisku	9
4. Monitoring rtęci w atmosferze w Polsce	12
4.1. Opis stacji	12
4.2. Metodyka pomiarów	14
5. Emisja	16
5.1. Źródła emisji rtęci.....	16
5.2. Produkcja i wykorzystanie rtęci.....	17
5.3. Emisja rtęci w krajach Unii Europejskiej.....	18
5.4. Struktura emisji rtęci w Polsce	20
6. Charakterystyka warunków meteorologicznych	22
7. Ocena zanieczyszczenia atmosfery rtęcią Polsce.....	27
7.1. Zanieczyszczenie powietrza rtęcią	27
7.2. Depozycja rtęci do podłoża	34
8. Ocena zanieczyszczenia atmosfery rtęcią w Europie	38
8.1. Zanieczyszczenie powietrza rtęcią	39
8.2. Depozycja rtęci do podłoża	41
9. Modelowanie	45
9.1. Zanieczyszczenie powietrza rtęcią	45
9.2. Depozycja rtęci do podłoża	46
10. Podsumowanie	50
11. Bibliografia.....	52

1. Wprowadzenie

Niniejsze opracowanie wykonane zostało w Instytucie Ochrony Środowiska – Państwowym Instytucie Badawczym w Warszawie, w ramach realizacji umowy GIOŚ/157/2023/DMŚ z dnia 29.05.2023 r. zawartej pomiędzy Instytutem a Głównym Inspektorem 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). Opracowania te wykonane na podstawie umów z Głównym Inspektorem Ochrony Środowiska są dostępne na stronie Inspektoratu pod adresem <http://powietrze.gios.gov.pl>.

Zakres niniejszego opracowania, podobnie jak wcześniejszych, obejmuje ocenę wyników pomiarów rtęci w powietrzu atmosferycznym oraz depozycji rtęci do podłoża wykonywanych w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska (PMŚ). Zakres i sposób prowadzenia analiz zanieczyszczenia powietrza rtęcią na poziomie tła regionalnego wynika z zapisów Wykonawczego Programu Państwowego Monitoringu Środowiska na rok 2022 (pomiar) i na rok 2023 (raport), dotyczących monitoringu jakości powietrza. Przedstawione opracowanie jest elementem realizacji jednego z zadań związanych z badaniem i oceną stanu zanieczyszczenia powietrza, umieszczonego w Programie PMŚ pod nazwą „Pomiary składu pyłu zawieszonego PM₁₀ i PM_{2,5}, rtęci w stanie gazowym oraz depozycji metali ciężkich i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) na stacjach monitoringu tła regionalnego” (PMŚ, 2015; PMŚ, 2021; PMŚ, 2022).

Podstawę opracowania stanowią wyniki pomiarów prowadzonych na stacjach tła regionalnego PMŚ. Głównym celem opracowania było przeprowadzenie oceny stopnia zanieczyszczenia powietrza i opadów rtęcią na stacjach tła regionalnego w Polsce w ostatnich 13 latach (okres 2010-2022). W opracowaniu zawarto charakterystykę 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 poddano weryfikacji i ocenie. Przyjęte kryteria selekcji danych są zgodne z obowiązującymi przepisami prawnymi. Na stacji w Granicy uzyskano mniejszą kompletność danych (79%), ale uznano, że braki nie wpłynęły na zaburzenie serii, szczególnie na stosunek liczby danych w sezonie chłodnym i ciepłym. W opracowaniu skupiono się przede wszystkim na ocenie trendów wyników uzyskanych na poszczególnych stacjach w latach 2010-2022 ze szczególnym zwróceniem uwagi na zmiany w ostatnich 2 latach (2022 w odniesieniu do roku poprzedniego) oraz w roku 2022 na tle wielolecia 2010-2021.

W przypadku oceny wykonanej dla Europy, analizy przeprowadzono dla ostatnich dostępnych danych pochodzących z okresu 2010-2021. 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).

Dla depozycji, w przypadkach rozbieżności wyników zawartych w bazach EAŚ i EMEP dla danej stacji, 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, 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 osłonowych 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, 2023) oraz Główny Urząd Statystyczny (GUS, 2022). 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. zmieniającym rozporządzenie w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (RMS, 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 2010-2022 były wyniki pomiarów temperatury i wysokości opadu atmosferycznego prowadzonych na tzw. stacjach osłonowych (stacjach prowadzonych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy): 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 z inwentaryzacji emisji wykonanej na poziomie krajowym w odniesieniu do roku 2021.

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, umożliwiający 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)* – w niniejszym opracowaniu nazywane „kryterium selekcji danych”. 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 2010-2021 prowadzono pomiary rtęci (ostatnie dostępne dane w bazie europejskiej są z roku 2021), spełniające przyjęte kryteria selekcji danych. Podstawą analizy wyników pomiarów stężeń były zasoby bazy AirBase (do której, za pośrednictwem GIOŚ, regularnie wprowadzane są również 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 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 obliczano 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 (Republika Czeska)
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 - 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 Hg^0 (rtęć pierwiastkowa), Hg^{1+} (związki rtęciawe) i 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 HgCl_2 , chlorku rtęciawego, tzw. kalomelu Hg_2Cl_2 , octanu rtęci $\text{Hg}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, siarczku rtęci HgS , siarczanu rtęci HgSO_4 , azotanu rtęci $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ oraz tlenku rtęci HgO ;
- Hg organiczna występuje w postaci monometylortęci MeHg i dimetylortęci Me_2Hg (Gworek, 2013).

Stężenie rtęci w powietrzu zależy od stopnia lotności jej związków. Ilość odparowanej rtęci podwaja się wraz ze wzrostem temperatury o 10°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 Hg^0 są:

- reakcja z ozonem 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 (pg/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 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 (Hg^0)- 6 do 18 miesięcy;
- związki chemiczne rtęci w formie utlenionej (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/m³. 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/m³ całkowitej rtęci gazowej. Zawartość rtęci w powietrzu na Antarktydzie była niższa niż tło światowe i w latach 2007-2011 wynosiła ok. 0,93 ng/m³ (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., w ramach Konwencji w sprawie transgranicznego zanieczyszczenia powietrza na dalekie odległości (CLRTAP), 33 europejskie i północnoamerykańskie kraje podpisały Protokół z Aarhus w sprawie metali ciężkich (UNECE, 1998). 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 wydobycie 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/WE¹, 2004/107/WE² i 2015/1480³ pomiary zanieczyszczenia powietrza rtęcią i depozycji całkowitej (podobnie jak innych metali ciężkich i 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, jako odrębne zadanie, został również uwzględniony w obowiązującym w okresie dokonywanej oceny Programie Państwowego Monitoringu Środowiska (PMŚ, 2012; PMŚ, 2015; PMŚ, 2020). 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:

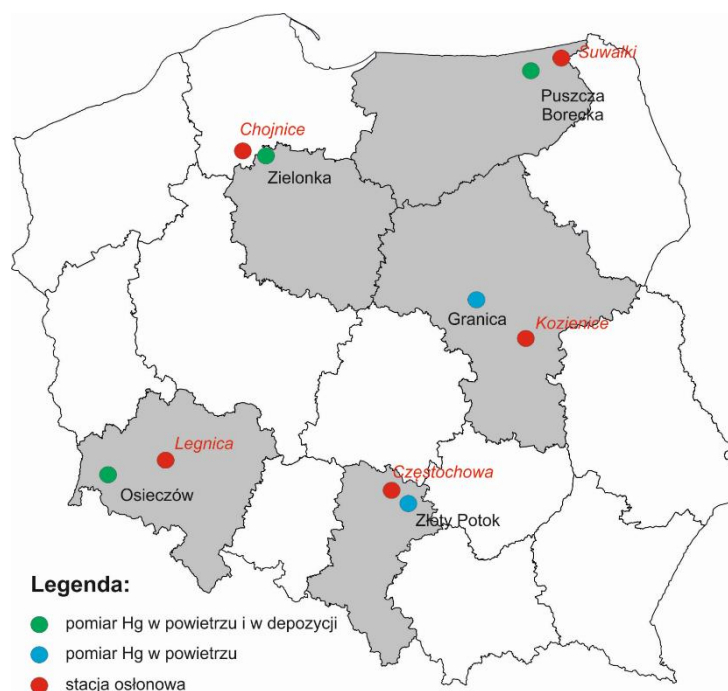
- Granica (województwo mazowieckie),
- Osieczów (województwo dolnośląskie),
- Puszcza Borecka (województwo warmińsko-mazurskie),
- Zielonka (województwo kujawsko-pomorskie),
- Złoty Potok (województwo śląskie).

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

¹Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy (KE, 2008)

²Dyrektywa 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)

³Dyrektywa 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 (KE, 2015)



Rys. 4.1. Lokalizacja stacji tła regionalnego oraz osłonowych stacji meteorologicznych
(źródło danych: PMŚ/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 2010-2022 (rozdział 5). W tabeli zaznaczono również elementy programu pomiarowego realizowanego w roku 2022.

Tab.4.1. Podstawowe informacje o stacjach tła regionalnego w Polsce (źródło danych: PMŚ/IMGW-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 i 2021 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 stanowią 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). Seria pomiarowa z 2021 roku, ze względu na problemy techniczne i wykorzystywanie dwóch różnych analizatorów (zastępczego w czasie naprawy pracującego rutynowo), nie była prezentowana w ubiegłorocznym raporcie. Jednak w 2022 roku uzyskano bardzo zbliżone stężenia i identyczny ich przebieg.

W tabeli 4.2 zestawiono informacje o metodach pomiarów stężeń całkowitej rtęci gazowej stosowane przez stacje tła regionalnego w 2022 roku.

Tab. 4.2. Informacje o metodach pomiaru stężenia całkowitej rtęci gazowej na stacjach tła regionalnego w Polsce w 2022 (źródło danych: GIOŚ, 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 metodach pobierania próbek depozycji rtęci na stacjach tła regionalnego w Polsce
(źródło danych: GIOŚ, 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 ³	0,5 dm ³	5 dm ³
Materiał, z którego wykonane są butle i lej	szkło kwarcowe	szkło borokrzemowe	szkło kwarcowe
Temperatura próbek w aparacie	+4 do +6 °C	otoczenia (zimną 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 ₃	utrwalanie HNO ₃	utrwalanie HCl+bromek-bromian potasu

Tab. 4.4. Informacje metodach pomiaru depozycji rtęci na stacjach tła regionalnego w Polsce
(źródło danych: GIOŚ, 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.

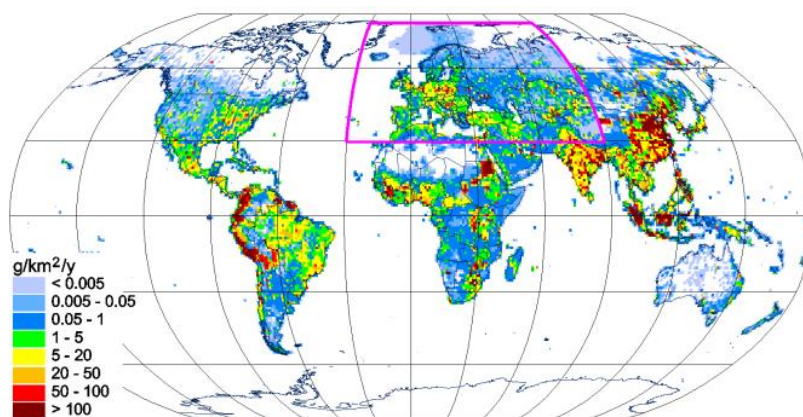
Źródła antropogeniczne:

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

Rozkład przestrzenny emisji rtęci na świecie, wykorzystywany w obliczeniach modelowych wykonywanych przez Meteorologiczne Centrum Syntetyzujące – Wschód EMEP pokazano na rys. 5.1.



Rys. 5.1. Rozkład przestrzenny emisji rtęci w świecie w roku 2021 [g/km^2] (siatka $1^\circ \times 1^\circ$) wykorzystywany w obliczeniach modelowych MSC-E EMEP. Różową linią zaznaczono granice domeny EMEP (źródło: EMEP Status Report 2/2023)

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.

Rzemieśnicze wydobywanie złota w małej skali 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.

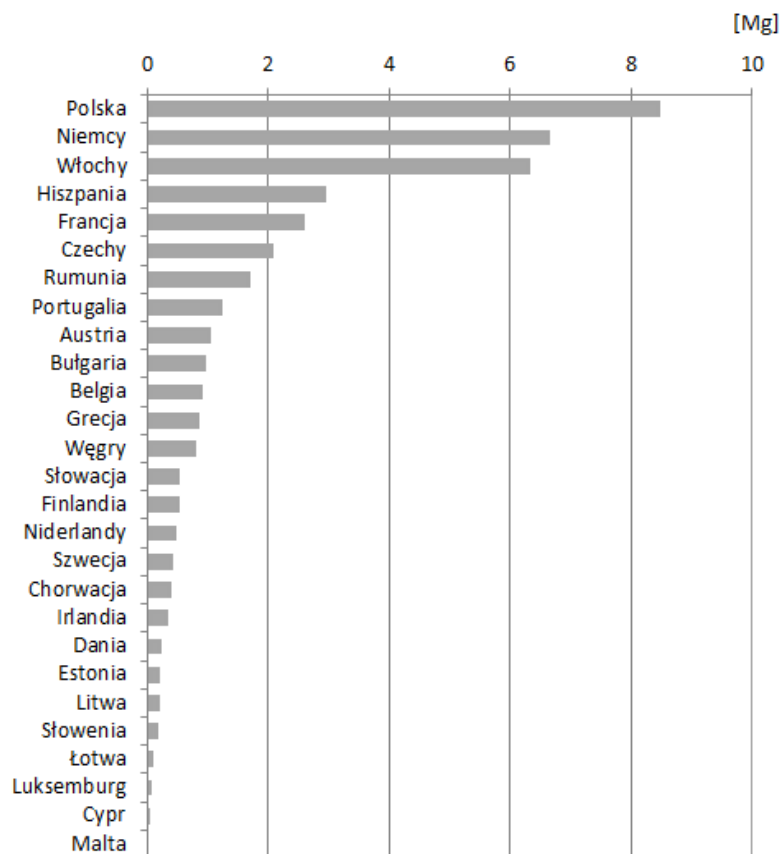
W Europie podjęto działania zmierzające do zakończenia używania rtęci w procesach przemysłowych i produktach. Nie używa się jej w małych kopalniach złota (poza Gujaną Francuską, stanowiącą terytorium Francji) a przy produkcji chlorku winylu stosowano ją tylko w jednej fabryce na Słowacji, gdzie planowano zaprzestać jej używania do roku 2022.

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.

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

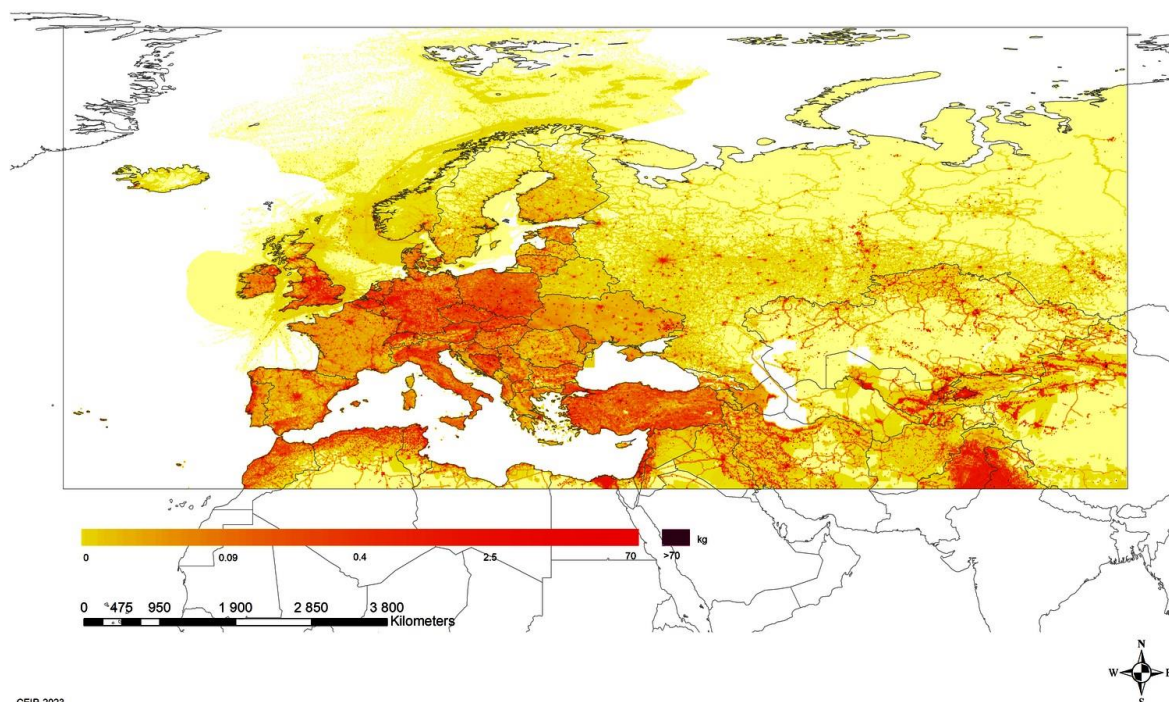
Według danych gromadzonych w ramach *Konwencji w sprawie transgranicznego zanieczyszczenia powietrza na dalekie odległości (Konwencja LRTAP)*, w 27 krajach Unii Europejskiej w 2021 roku wyemitowano ze źródeł antropogenicznych 40,3 Mg rtęci (ostatnie dostępne dane raportowane przez kraje-strony Konwencji, wykorzystywane do obliczeń modelowych). Wśród krajów o największej emisji rtęci znajdują się: Polska, Niemcy, Włochy, Hiszpania, Francja, Czechy, Rumunia i Portugalia. Z krajów tych pochodziło w sumie blisko 78% rtęci wyemitowanej w roku 2021 na obszarze UE27. Warto zaznaczyć, że ponad połowę rtęci pochodzącej z Unii Europejskiej wyemitowały pierwsze 3 kraje w tym rankingu, a wśród nich znajduje się Polska. Znacząca emisja pochodzi z Wielkiej Brytanii, która już nie jest uwzględniana w zestawieniu dla krajów Unii Europejskiej. Najmniejszą emisję rtęci odnotowano w najmniejszych krajach: na Łotwie, w Luksemburgu, na Cyprze i na Malcie (Rys. 5.2). W stosunku do roku 2010 we wszystkich krajach, poza Łotwą, Bułgarią, Austrią i Węgrami odnotowano spadek emisji, co spowodowało, że sumaryczna emisja rtęci na obszarze Unii Europejskiej (przy uwzględnieniu 27 krajów) była o blisko ponad 45% mniejsza.



Rys. 5.2. Wielkości emisji rtęci w 27 krajach Unii Europejskiej w roku 2021 [Mg]
(źródło danych: <http://webdab01.umweltbundesamt.at>)

Emisja z 27 krajów Unii Europejskiej w 2021 roku stanowiła 26,8% emisji całkowitej z domeny EMEP, czyli obszaru objętego *Konwencją LRTAP* – Europy, Centralnej Azji i Kaukazu. Udział ten był mniejszy niż w roku 2010, gdy wyniósł 34,2%. Udział Polski w emisji z Unii Europejskiej w 2021 roku wynosił 21,1% (wzrost w stosunku do roku 2010 o 1,1 punktu procentowego), a w emisji z domeny EMEP –5,6% (spadek o 1,2 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 Polsce, w Niemczech, w północnych Włoszech, a spośród innych krajów – w Wielkiej Brytanii, Serbii, Bośni i Hercegowinie oraz w Turcji (Rys. 5.3).



CEIP-2023

Rys. 5.3. Rozkład przestrzenny emisji rtęci w domenie EMEP w roku 2021[kg] (siatka $0,1^\circ \times 0,1^\circ$)
(źródło: 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, 2023). Dane są prezentowane 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 zanieczyszczania powietrza na dalekie odległości (CLRTAP) oraz do Unii Europejskiej 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 2021 krajowa emisja rtęci wyniosła 8,49 Mg; w stosunku do emisji z poprzedniego roku była ona o 11,3% większa.

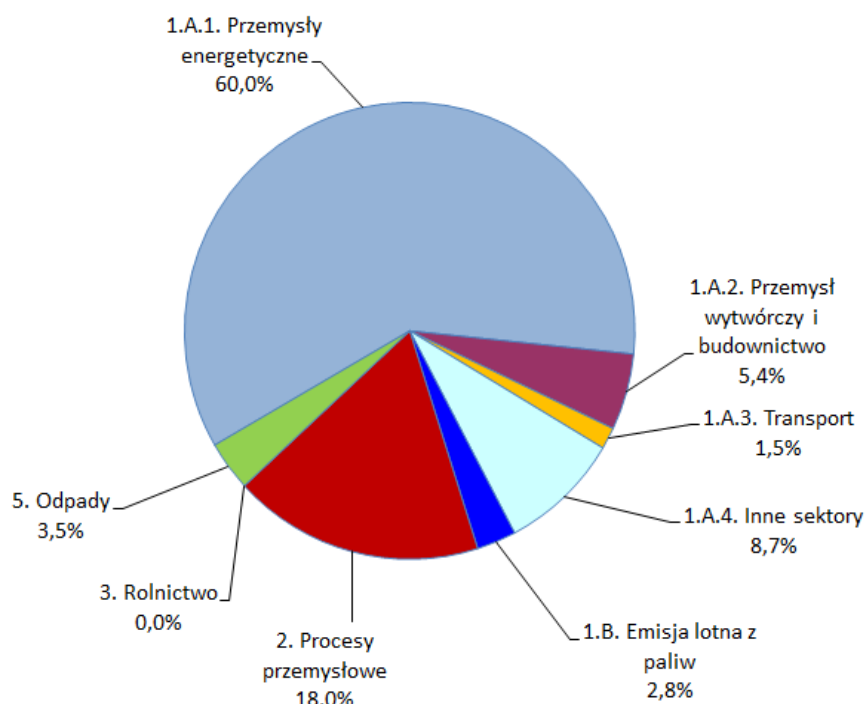
W tabeli 5.1. zestawiono wielkości emisji rtęci z głównych sektorów NFR w roku 2021.

Tab. 5.1. Emisja rtęci w Polsce z głównych sektorów (NFR) w roku 2021 (źródło danych: MKiŚ, KOBiZE, 2023)

Źródła emisji	Hg
	[Mg]
1. Energia	6,66
A. Spalanie paliw	6,42
1. Przemysły energetyczne	5,09
2. Przemysł wytwórczy i budownictwo	0,46
3. Transport	0,13
4. Inne sektory	0,74
B. Emisja lotna z paliw	0,24
1. Lotna emisja z paliw stałych	0,11
2. Lotna emisja z systemu gazu ziemnego i ropy naftowej	0,13
2. Procesy przemysłowe	1,53
A. Produkty mineralne	0,29
B. Przemysł chemiczny	0,00
C. Produkcja metali	1,03
D. Stosowanie rozpuszczalników i innych produktów	0,21
G. – L. Inne	0,00
3. Rolnictwo	0,00
B. Nawozy naturalne	0,00
D. Gleby rolne	0,00
F. Spalanie resztek roślinnych	0,00
5. Odpady	0,30
A. Składowiska odpadów stałych	0,00
C. Spopielanie i otwarte spalanie odpadów	0,30
D. Gospodarka ściekami	0,00
E. Inne	0,00
Suma	8,49

Udział emisji z poszczególnych sektorów w emisji krajowej rtęci w 2021 roku zaprezentowano na rysunku 5.4.

Dominującym źródłem emisji rtęci jest spalanie paliw w sektorze 1A1. *Przemysły energetyczne*. W roku 2021 z tego sektora pochodziło 60,0% rtęci. Na kolejnych miejscach – ze znacznie mniejszym udziałem w całkowitej emisji Hg – znalazły się: *Procesy przemysłowe* (18,0%), następnie *Inne sektory* (gdzie mieszczą się instytucje, handel, usługi, gospodarstwa domowe, spalanie paliw w rolnictwie, leśnictwie i rybołówstwie) (8,7%) oraz *Przemysł wytwórczy i budownictwo* (5,4%) oraz *Odpady* (3,5%). W dalszej kolejności znalazły się kategorie: *Emisja lotna z paliw* (2,8%) i *Transport* (1,5%). Emisja z pozostałych sektorów była pomijalnie mała.



Rys. 5.4. Główne sektory emisji rtęci w Polsce w 2021 roku (źródło danych: MKiŚ, KOBiZE, 2023)

Biorąc pod uwagę emisję rtęci w roku 2021 z zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza można stwierdzić, że 47,6% emisji krajowej z tego typu zakładów miało źródło w województwie łódzkim (główne źródło - elektrownia w Bełchatowie). Na kolejnych miejscach znalazły się województwa: dolnośląskie (19,3% emisji), mazowieckie (7,6%), śląskie (5,9%) i świętokrzyskie (5,6%). Listę zamykają województwa pomorskie i podlaskie (odpowiednio 0,31% i 0,27% emisji rtęci z zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza w Polsce); brak danych dla województwa lubuskiego i warmińsko-mazurskiego (GUS, 2022).

6. Charakterystyka warunków meteorologicznych

W niniejszym rozdziale przedstawiono podstawowe informacje dotyczące zmienności wybranych wielkości meteorologicznych w roku 2022 na tle okresu 2010-2021 i roku poprzedniego. 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

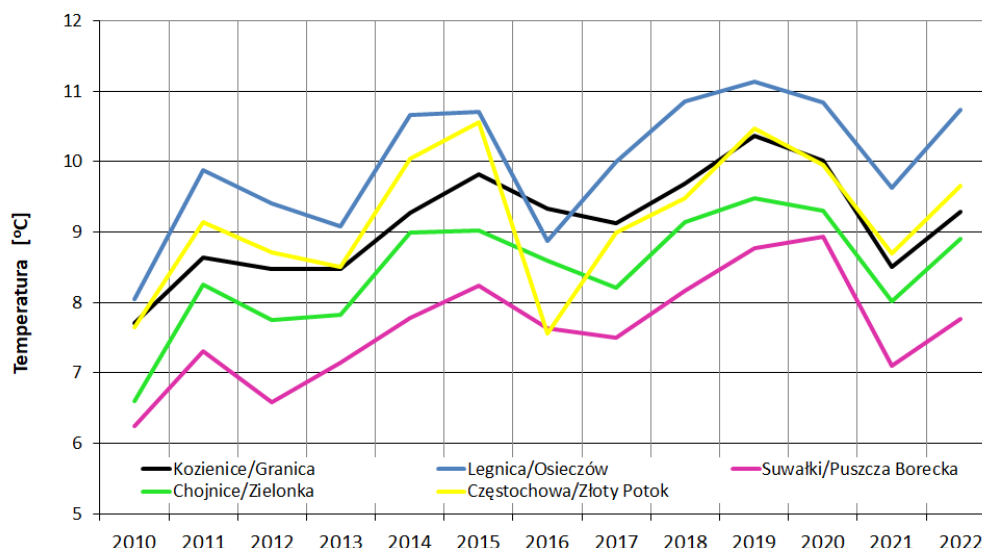
Temperatura powietrza jest głównym parametrem meteorologicznym mającym bezpośredni i pośredni wpływ na obserwowane stężenia rtęci w powietrzu. W sezonie chłodnym, przy niskich temperaturach powietrza zwiększa się zapotrzebowanie na ciepło i tym samym wzrasta emisja rtęci w wyniku produkcji energii pochodzącej 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 2022 średnia roczna temperatura powietrza na wszystkich uwzględnionych w opracowaniu stacjach była zdecydowanie wyższa w stosunku do średniej z wielolecia 2010- 2021 oraz w stosunku do wartości z roku poprzedniego (Tab. 6.1). Na wszystkich stacjach temperatura była wyższa o około 10% w stosunku do roku poprzedniego, natomiast względem średniej z okresu wcześniejszego - wyższa i bardziej zróżnicowana - od około 2% do 8%. W północno-wschodniej Polsce (Suwałki/Puszcza Borecka) wartości temperatury były, jak zwykle, najniższe a w południowo-zachodniej Polsce (Legnica/Osieczów) - najwyższe.

Tab. 6.1. Średnie roczne temperatury w latach 2010-2022 i ich względne zmiany; wyniki ze stacji ośłonowych dla wymienionych stacji tła regionalnego (źródło danych: IMGW-PIB)

Parametr	Okres	Stacja				
		Granica	Osieczów	Puszcza Borecka	Zielonka	Złoty Potok
Temperatura [°C]	2021	8,5	9,6	7,1	8,0	8,7
	2022	9,3	10,7	7,8	8,9	9,7
	2010-2021	9,1	9,9	7,6	8,4	9,1
Różnica względna [%]	2022/2021	9,3%	11,5%	9,4%	11,1%	11,0%
	2022/(2010-2021)	1,9%	8,2%	2,0%	5,6%	5,6%

Rok 2022 pod względem termicznym był jednym z najcieplejszych okresów w Polsce w rozważanym 13-leciu. Niewątpliwie najchłodniejszym okresem w rejonach omawianych stacji był rok 2010, po którym temperatury były już tylko wyższe (Rys.6.1). Można zauważyć, że w latach 2010-2022 tendencja zmian temperatury na wszystkich stacjach jest dodatnia, o średnim wzroście $1,4^{\circ}\text{C}/10$ lat (przy współczynniku korelacji $R^2=0,36$).



Rys. 6.1. Średnie roczne wartości temperatury powietrza w latach 2010-2022 w rejonach stacji tła regionalnego (źródło danych: IMGW-PIB)

Podsumowując można stwierdzić, że rok 2022 należał statystycznie do najcieplejszych okresów w wieloleciu. Na takie warunki miały wpływ względnie ciepłe miesiące zimowe: styczeń, luty oraz ciepłe miesiące letnie, z których najcieplejszy był sierpień.

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.

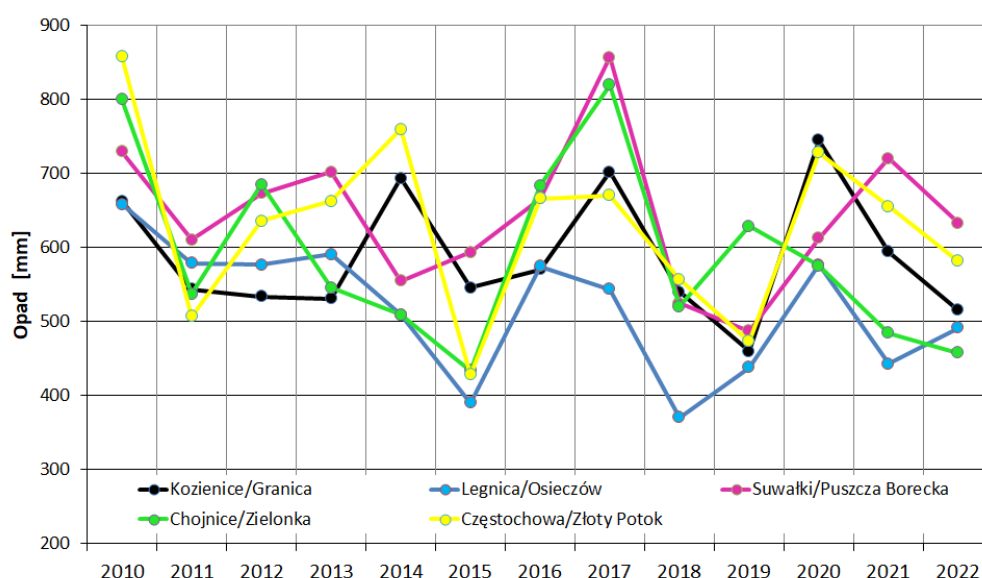
W 2022 roku sumaryczna wysokość opadu w rejonach większości stacji była niższa w stosunku do wartości z roku poprzedniego (z wyjątkiem rejonu Osieczowa, gdzie odnotowano wzrost o 11%) (Rys. 6.2). Względne spadki wniósł od 5,5% dla Zielonki do ponad 13% dla Granicy (Tab. 6.2). W stosunku do wartości średniej dla wielolecia (2010-2021) opady w roku 2022 były niższe na wszystkich stacjach, przy czym różnice względne były największe w rejonie stacji Zielonka (-23,9%), a najmniejsze - w rejonie stacji Puszcza Borecka (-1,7%). Stacje Osieczów i Złoty Potok charakteryzowały się, kilkuprocentowym spadkiem sumy opadów względem średnich z wielolecia, a stacja Granica odnotowała kilkunastoprocentowy spadek (Tab. 6.2).

Tab. 6.2. Roczne sumy wysokości opadu w latach 2010-2022 i względne ich zmiany (źródło danych: IMGW-PIB)

Parametr	Okres	Stacja				
		Granica	Osieczów	Puszcza Borecka	Zielonka	Złoty Potok
Wysokość opadu [mm]	2021	594,0	442,1	720,0	484,2	655,1
	2022	515,2	490,8	632,6	457,4	581,2
	2010-2021	593,0	520,2	643,8	601,4	633,1
Różnica względna [%]	2022/2021	-13,3%	11,0%	-12,1%	-5,5%	-11,3%
	2022/(2010-2021)	-13,1%	-5,7%	-1,7%	-23,9%	-8,2%

W roku 2022 przeważały, jak zwykle, opady w ciepłej połowie roku, ale w chłodnej połowie roku notowano także względnie wysokie opady. W rejonach większości stacji tła regionalnego najwyższe opady wystąpiły w lipcu, przekraczając niejednokrotnie 100% średniej wartości przeciętnej w wieloleciu. W okresie ciepłej zimy wystąpiły ponad przeciętne opady przeważnie w postaci deszczu. Najbardziej ubogim w opady okresem na większości stacji był marzec, a nie kwiecień, jak bywało w ostatnich latach. W okresie 2010-2022 obserwowano słabo zaznaczoną tendencję spadkową opadów uśrednionych dla wszystkich analizowanych stacji (71mm/10 lat przy $R^2=0,1$), do czego przyczyniły się przede wszystkim lata o najniższych opadach: 2015 i 2018.

Cechą charakterystyczną warunków opadowych w roku 2022 był spadek sumy opadów względem średniej z okresu 2010-2021 w rejonach wszystkich stacji tła regionalnego oraz spadek sumy opadów w stosunku do poprzedniego roku na wszystkich stacjach, poza Osieczowem.



Rys. 6.2. Sumy roczne wysokości opadu w latach 2010-2022 w rejonach stacji tła regionalnego (źródło danych: IMGW-PIB)

Warunki termiczno-opadowe

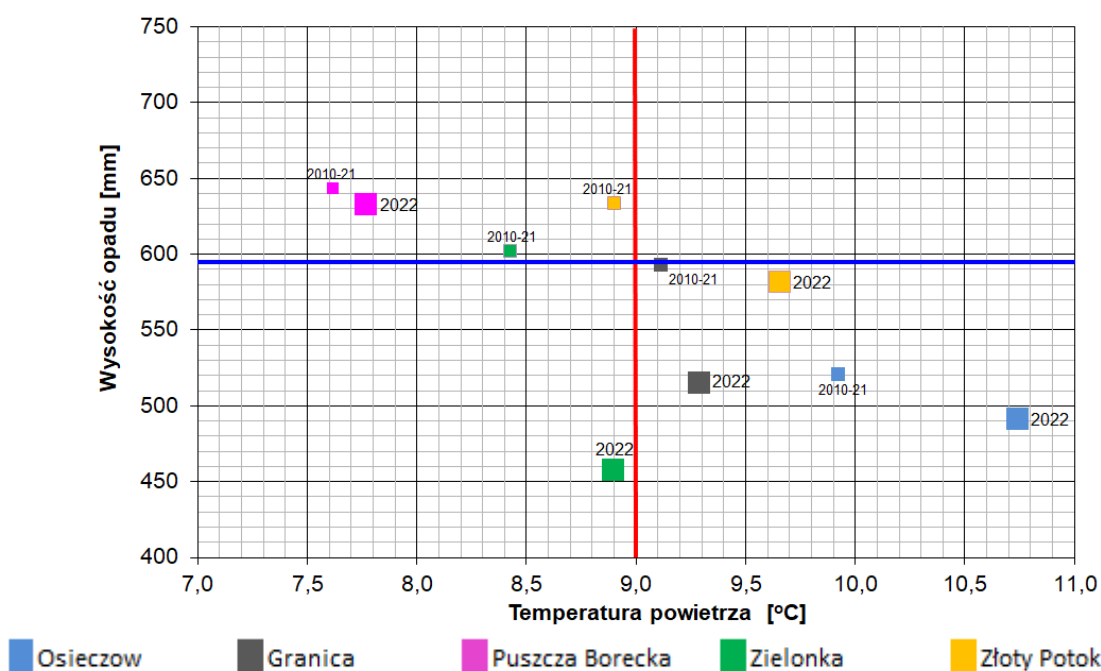
Charakterystykę warunków termiczno-opadowych dla rejonu każdej stacji w okresie 2010-2022 przedstawiono na rysunku 6.3. Linie pionową i poziomą wyznaczono na podstawie wartości średnich obliczonych dla wszystkich stacji osłonowych z okresu analizowanych 13 lat, odpowiednio dla temperatury powietrza (kolor czerwony) i sumarycznych wysokości opadów (kolor niebieski). Punkt przecięcia się tych linii wyznacza przeciętne wartości rocznej temperatury powietrza i rocznej sumy wysokości opadu.

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 przestrzeni i czasie elementów meteorologicznych. Stąd też wysokości opadów na stacjach osłonowych

i na stacjach tła mogą się różnić. Różnice te mogą być pogłębione z powodu stosowania innej metody pomiaru. Na osłonowych stacjach meteorologicznych IMGW-PIB stosowane są deszczomierze umieszczone na wysokości 1 m n.p.g., natomiast na stacjach tła - kolektory opadu o większej powierzchni wlotu opadu, umieszczone na wysokości 1,5 m n.p.g.

Najcieplejszym spośród omawianych obszarem Polski w roku 2022 był, jak zwykle, rejon stacji Osieczów, zaś najchłodniejszym - rejon stacji Puszcza Borecka, jak najczęściej bywało w poprzednich latach.

Opady w 2022 roku, o dość zróżnicowanej wysokości, były na ogół niższe niż w roku poprzednim (z wyjątkiem rejonu stacji Osieczów) i niższe od średnich w okresie 2010-2021. Najwyższe opady wystąpiły w rejonie stacji Puszcza Borecka, a najniższe - w rejonie stacji Zielonka.



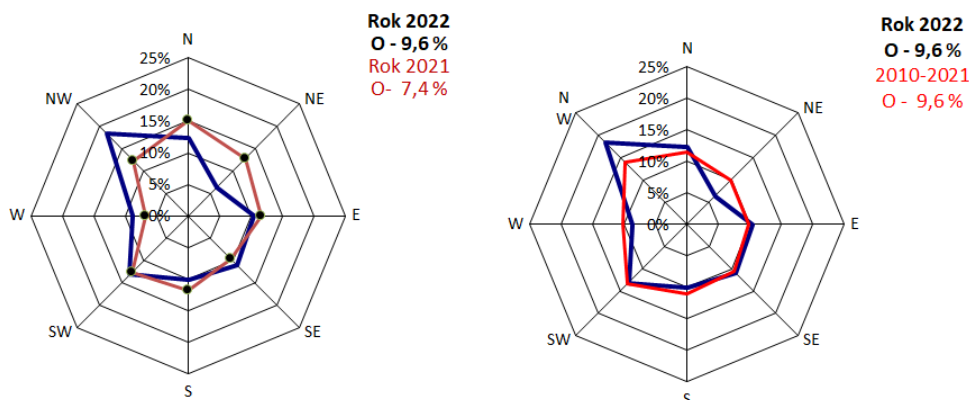
Rys. 6.3. Charakterystyka warunków termiczno-opadowych w latach 2010-2022 dla uśrednionych wartości temperatury i wysokości opadu dla stacji osłonowych 5 stacji tła regionalnego (źródło danych: IMGW-PIB)

Podobnie, jak we wcześniejszych latach w roku 2022 najchłodniejszym i najbogatszym w opady rejonem był obszar wokół stacji Puszcza Borecka, natomiast najcieplejszym i jednocześnie ubogim w opady był rejon stacji Osieczów. Najbardziej zbliżonym do przeciętnych warunków meteorologicznych pod względem temperatury i wysokości opadów był rejon stacji Granica.

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 niż mierzone na stacjach kierunki wiatru na wysokości 10 m n.p.g., uwarunkowane m.in. orografią terenu.

W roku 2022 nad Polskę najczęściej napływały masy powietrza z kierunku północno-zachodniego (ok. 18%), a najrzadziej z południowo-wschodniego (ok. 6%). W latach ubiegłych masy powietrza napływały najczęściej z sektora zachodniego (SW-W-NW do 13%), natomiast najrzadziej napływało powietrze z sektora wschodniego (NE-E-SE po około 10%). Przeciętna była częstość występowania cyrkulacji typu „0”. Dla kierunków: E i SE obserwowane są słabe tendencje spadkowe częstości występowania, natomiast dla kierunków: N, S i NW - słabe tendencje wzrostowe



Rys. 6.4. Częstość występowania poszczególnych kierunków cyrkulacji atmosferycznej w 2022 roku na tle wartości z roku 2021 i okresu 2010-2021 (źródło danych: IMGW-PIB)

Podsumowując można stwierdzić, że cechą charakterystyczną napływu mas powietrza nad stację tła regionalnego w 2022 roku była ponad przeciętna częstość adwekcji z kierunku północno-zachodniego, kosztem adwekcji z kierunku północno-wschodniego.

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 2010-2022.

7.1. Zanieczyszczenie powietrza rtęcią

Ocenę zanieczyszczenia powietrza rtęcią w postaci gazowej w latach 2010-2022 wykonano na podstawie wyników pomiarów z pięciu stacji tła regionalnego: Granica, Osieczów, Zielonka (Bory Tucholskie), Puszcza Borecka i Złoty Potok. Seria pomiarowa uzyskana na stacji Puszcza Borecka w 2021 r. została unieważniona ze względu na wykorzystywanie dwóch różnych analizatorów (zastępczego w czasie naprawy pracującego rutynowo) i nie jest wykorzystywana w raporcie. 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 2101-2020) i automatycznych (pozostałe stacje w całym analizowanym okresie i Puszcza

Borecka w roku 2022) 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 2022 wskazuje na stosunkowo niskie poziomy rtęci gazowej, zawierające się w granicach od 0,80 do 2,85 ng/m³(Rys. 7.1, Tab. 7.1). Rozpiętość stężeń dobowych Hg w powietrzu atmosferycznym w całym rozważanym okresie ostatnich 13 lat (2010-2022) wyniosła 0,20- 7,09 ng/m³. Uzyskane wyniki świadczą o relatywnie niewielkich zmianach w latach i tym samym o stosunkowo niewielkim zanieczyszczeniu powietrza rtęcią w Polsce (Tab. 7.2).

Tab. 7.1. Średnie roczne i sezonowe oraz maksymalne i minimalne stężenia rtęci w powietrzu atmosferycznym na stacjach tła regionalnego w latach 2010-2022 (źródło danych: PMŚ)

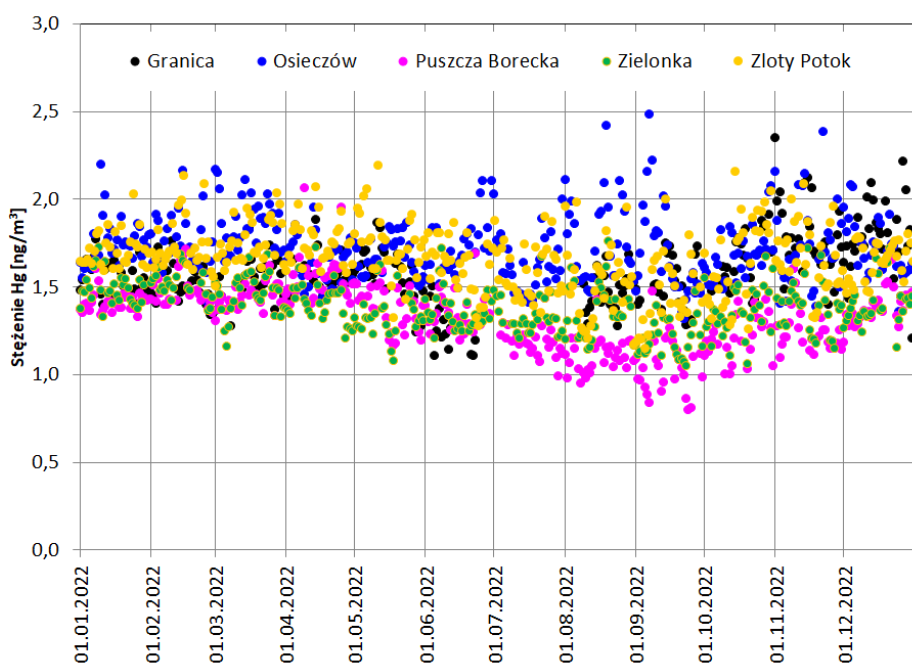
Rok	Stacja	Liczba wyników		Stosunek lato/zima	Stężenie [ng/m ³]				
		Rok	Kompletność		Sa	Slato	Szima	S24min	S24max
2010	Granica	298	81,6%	1,19	1,508	1,369	1,673	0,995	2,554
	Osieczów	320	87,7%	0,77	2,385	1,957	2,715	1,222	6,278
	Puszcza Borecka ^{*)}	53	14,5%	1,04	1,268	0,989	1,558	0,500	4,200
	Zielonka	290	79,5%	0,87	1,675	1,658	1,689	1,117	3,639
	Złoty Potok	284	77,8%	1,49	1,965	1,837	2,155	1,189	4,412
2011	Granica	352	96,4%	1,00	1,524	1,418	1,631	0,929	3,221
	Osieczów	320	87,7%	1,25	2,167	2,099	2,251	1,260	5,336
	Puszcza Borecka ^{*)}	52	14,2%	1,00	1,425	1,520	1,330	0,578	3,029
	Zielonka	332	91,0%	1,05	1,548	1,492	1,608	0,989	2,700
	Złoty Potok	191	52,3%	0,35	1,798	1,747	1,815	1,263	2,528
2012	Granica	340	92,9%	0,98	1,757	1,778	1,736	1,245	3,408
	Osieczów	344	94,0%	1,05	1,658	1,613	1,706	1,044	3,934
	Puszcza Borecka ^{*)}	52	14,2%	1,00	1,593	1,670	1,517	0,892	3,440
	Zielonka	340	92,9%	1,01	1,370	1,274	1,466	0,913	3,105
	Złoty Potok	320	87,4%	1,00	1,825	1,878	1,773	1,217	4,978
2013	Granica	352	96,4%	1,03	1,427	1,354	1,503	0,839	2,826
	Osieczów	288	78,9%	0,87	1,895	1,837	1,945	1,200	4,687
	Puszcza Borecka ^{*)}	52	14,2%	1,00	1,595	1,669	1,522	0,500	2,755
	Zielonka	325	89,0%	0,93	1,854	1,779	1,924	0,883	6,265
	Złoty Potok	301	82,5%	0,81	1,769	1,720	1,809	1,109	3,025
2014	Granica	347	95,1%	1,01	1,198	1,085	1,311	0,812	1,857
	Osieczów	296	81,1%	1,28	1,698	1,678	1,724	0,897	4,292
	Puszcza Borecka ^{*)}	54	14,8%	1,00	1,132	1,141	1,122	0,300	3,000
	Zielonka	290	79,5%	0,85	1,969	1,901	2,027	1,026	7,087
	Złoty Potok	329	90,1%	1,11	1,663	1,571	1,764	1,071	3,175
2015	Granica	335	91,8%	0,95	1,324	1,232	1,412	0,630	2,864
	Osieczów	271	74,2%	1,26	1,748	1,815	1,663	1,075	4,917
	Puszcza Borecka ^{*)}	50	13,7%	1,08	1,444	1,242	1,663	0,600	3,800
	Zielonka ^{**)}	202	55,3%	0,82	-	-	-	0,878	3,071
	Złoty Potok	319	87,4%	1,18	1,804	1,719	1,904	1,176	3,863
2016	Granica	335	91,5%	1,03	1,265	1,189	1,342	0,716	1,977
	Osieczów	334	91,3%	1,15	1,550	1,597	1,495	0,982	4,350
	Puszcza Borecka ^{*)}	51	13,9%	1,04	1,793	1,619	1,974	0,748	3,791
	Zielonka ^{**)}	264	72,1%	1,67	-	-	-	1,030	4,583
	Złoty Potok	361	98,6%	1,01	1,654	1,548	1,761	1,114	3,080
2017	Granica	351	96,2%	0,97	1,395	1,280	1,507	0,903	2,729
	Osieczów	312	85,5%	1,05	1,748	1,847	1,644	1,118	5,258
	Puszcza Borecka ^{*)}	50	13,7%	1,00	1,074	1,076	1,072	0,500	2,400
	Zielonka	268	73,4%	0,56	1,436	1,423	1,443	0,905	3,004

Rok	Stacja	Liczba wyników		Stosunek lato/zima	Stężenie [ng/m ³]				
		Rok	Kompletność		Sa	Slato	Szima	S24min	S24max
	Złoty Potok	355	97,3%	1,03	1,879	1,789	1,970	1,332	4,255
2018	Granica	318	87,1%	0,92	1,283	1,234	1,338	0,824	2,053
	Osieczów	350	95,9%	0,98	1,482	1,466	1,500	1,104	3,599
	Puszcza Borecka ^{*)}	53	14,5%	1,42	1,406	1,654	1,167	0,200	4,400
	Zielonka	319	87,4%	0,90	1,484	1,413	1,568	1,075	3,276
	Złoty Potok	342	93,7%	0,88	1,637	1,533	1,736	1,099	3,042
2019	Granica	328	89,9%	0,92	1,370	1,312	1,423	0,948	2,029
	Osieczów	335	91,8%	1,19	1,490	1,468	1,517	1,003	3,737
	Puszcza Borecka ^{*)}	47	12,9%	1,14	1,760	1,544	2,005	0,800	5,000
	Zielonka	257	70,4%	1,11	1,416	1,401	1,432	0,900	2,141
	Złoty Potok	354	97,0%	1,02	1,679	1,645	1,714	1,120	2,772
2020	Granica	326	89,1%	0,96	1,596	1,512	1,677	1,099	2,146
	Osieczów	364	99,5%	0,99	1,716	1,696	1,737	1,240	3,665
	Puszcza Borecka ^{*)}	53	14,5%	0,89	1,609	1,456	1,746	1,000	3,400
	Zielonka	308	84,2%	1,23	1,605	1,448	1,797	1,158	3,296
	Złoty Potok	358	97,8%	0,98	1,707	1,589	1,822	1,172	2,640
2021	Granica	315	86,3%	1,19	1,578	1,540	1,623	1,230	2,242
	Osieczów	359	98,4%	0,99	1,687	1,650	1,723	1,198	3,403
	Puszcza Borecka ^{***)}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Zielonka	264	72,3%	0,90	1,616	1,504	1,717	1,113	2,788
	Złoty Potok	359	98,4%	1,01	1,737	1,706	1,769	1,330	2,632
2022	Granica	278	76,2%	0,68	1,580	1,498	1,636	1,102	2,348
	Osieczów	364	99,7%	1,01	1,717	1,686	1,749	1,313	2,850
	Puszcza Borecka	342	93,7%	1,00	1,314	1,266	1,362	0,796	2,062
	Zielonka	347	95,1%	1,01	1,381	1,333	1,429	1,043	1,759
	Złoty Potok	362	99,2%	1,00	1,658	1,615	1,700	1,148	2,190

^{*)} cykliczne pomiary okresowe

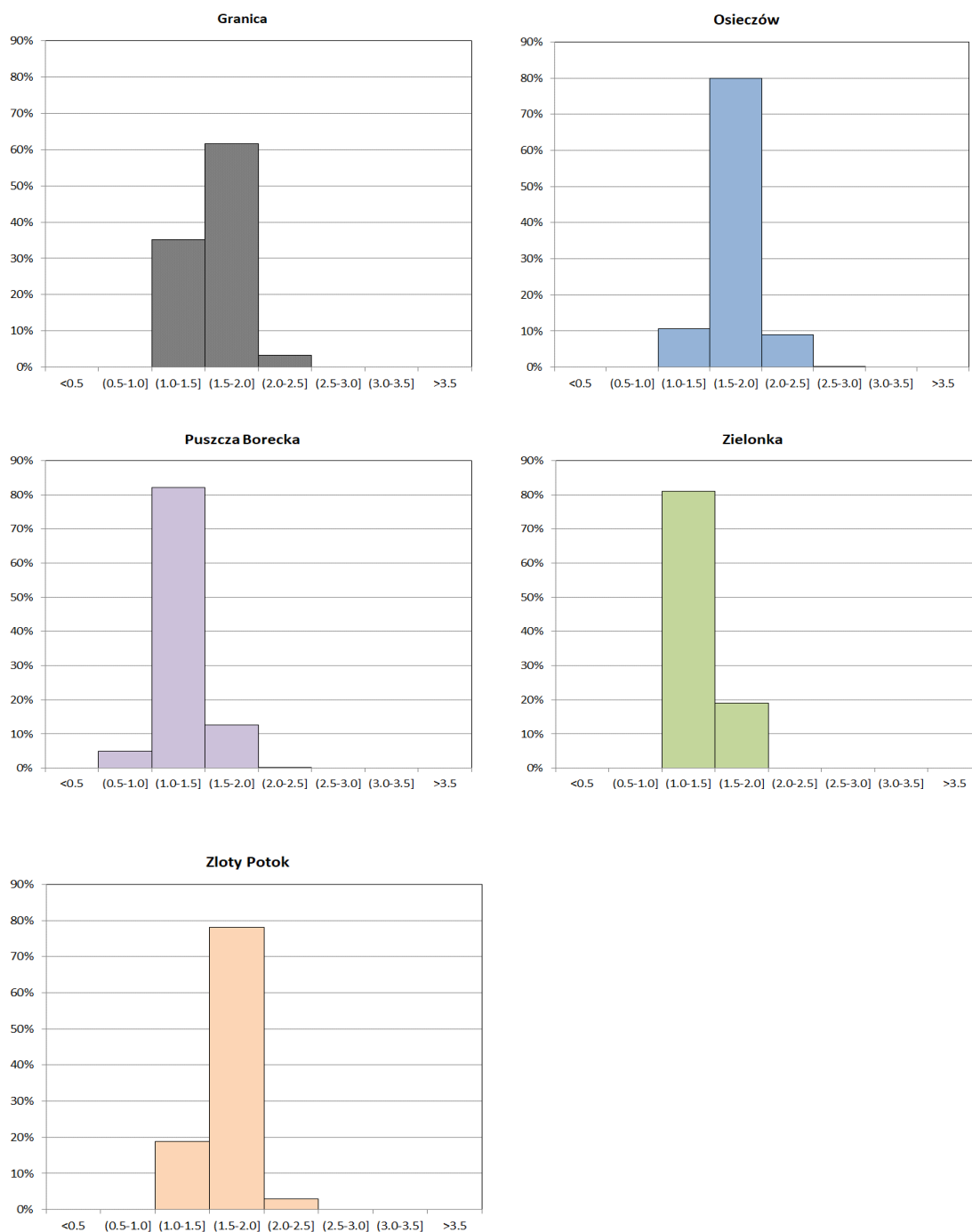
^{**)} seria niespełniająca kryterium wystarczającej kompletności serii oraz równomiernego rozłożenia wyników w ciągu roku, by można było obliczyć parametry statystyczne (seria nieuwzględniona w analizach)

^{***)} seria unieważniona



Rys. 7.1. Przebieg średnich dobowych stężeń Hg w powietrzu na stacjach tła regionalnego w roku 2022
(źródło danych: PMS)

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

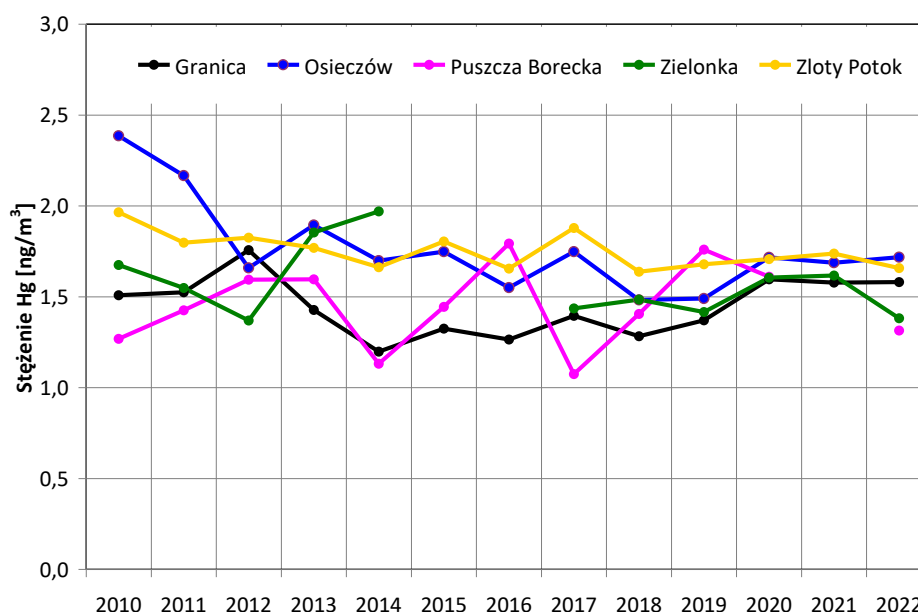


Rys. 7.2. Histogramy rozkładu średnich dobowych stężeń całkowitej rtęci w powietrzu na stacjach tła regionalnego w roku 2022 (źródło danych: PMŚ)

W 2022 roku podobne rozkłady stężeń uzyskano na stacjach Osieczów i Złoty Potok, gdzie zdecydowana większość wartości stężeń zawierała się w granicach 1,5-2,0 ng/m³. Nieco inaczej stężenia układały się na stacjach Zielonka i Puszcza Borecka, gdzie największy udział w przebiegu stężeń miały wartości w granicach 1,0-1,5 ng/m³, a następnie, ze znacznie mniejszym udziałem plasowały się wartości z przedziału 1,5-2,0 ng/m³ (Rys. 7.2). Obraz

dla stacji Granica był pośredni – dominowały wyniki z przedziału 1,5-2,0 ng/m³, ale udział wartości z przedziału 1,0-1,5 ng/m³ był również znaczący. Podobne zależności obserwowano w latach wcześniejszych.

Analiza wyników średnich rocznych obliczonych na podstawie stężeń średnich dobowych pokazuje, że najwyższe stężenia rtęci w powietrzu w 2022 roku uzyskano na stacjach Osieczów (powyżej 1,7 ng/m³) i Złoty Potok (blisko 1,7 ng/m³). Na stacji Granica średnie stężenie wynosiło 1,6 ng/m³, a na stacjach Puszcza Borecka i Zielonka uzyskano podobne wartości na poziomie 1,3– 1,4 ng/m³. Największą rozpiętość stężenia pomiędzy maksymalną a minimalną wartością dobową w roku 2022 zaobserwowano na stacji w Osieczowie (1,54 ng/m³), nieco mniejsze w Granicy (1,47 ng/m³) i Puszczy Boreckiej (1,27 ng/m³), zaś najniższe na stacji w Zielonce (0,72 ng/m³). Na wszystkich stacjach w roku 2022 odnotowano wyższe stężenia zimą. Przeciętne różnice stężeń obserwowane w sezonach ciepłym i chłodnym nie były wysokie i na ogół nie przekraczały 0,1 ng/m³ (poza stacją w Granicy dla serii mniejszej kompletności). Najmniejszą rozpiętość pomiędzy sezonami obserwowano na stacji Osieczów - na poziomie 0,06 ng/m³.



Rys. 7.3. Stężenie średnie roczne Hg na stacjach tła regionalnego w latach 2010-2022.

Seria z 2021 roku ze stacji Puszcza Borecka została unieważniona

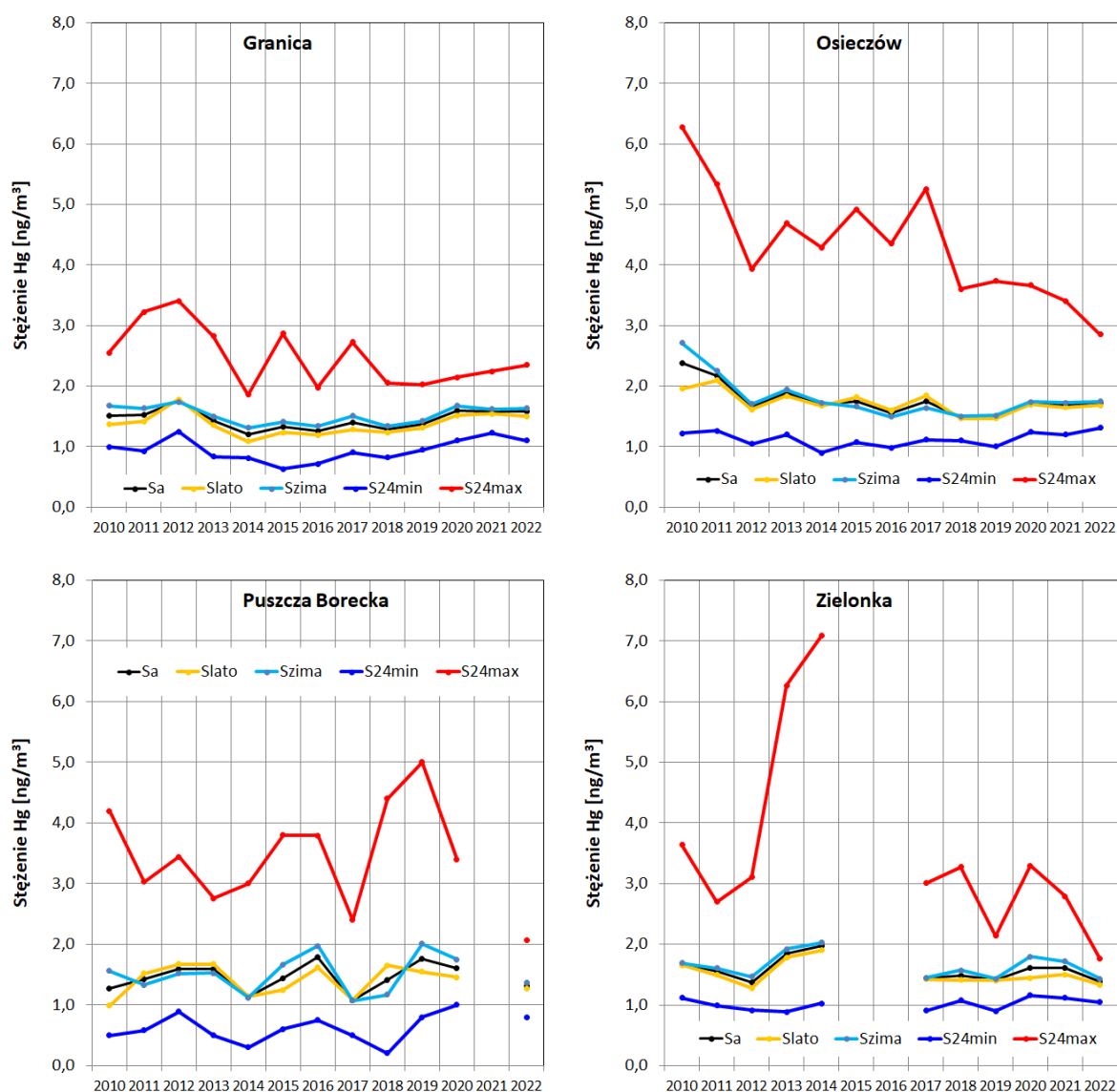
(źródło danych: PMŚ)

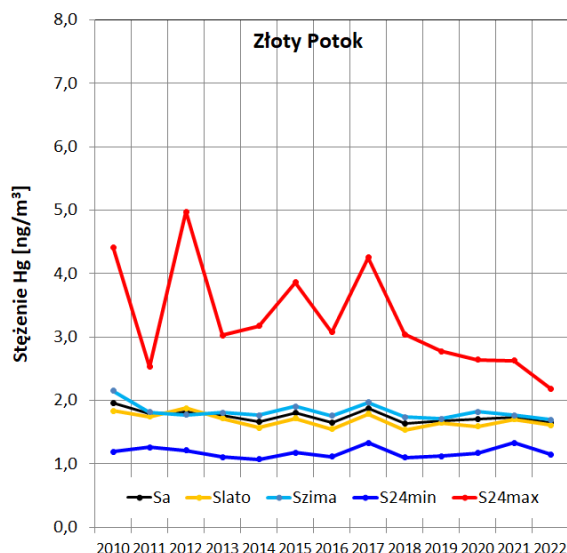
W roku 2022 wzrost lub brak zmiany średniego rocznego stężenia Hg w powietrzu w stosunku do wartości z roku poprzedniego zaobserwowano na stacjach Granica i Osieczów, a spadek na stacjach Zielonka i Złoty Potok, przy czym zmiany te były niewielkie i osiągnęły od kilku do kilkunastu procent. W przypadku analizy wartości średnich rocznych z 2022 roku w zestawieniu ze średnimi z wielolecia (2010-2021), niższe wartości uzyskano na wszystkich stacjach, poza Granicą. Zmiany względne wyniosły po kilka procent, jedynie w Zielonce przekroczyły 10% (Tab. 7.2, Rys. 7.3).

Tab. 7.2. Zmiany względne stężeń średnich rocznych Hg w roku 2022 względem roku 2021 oraz wartości średnich z lat 2010-2021 (źródło danych: PMS)

Parametr	Okres	Stacja			
		Granica	Osieczów	Zielonka	Złoty Potok
Stężenie [ng/m ³]	2021	1,578	1,687	1,616	1,737
	2022	1,580	1,717	1,381	1,658
	2010-2021	1,435	1,769	1,584	1,760
Różnica względna [%]	2022/2021	0,1%	1,8%	-14,5%	-4,6%
	2022/2010-2021	10,1%	-2,9%	-12,8%	-5,8%

Zmienność najwyższych i najniższych wartości średnich dobowych stężeń rtęci w powietrzu, wartości sezonowych oraz średnich rocznych w latach 2010-2022 przedstawiono na rysunku 7.4.

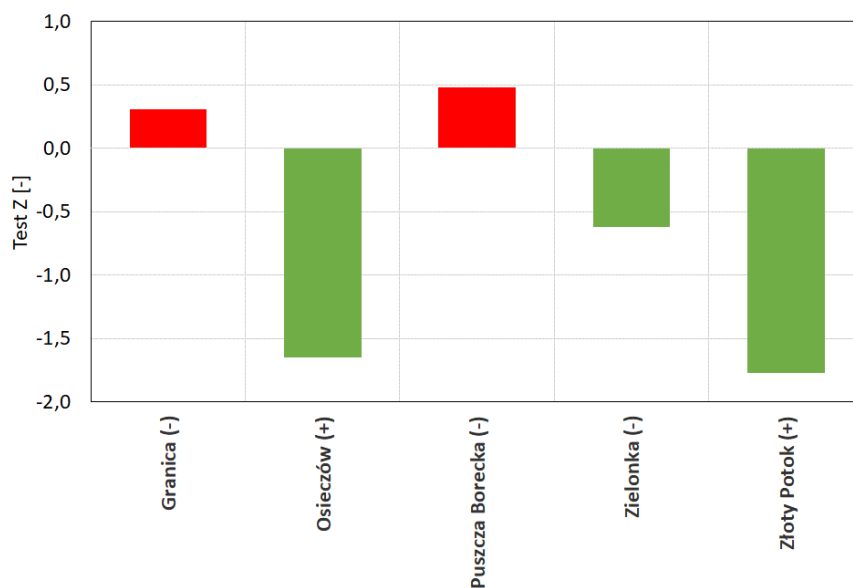




Rys. 7.4. Stężenie średnie roczne, sezonowe oraz minimalne i maksymalne stężenia dobowe Hg na stacjach tła regionalnego w latach 2010-2022. (źródło danych: PMŚ)

Na większości stacji, w roku 2022 w stosunku do roku 2021, zaobserwowano spadek stężeń zarówno w sezonie ciepłym (z wyjątkiem stacji Osieczów), jak i w sezonie chłodnym (z wyjątkiem stacji Granica). Analiza wartości dobowych pokazała, że na większości stacji w roku 2022 zaobserwowano spadek stężeń maksymalnych dobowych (oprócz Granicy i Osieczowa) i stężeń minimalnych (poza Osieczowem) w stosunku do roku 2021. Warto wskazać na utrzymujące się przez cały analizowany okres 2010-2022 niewielkie różnice pomiędzy stężeniami średnimi sezonowymi na wszystkich stacjach, przy nieznacznie wyższych wartościach zimą, 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 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. 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 na poziomie ok. 9%) nie wpływa znacząco na kształtowanie jakości powietrza w okresie zimy poza najbliższym otoczeniem tych źródeł.

Dane uzyskane w latach 2010-2022 poddano analizie statystycznej w celu wykrycia trendów. Jedynie na stacjach w Osieczowie i Złotym Potoku odnotowano trend malejący stężenia rtęci w powietrzu o najmniejszej istotności statystycznej (+). Na stacji Zielonka wystąpiła nieznaczna tendencja malejąca (o czym świadczy ujemna wartość Z), a w Puszczy Boreckiej i Granicy – nieznaczna 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 2010-2022 (źródło danych: PMŚ)

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 2010-2022 przedstawiono w tabeli 7.3. Najwyższy wskaźnik depozycji w roku 2022 zanotowano w Osieczowie, zaś najniższy w Puszczy Boreckiej.

Tab. 7.3. Roczne wartości depozycji Hg na stacjach tła regionalnego w latach 2010-2022 (źródło danych: PMŚ)

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

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
	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

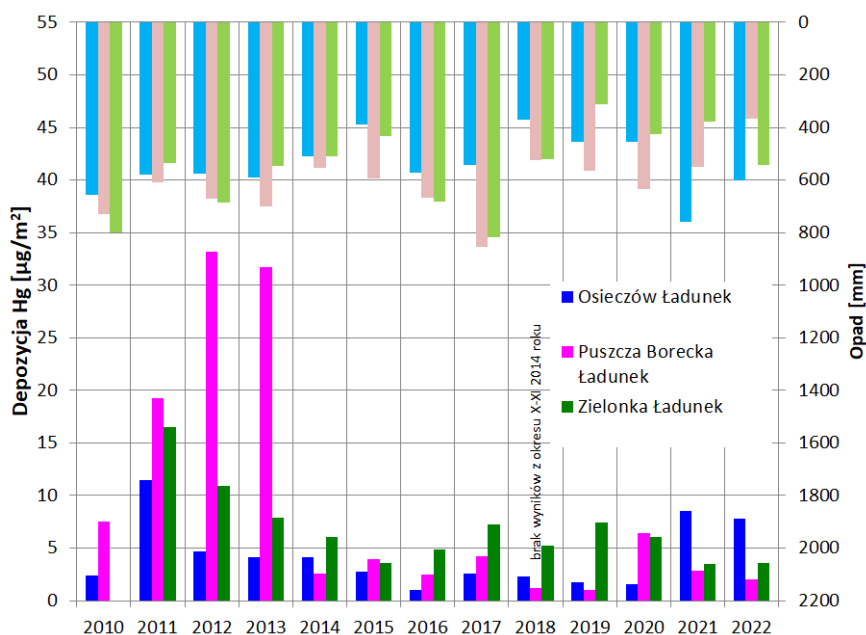
*) wynik z jednego miesiąca (nie uwzględniono w dalszych analizach)

**) brak wyników z okresu X-XII

***) próbki pobierane przez 2 tygodnie w miesiącu

****) 1 miesiąc bez opadów

Ocena zmian depozycji Hg w 2022 roku w stosunku do uzyskanej wartości dla wielolecia 2010-2021 wskazuje na spadek zarówno ładunku jak i wskaźnika depozycji dla wszystkich analizowanych stacji.



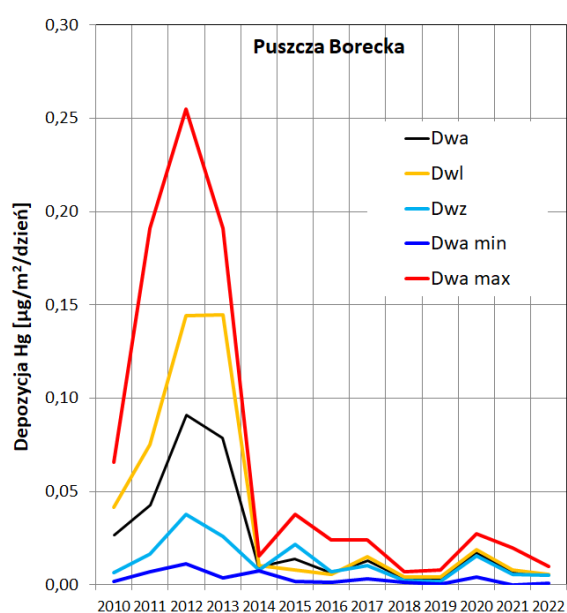
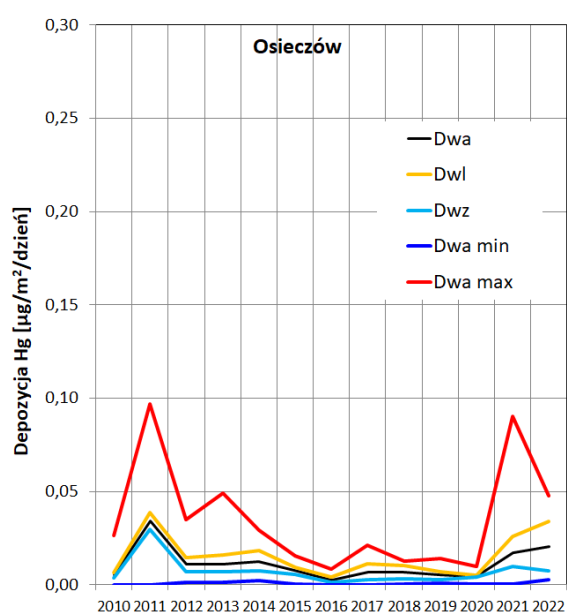
Rys. 7.6. Roczne wartości depozycji Hg na stacjach tła regionalnego na tle wysokości sumy opadów w latach 2010-2022 (źródło danych: PMŚ)

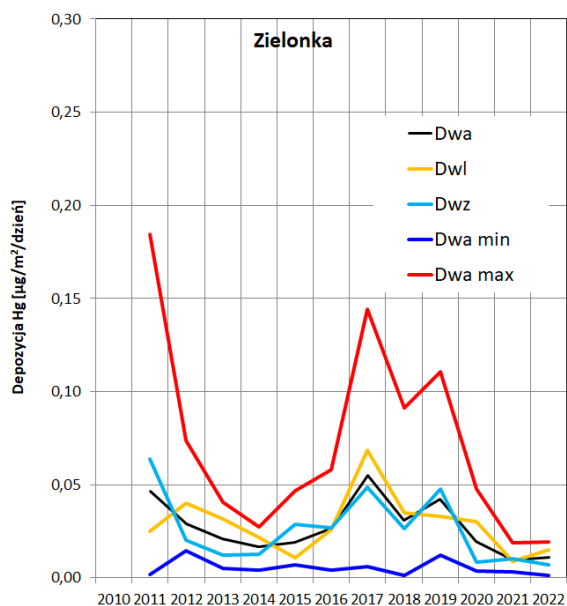
Najbardziej znaczące spadki zaobserwowano dla Osieczowa w przypadku wskaźnika (55,3%) oraz w przypadku ładunku (60,5%). Analizując zmiany z roku na rok (w latach 2021-2022), spadek ładunku depozycji zaobserwowano w przypadku Osieczowa i Puszczy Boreckiej (odpowiednio o 8 i 31%) i spadek wskaźnika w Puszczy Boreckiej (o 26%). Dla Zielonki odnotowano wzrost zarówno ładunku, jak i wskaźnika o ok. 4% (Tab. 7.4, Rys. 7.6).

Tab. 7.4. Zmiany względne ładunku i wskaźnika depozycji Hg w roku 2022 względem roku 2021 oraz wartości średnich z lat 2010-2021. Czerwoną czcionką zaznaczono wzrost ładunku/ wskaźnika (źródło danych: PMS)

Parametr	Okres	Stacja		
		Osieczów	Puszcza Borecka	Zielonka
Ładunek [$\mu\text{g}/\text{m}^2$]	2021	8,505	2,867	3,477
	2022	7,757	1,983	3,620
	2010-2021	3,942	9,703	7,252
Różnica względna dla ładunku [%]	2022/2021	-8,8%	-30,8%	4,1%
	2022/(2010-2021)	-60,5%	-33,7%	-16,5%
Wskaźnik [$\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień]	2021	0,019	0,007	0,011
	2022	0,021	0,005	0,011
	2010-2021	0,010	0,025	0,054
Różnica względna dla wskaźnika [%]	2022/2021	11,0%	-25,8%	4,7%
	2022/(2010-2021)	-55,3%	-30,5%	-29,1%

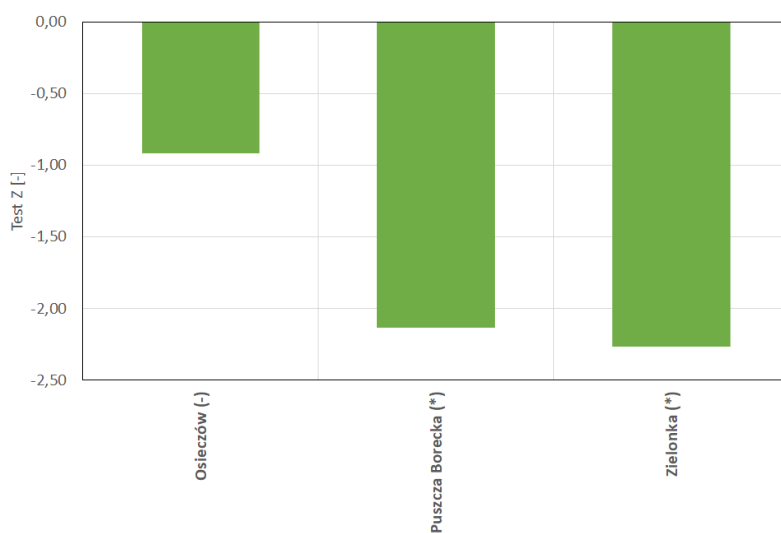
Różnice pomiędzy dobowym wskaźnikiem depozycji rtęci latem i zimą w analizowanym okresie 2010-2022 wykazują generalną tendencję występowania wyższych wartości w okresie ciepłym. Wyjątek stanowił rok 2015 na stacjach Puszcza Borecka i Zielonka oraz 2016 w Puszczy Boreckiej, a także 2011, 2019 i 2021 w Zielonce. Różnice pomiędzy sezonami są jednak bardzo niewielkie (Rys. 7.7).





Rys. 7.7. Wskaźnik depozycji rocznej, sezonowej oraz miesięczne wartości minimalne i maksymalne depozycji Hg na stacjach tła regionalnego w latach 2010-2022 (źródło danych: PMŚ)

Analiza trendów wykazała, że wskaźniki depozycji na stacjach Puszcza Borecka i Zielonka w okresie 2010-2022 charakteryzują się trendem malejącym o niewielkiej istotności statystycznej (*). Wskaźniki z Osieczów nie wykazują trendu, a jedynie niewielką tendencję malejącą (ujemna wartość Z) (Rys. 7.8).



Rys. 7.8. Trendy i tendencje zmian stężeń średnich rocznych wskaźników depozycji rtęci na stacjach tła regionalnego w latach 2010-2022 (źródło danych: PMŚ)

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 ostatnich 12 lat tj. okresu 2010-2021. 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 tym rozdziale stężenia Hg w powietrzu przedstawiono jako średnią roczną obliczoną dla poszczególnych krajów, jak i dla pojedynczych stanowisk pomiarowych, ze szczególnym wskazaniem wyników pomiarów uzyskanych na stacjach tła regionalnego w Polsce.

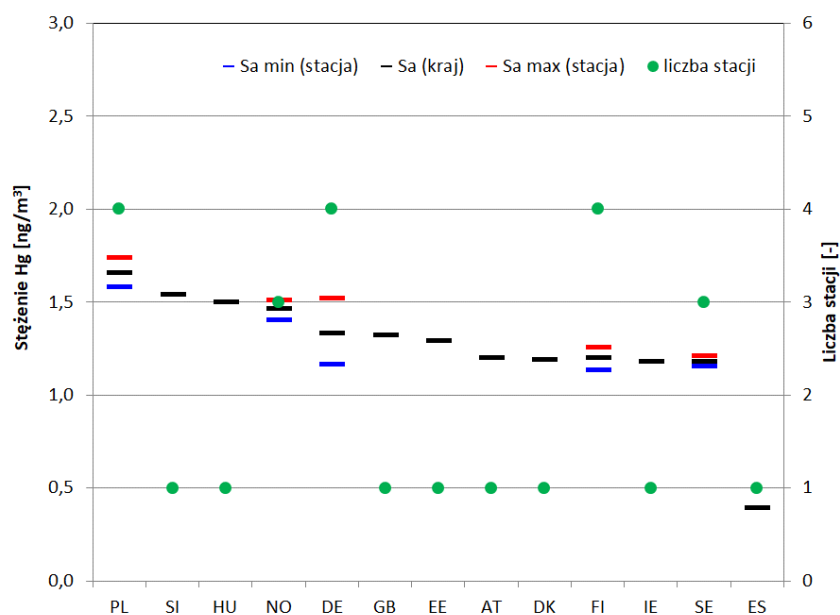
Ocenę zanieczyszczenia powietrza rtęcią dla roku 2021 wykonano na podstawie wyników pomiarów pochodzących z 28 stacji pozamiejskich tła spełniających kryteria kompletności danych, funkcjonujących w 13 krajach europejskich (Tab. 8.1 i Rys. 8.1). W 8 krajach prowadzących pomiary rtęci ocenę wykonano w oparciu o wyniki pomiarów pochodzące z pojedynczych stacji. Tylko w 5 krajach w Europie zlokalizowanych było więcej niż jedna stacja: po 4 raportowały wyniki w 2021 roku w Polsce, Finlandii i Niemczech i po 3 stacje w Norwegii i Szwecji (Tab. 8.1).

Tab. 8.1. Stężenia średnie roczne Hg (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2021 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ, EMEP)

Kod kraju wg ISO	Liczba stacji [-]	Stężenie średnie roczne		
		Sa min [ng/m ³]	Sa [ng/m ³]	Sa max [ng/m ³]
AT	1	1,197	1,197	1,197
DE	4	1,161	1,330	1,519
DK	1	1,190	1,190	1,190
EE	1	1,290	1,290	1,290
ES	1	0,390	0,390	0,390
FI	4	1,134	1,197	1,255
GB	1	1,320	1,320	1,320
HU	1	1,499	1,499	1,499
IE	1	1,180	1,180	1,180
NO	3	1,400	1,463	1,510
PL ^{*)}	4	1,580	1,655	1,736
SE	3	1,151	1,179	1,209
SI	1	1,537	1,537	1,537
Europa	28	0,390	1,258	1,736

^{*)} Stacje: Granica, Osieczów, Zielonka, Żłoty Potok (dane ze stacji Puszcza Borecka z roku 2021 unieważnione)

Uzyskane w 2021 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 Słowenii i Węgier. Podobnie, jak w latach wcześniejszych, najniższe stężenie Hg w powietrzu zanotowano dla Hiszpanii (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 2021 (źródło danych: EAŚ, EMEP)

Tab. 8.2. Stężenia średnie roczne Hg dla krajów europejskich w roku 2021, 2020 i z lat 2010-2020 oraz zmiany względne w roku 2021 w stosunku do roku wcześniejszego oraz wielolecia (źródło danych: EAŚ, EMEP)

Kod kraju wg ISO	Stężenie średnie [ng/m ³]			Różnica względna [%] w roku 2021 w stosunku do	
	2021	2020	2010-2020	roku 2020	okresu 2010-2020
AT	1,197	1,423	1,523	-15,9%	-21,4%
BE		1,880	1,131	*)	*)
CY			0,068	*)	*)
CZ			1,278	*)	*)
DE	1,330	1,471	1,567	-9,6%	-15,1%
DK	1,190	1,230	1,337	-3,3%	-11,0%
EE	1,290	1,400	1,278	-7,9%	0,9%
ES	0,390	0,390	1,125	0,0%	-65,3%
FI	1,197	1,181	1,297	1,4%	-7,7%
GB	1,320	1,319	1,212	0,1%	8,9%
HU	1,499			**)	***)
IE	1,180	1,320	1,370	-10,6%	-13,9%
IS			1,873	*)	*)
LT			1,070	*)	*)
NO	1,463	1,500	1,505	-2,4%	-2,8%
PL	1,655	1,646	1,553	0,5%	6,6%
PT			10,000	*)	*)
SE	1,179	1,233	1,348	-4,4%	-12,5%
SI	1,537	1,338	0,979	14,9%	57,1%

*) brak danych z 2021 roku

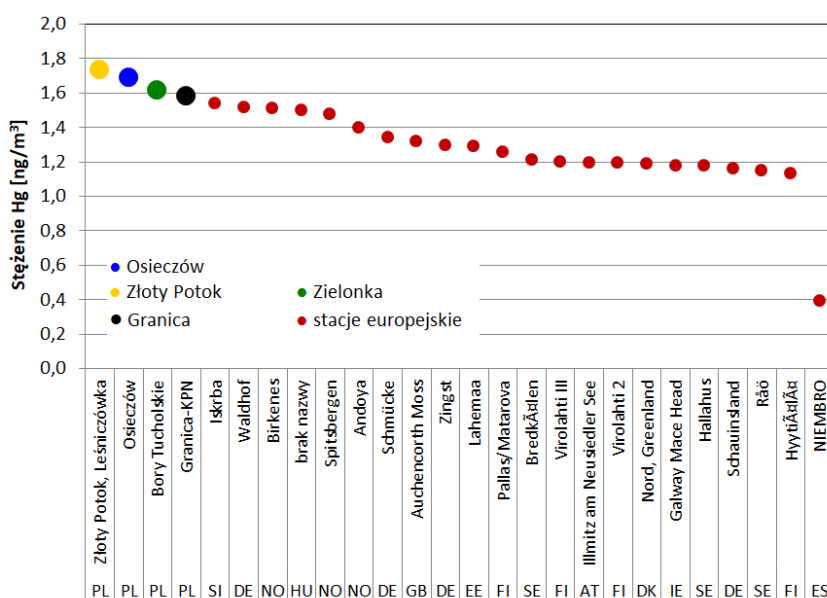
**) brak danych z 2020 roku

***) brak danych z lat 2010-2020

Analiza zmian względnych stężeń średnich rocznych obliczonych dla każdego z krajów europejskich w ostatnich 2 latach (2021-2020) pokazuje wzrost poziomu Hg w powietrzu atmosferycznym z roku na rok dla 4 z 12 analizowanych krajów, dla których wyniki były dostępne z obu lat. Najwyższe wzrosty zaobserwowano dla Słowenii (blisko 15%), a niewielkie dla Finlandii, Polski i Wielkiej Brytanii (nieprzekraczające 1,5%). Największy spadek spośród

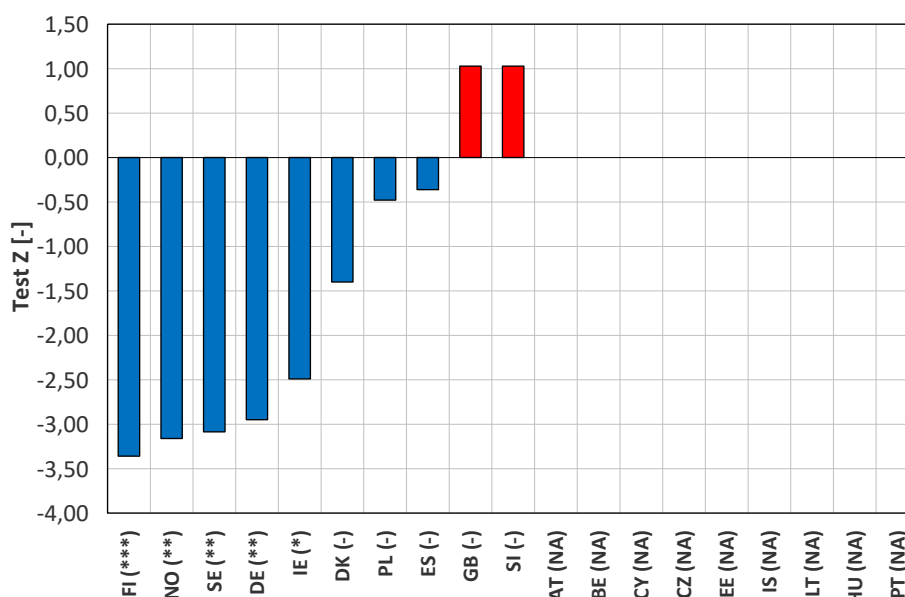
8 pozostałych krajów (w przypadku Hiszpanii nie odnotowano zmian z roku na rok) dotyczył Austrii i Irlandii (ponad 10%).

Nieco inaczej układały się zmiany pomiędzy stężeniami średnimi z roku 2021 i wielolecia 2010-2020. Wśród 12 krajów, dla których możliwe było porównanie wartości stężenia Hg w powietrza w 2021 roku ze średnią z wielolecia, widoczne jest znaczne zróżnicowanie. Wzrosty stężeń w roku 2021 na tle średniej z wielolecia zanotowano dla 4 krajów: Słowenii (ponad 57%), Wielkiej Brytanii (blisko 9%), Polski (blisko 7%) i Estonii (blisko 1%). Dla pozostałych 8 krajów zanotowano spadek stężeń w roku 2021 w stosunku do wartości średnich z wielolecia, największy dla Hiszpanii (ponad 65%) i Austrii (ponad 21%) - Tab. 8.2. Wartości średnie roczne stężenia rtęci w powietrzu na poszczególnych stacjach w Europie w roku 2021 zawierały się w granicach 0,39-1,74 ng/m³. Najwyższe wartości zaobserwowano na 4 stacjach polskich kolejno: Złoty Potok, Osieczów, Zielonka i Granica (Rys. 8.2). Podobnie jak w latach poprzednich, najniższą wartość średnią roczną Hg w powietrzu w 2021 roku uzyskano na stacji hiszpańskiej.



Rys. 8.2. Wartości stężeń średnich rocznych Hg na poszczególnych stacjach w Europie w roku 2021 (źródło danych: EAŚ, EMEP)

Przeprowadzona analiza statystyczna trendów zmian stężeń rtęci gazowej w okresie 2010-2021 w poszczególnych krajach Europy w praktyce wskazuje na zauważalne spadki. Taka sytuacja dotyczy 8 spośród 10 krajów, dla których serie pomiarowe były dłuższe niż 10 lat (spośród 19 poddanych analizie). Najbardziej istotne spadki obserwuje się w przypadku Finlandii (***), Norwegii, Szwecji, Niemiec (**), Irlandii (*). W Danii, Polsce i Hiszpanii obserwowana jest tendencja malejąca. Jedynie w Wielkiej Brytanii i Słowenii obserwuje się nieistotne statystycznie tendencje rosnące stężeń średnich rocznych rtęci gazowej (Rys. 8.3).



Rys. 8.3. Trendy i tendencje zmian stężeń średnich rocznych rtęci gazowej w poszczególnych krajach Europy w latach 2010-2021 (źródło danych: EAŚ i EMEP)

8.2. Depozycja rtęci do podłoża

W poniższym rozdziale przedstawiono wyniki oceny depozycji Hg na podstawie obliczonych wartości dobowego wskaźnika depozycji. Analizę przeprowadzono dla stacji pozamiejskich tła funkcjonujących w Europie w okresie 2010-2021. 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 2021 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. 8.3). Najwięcej stacji spośród uwzględnionych w analizie zlokalizowanych było w Niemczech (6 stacji), Finlandii (5) i Wielkiej Brytanii (4). W 9 krajach ocenę wykonano w oparciu o wyniki pomiarów pochodzące z pojedynczych stacji (Tab. 8.3).

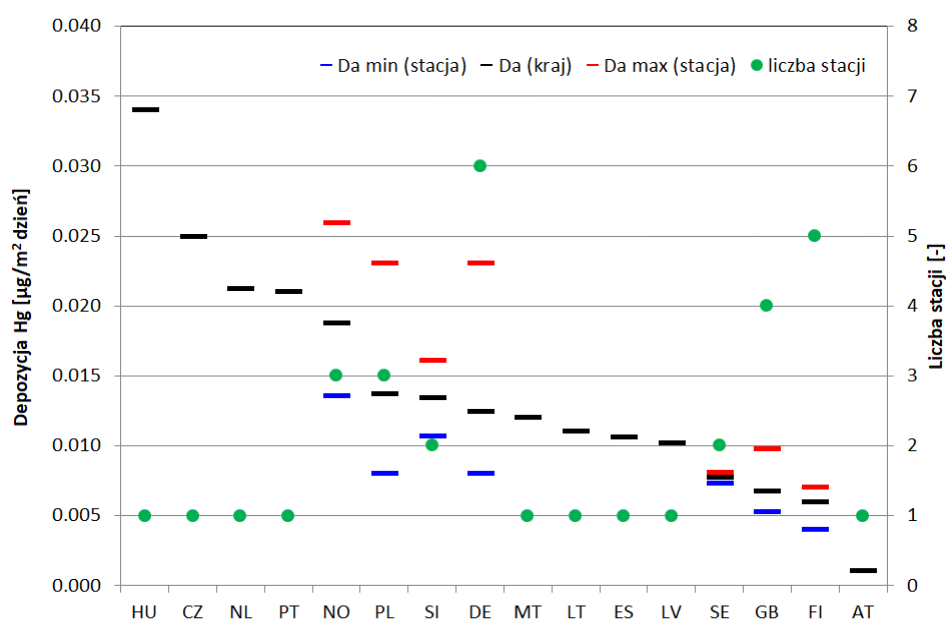
Tab. 8.3. Wskaźnik depozycji Hg (wartości minimalne i maksymalne na stacjach oraz średnie dla kraju) uzyskane w roku 2021 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ, EMEP)

Kod kraju wg ISO	Liczba stacji [-]	Dobowy wskaźnik depozycji		
		Dwa min [µg/m ² dzień]	Dwa [µg/m ² dzień]	Dwa max [µg/m ² dzień]
AT	1	0,001	0,001	0,001
CZ	1	0,025	0,025	0,025
DE	6	0,008	0,012	0,023
ES	1	0,011	0,011	0,011
FI	5	0,004	0,006	0,007
GB	4	0,005	0,007	0,010
HU	1	0,034	0,034	0,034
LT	1	0,011	0,011	0,011
LV	1	0,010	0,010	0,010

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]
MT	1	0,012	0,012	0,012
NL	1	0,021	0,021	0,021
NO	3	0,014	0,019	0,026
PL ^{*)}	3	0,008	0,014	0,023
PT	1	0,021	0,021	0,021
SE	2	0,007	0,008	0,008
SI	2	0,011	0,013	0,016
Europa	34	0,013	0,014	0,016

^{*)} Stacje: Osieczów, Puszcza Borecka, Zielonka

Uśrednione wartości wskaźnika depozycji Hg dla obszarów pozamiejskich tła w poszczególnych krajach europejskich pokazują, że w 2021 roku w Polsce wskaźnik średniej dobowej depozycji rtęci znajdował się na poziomie średniej obliczonej dla Europy. Wyższe niż w Polsce wartości zanotowano dla 5 krajów, w tym najwyższą wartość uzyskano dla Węgier. Prowadzony w Europie monitoring pokazuje znaczną rozpiętość wartości wskaźnika depozycji Hg na poszczególnych stacjach, zauważalny choćby dla Norwegii, Polski czy Niemiec, co prowadzi do wniosku, iż pomiar na pojedynczej stacji może nie być miarodajny. W roku 2021 najniższe wartości uzyskano dla Austrii – znacznie niższe niż w krajach skandynawskich (Tab. 8.3 i Rys. 8.4).



Rys. 8.4. Wskaźnik depozycji Hg (wartości minimalne, maksymalne oraz średnie) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji uwzględnionych w analizie w roku 2021 (źródło danych: EAŚ, EMEP)

Tab. 8.4. Wskaźnik depozycji Hg dla krajów europejskich w roku 2021, 2020 i z lat 2010-2020 oraz zmiany względne w roku 2021 w stosunku do roku wcześniejszego oraz wielolecia (źródło danych: EAS, EMEP)

Kod kraju wg ISO	Dwa [$\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień]			Różnica względna w roku 2021 w stosunku do [%]	
	2021	2020	2010-2020	roku 2020	okresu 2010-2020
AT	0,001	0,001	0,004	0,0%	-75,5%
BE			0,015	*)	*)
CZ	0,025	0,012	0,019	114,6%	31,1%
DE	0,012	0,013	0,017	-2,9%	-25,5%
EE			0,011	*)	*)
ES	0,011	0,005	0,020	104,3%	-48,2%
FI	0,006	0,006	0,007	-1,1%	-14,4%
GB	0,007	0,010	0,017	-33,9%	-61,2%
HU	0,034	0,035	0,103	-2,9%	-66,8%
IE			0,081	*)	*)
LT	0,011	0,011	0,017	0,0%	-36,7%
LV	0,010	0,014	0,035	-24,9%	-71,2%
MT	0,012			**)	***)
NL	0,021	0,023	0,018	-9,3%	15,1%
NO	0,019	0,023	0,026	-19,4%	-29,1%
PL	0,014	0,013	0,023	2,5%	-39,6%
PT	0,021	0,018	0,019	16,7%	9,8%
SE	0,008	0,009	0,013	-15,5%	-38,7%
SI	0,013	0,010	0,025	31,4%	-46,4%

*) brak danych z 2021 roku

**) brak danych z 2020 roku

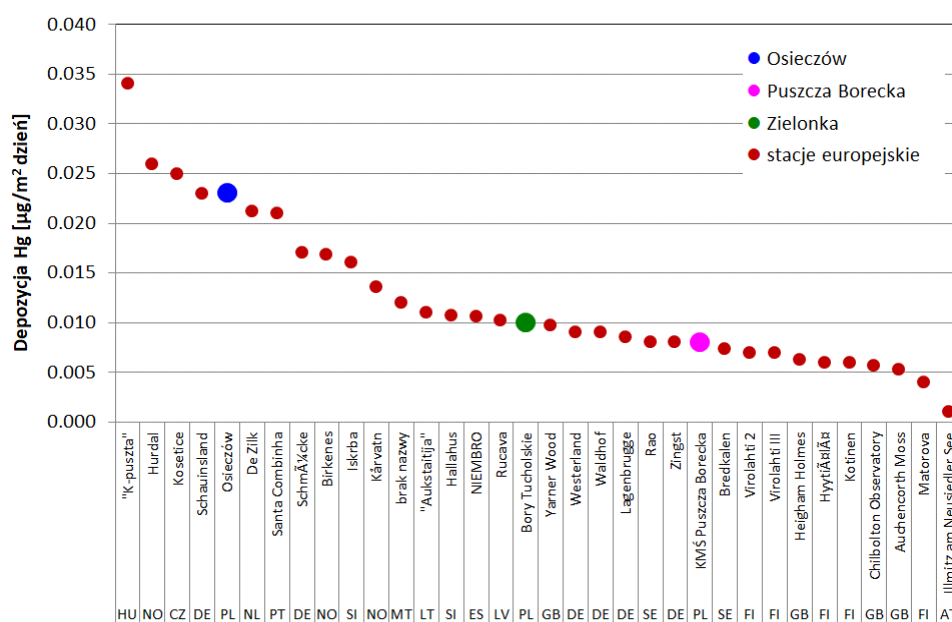
***) brak danych z lat 2010-2020

Analiza zmian uśrednionego wskaźnika depozycji Hg z roku na rok (2021-2020) wskazuje na wzrost depozycji Hg w 5 spośród 15 analizowanych krajów. Zdecydowanie najwyższy dotyczył Czech (blisko 115%) i Hiszpanii (ponad 104%). W przypadku pozostałych 3 krajów (Słowenii, Portugalii i Polski), dla których odnotowano wzrost, najniższy dotyczył Polski (2,5%). Spośród pozostałych 10 krajów, w przypadku 2 (Austrii i Łotwy) nie odnotowano żadnych zmian depozycji z roku na rok. Najwyższe spadki wartości wskaźnika dobowego depozycji rtęci zanotowano w przypadku Wielkiej Brytanii (blisko 34%) i Litwy (ok. 25%) - tab. 8.4.

Analiza zmian średniego rocznego wskaźnika depozycji Hg w roku 2021 na tle całego rozważanego okresu 2010-2020 wskazała w większości przypadków spadki. Wyjątek stanowią Czechy, Holandia i Portugalia, gdzie zaobserwowano wzrosty na poziomie odpowiednio: 31%, 15% i 10%. Spośród pozostałych 12 krajów zanotowano wyraźne spadki wskaźnika depozycji Hg w roku 2021 w stosunku do średniej obliczonej z wielolecia, największy dotyczył Austrii i Łotwy (ponad 70%) oraz Węgier i Wielkiej Brytanii (ponad 60%). W przypadku Polski wartość średniego wskaźnika depozycji Hg w roku 2021 była niższa od obliczonej dla wielolecia o blisko 40% (Tab. 8.3).

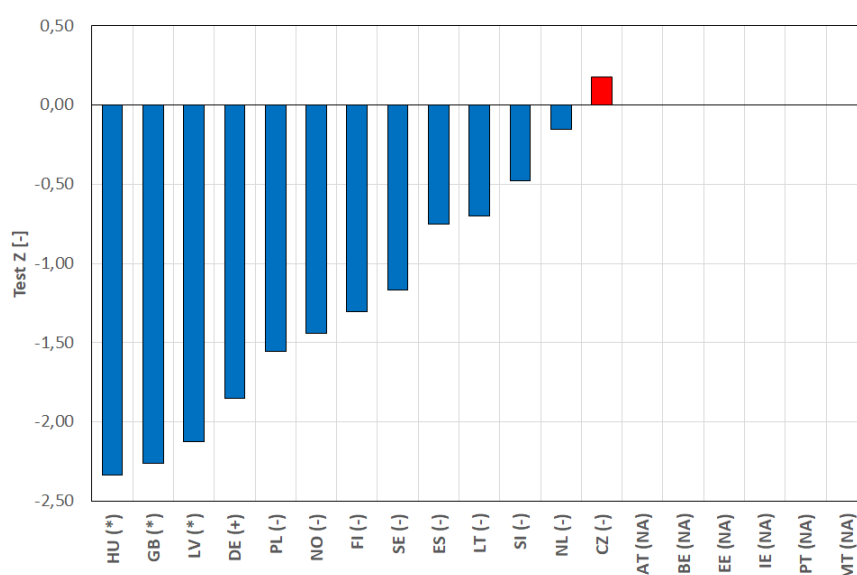
Analiza średniego dobowego wskaźnika depozycji Hg na poszczególnych stacjach europejskich pokazuje znaczną rozpiętość w granicach 0,001 - 0,034 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ na dzień. Wśród 5 stacji z najwyższymi wartościami wskaźnika depozycji na 34 analizowanych, znajdowała się jedna stacja z Polski jako 5 maksimum europejskie (Osieczów). Wyższe wartości niż na stacji polskiej uzyskano na stacji węgierskiej, jednej ze stacji norweskich, stacji czeskiej i jednej ze stacji niemieckich. Wartości uzyskane na pozostałych dwóch polskich stacjach tła regionalnego uplasowały je odpowiednio: Zielonkę w strefie wartości średnich na pozycji

17 maksimum europejskiego oraz Puszcę Borecką w strefie wartości niższych na pozycji 24 spośród 34 analizowanych (Rys. 8.5).



Rys. 8.5. Roczna depozycja Hg do podłoża na poszczególnych stacjach w Europie w roku 2021 (źródło danych: EAŚ, EMEP)

Analiza statystyczna trendów zmian wskaźników depozycji rtęci w okresie 2010-2021 w poszczególnych krajach Europy pokazuje zauważalne spadki. Taka sytuacja dotyczy 12 spośród 13 krajów, dla których serie pomiarowe były dłuższe niż 10 lat (spośród 19 poddanych analizie). Spadki o niewielkiej istotności statystycznej obserwuje się w przypadku Węgier, Wielkiej Brytanii, Łotwy (*) i Niemiec (+). W kolejnych 8 krajach obserwowana jest tendencja malejąca. Jedynie w Czechach obserwuje się nieistotną statystycznie tendencję rosnącą wskaźnika depozycji rtęci (Rys. 8.6).



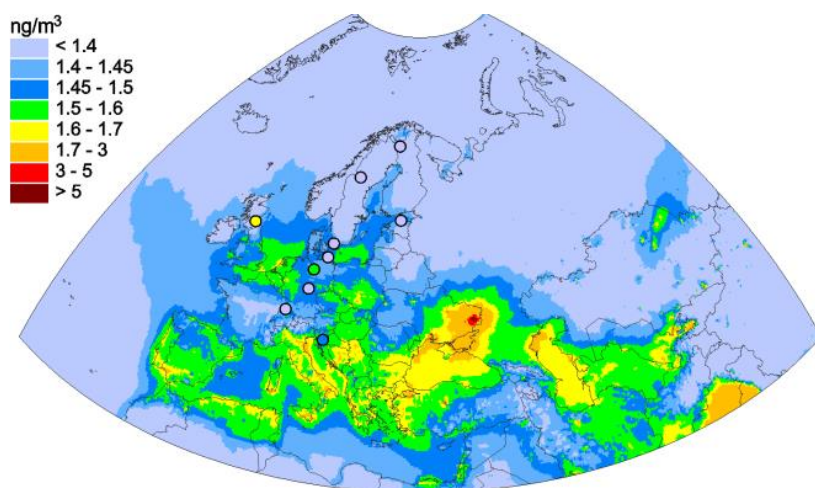
Rys. 8.6. Trendy i tendencje zmian stężeń średnich rocznych wskaźników depozycji rtęci w poszczególnych krajach Europy w latach 2010-2021 (źródło danych: EAŚ i EMEP)

9. Modelowanie

W niniejszym rozdziale przedstawiono rezultaty obliczeń modelowych przeprowadzonych przez Meteorologiczne Centrum Syntetyzujące – Wschód (MSC-E) EMEP. Zaczepnięto je z dorocznego raportu opracowanego przez MSC-E (EMEP, 2023). Obliczenia modelowe wykonane zostały 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 2020 oraz danych meteorologicznych opracowanych przez Europejskie Centrum Prognoz Średnioterminowych (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts ECMWF). W obliczeniach uwzględniono trzy grupy źródeł emisji, mające wpływ na poziom metali ciężkich, w tym rtęci: emisję antropogeniczną w danym roku, resuspensję cząstek pyłu zawierających metale naturalnego pochodzenia i zdeponowanych na podłożu w przeszłości oraz emisję ze źródeł położonych poza domeną EMEP.

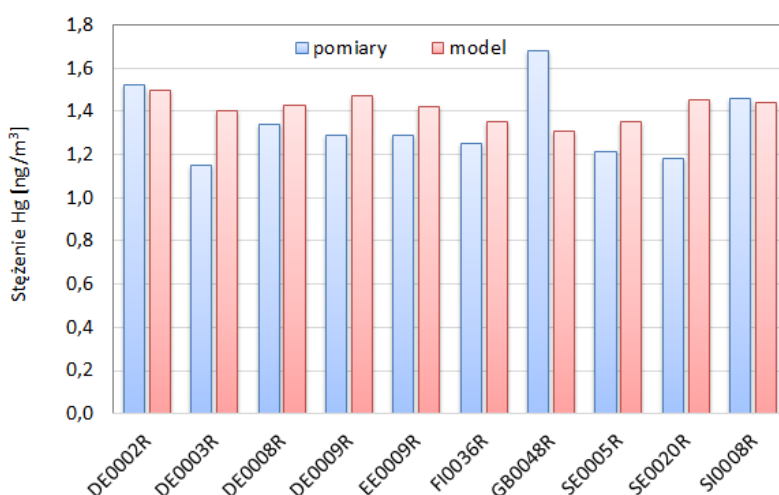
9.1. Zanieczyszczenie powietrza rtęcią

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 (0,5 – 1 rok). Transport ze źródeł, które są położone poza domeną EMEP jest uważany za główny czynnik kształtujący poziom rtęci gazowej na obszarze EMEP. Na większości obszaru stężenie rtęci w powietrzu wahało się pomiędzy 1,4 a 3,0 ng/m³. Wyniki obliczeń modelowych wskazują, że wysokie stężenia (powyżej 1,6 ng/m³) występowały w Hiszpanii, Włoszech, Bośni i Hercegowinie, Grecji, Serbii, Bułgarii i kilku mniejszych krajach a w szczególności we wschodniej części Ukrainy i nad Morzem Kaspijskim. Poziomy rtęci w przedziale 1,5-1,6 ng/m³ można zauważyć nad południową częścią Morza Północnego, Belgią, Holandią i południowo-zachodnią Polską. 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). Obszary o wysokich stężeniach rtęci w powietrzu są również związane z lokalizacją znaczących źródeł emisji rtęci (Bośnia i Hercegowina, Serbia, Uzbekistan, Hiszpania i Włochy). Na uwagę zasługuje także obszar Arktyki, gdzie wysokie stężenia rtęci mogą być spowodowane globalnym transportem tego zanieczyszczenia w atmosferze. Najniższe stężenia rtęci występowały w środkowej Francji, w Skandynawii, północnej Rosji (Rys. 9.1).



Rys. 9.1. Rozkład przestrzenny stężenia rtęci w powietrzu w roku 2021 – rezultaty obliczeń modelowych. Kółka na mapie pokazują wyniki pomiarów na stacjach w tej samej skali kolorystycznej [ng/m^3](źródło: MSC-E EMEP(EMEP, 2023))

Średnie odchylenie rezultatów obliczeń modelowych i wartości zmierzonych wyniosło 6%. Różnice między modelowanymi i obserwowanymi stężeniami w powietrzu dla poszczególnych stacji nie przekraczały 25% (Rys. 9.2).



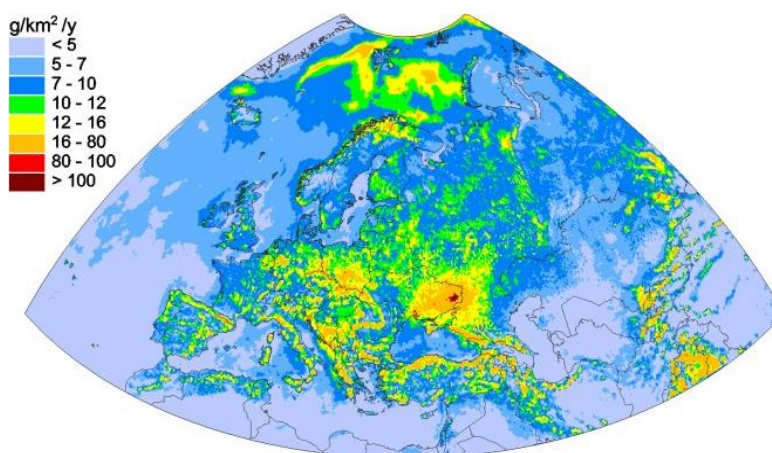
Rys. 9.2. Średnie roczne stężenia rtęci w powietrzu w roku 2021 – rezultaty obliczeń modelowych i wyniki pomiarów [ng/m^3](źródło: MSC-E EMEP(EMEP, 2023))

9.2. Depozycja rtęci do podłoża

Roczne strumienie depozycji Hg wykazywały znacznie większą zmienność przestrzenną w porównaniu ze stężeniami w powietrzu. Obliczenia modelowe wykazują, że największe wielkości depozycji Hg wystąpiły w Europie środkowej, natomiast największy zakres zmienności depozycji Hg odnotowano w Europie południowej. W 2021 roku niewielki obszar o największej depozycji rtęci w Europie ($>100 \text{ g}/\text{km}^2$ w roku) da się zauważyć na terenie wschodniej Ukrainy. Stosunkowo wysokie wartości depozycji ($>16 \text{ g}/\text{km}^2$ w roku) wystąpiły

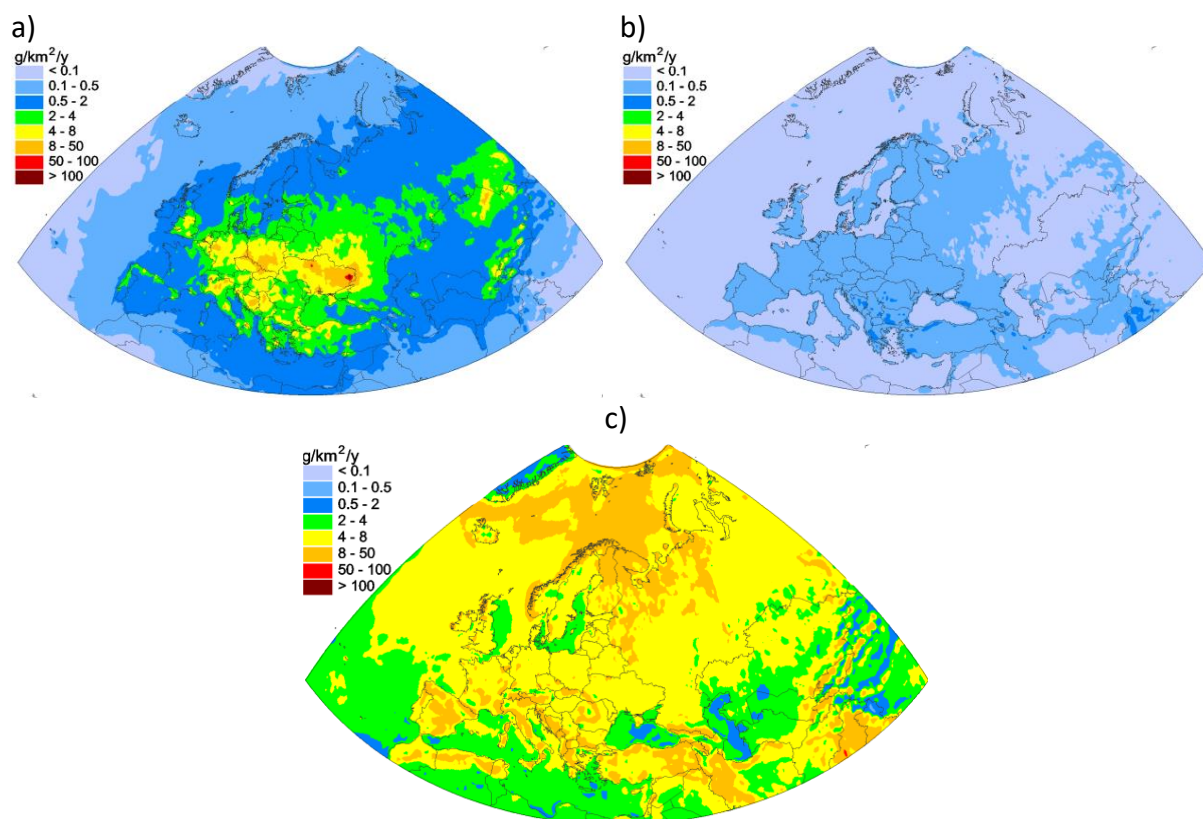
w większości krajów Europy środkowej i południowej, w północnej części Norwegii, na Bałkanach, w południowej części Turcji i we wschodnioeuropejskich krajach domeny EMEP. Występują także w północno-zachodnich Niemczech, krajach bałkańskich i w południowej Polsce, co można wiązać przede wszystkim z lokalizacją dużych źródeł emisji (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 10-16 g/km², ale miejscami przekracza 16 g/km², co jest wartością zbliżoną do szacowanej dla znaczącej części Polski. Generalnie jednak obszary morskie/oceaniczne w domenę EMEP i pustynne obszary Środkowej Azji charakteryzują się najmniejszą depozycją rtęci (około 7 g/km² i poniżej tej wartości).

W wyniku intensywnego transportu międzykontynentalnego udział źródeł emisji spoza domeny EMEP w całkowitej depozycji Hg w krajach EMEP osiąga od 54% w Europie środkowej do 86% w Europie północnej. Należy jednak zauważyć, że wkład transportu międzykontynentalnego uwzględnia także część rtęci pochodzącej ze źródeł w krajach EMEP, która została wcześniej włączona do globalnej puli i krąży w środowisku (EMEP, 2023).



Rys. 9.3. Rozkład przestrzenny depozycji rtęci w roku 2021 – rezultaty obliczeń modelowych [g/km²] (źródło: MSC-E EMEP(EMEP, 2023))

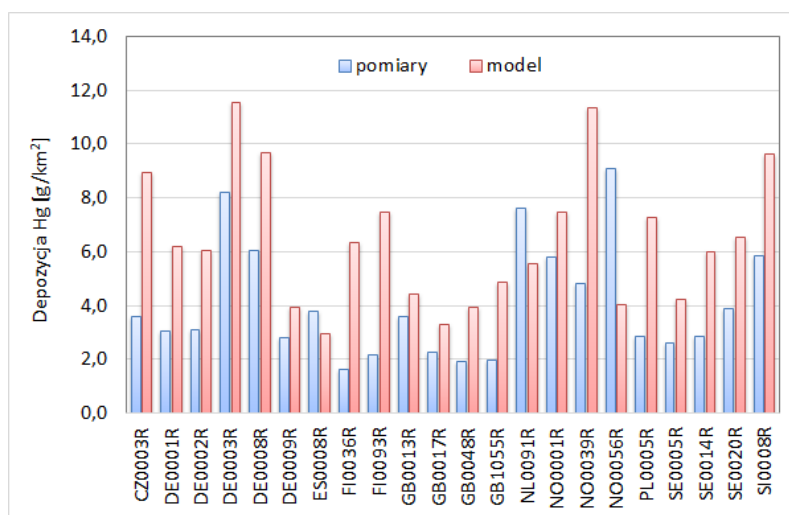
Rozkład przestrzenny depozycji rtęci pochodzącej z różnych grup źródeł przedstawiono na Rys. 9.4. Odzwierciedla on rozkład emisji – depozycja rtęci emitowanej ze źródeł antropogenicznych jest największa w Europie centralnej i południowej i w niektórych miejscach we wschodniej części kontynentu (Rys. 9.4a); bezpośrednia depozycja ze źródeł naturalnych/wtórnych jest znacznie mniejsza i praktycznie niezmienna w Europie (Rys. 9.4b). Natomiast rozkład depozycji rtęci pochodzącej ze źródeł spoza domeny EMEP odzwierciedla przemiany chemiczne rtęci zachodzące w atmosferze i rozkład opadów. Stąd największe wartości są charakterystyczne dla rejonu Arktyki i basenu Morza Śródziemnego (Rys. 9.4c).



Rys. 9.4. Rozkład przestrzenny depozycji rtęci w roku 2021: a – ze źródeł antropogenicznych, b – ze źródeł wtórnych (naturalnych i re-emisji), c – ze źródeł spoza domeny EMEP; rezultaty obliczeń modelowych [g/km^2] (źródło: MSC-E EMEP(EMEP, 2023))

Można zauważyć, że wysokie wartości depozycji w Polsce, Bośni i Hercegowinie oraz północnych Włoszech i krajach BeNeLuxu są w dużej mierze spowodowane przez źródła antropogeniczne w domenie EMEP. Poza tym znaczne strumienie w krajach Europy południowej (np. Hiszpania, Włochy, Turcja, Rumunia, Serbia), jak również na Kaukazie i w Arktyce pochodzą głównie ze źródeł nie należących do domeny EMEP.

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 2021 roku od 21% do 294%, przy czym model na ogół zawyżał wartości depozycji w stosunku do pomiarów (Rys. 9.4).



Rys. 9.2. Roczne wartości depozycji rtęci w roku 2021– rezultaty obliczeń modelowych i wyniki pomiarów [g/km²](źródło: MSC-E EMEP(EMEP, 2023))

10. Podsumowanie

Emisja rtęci

Wśród krajów o największej emisji rtęci w Unii Europejskiej znajdują się: Polska, Niemcy, Włochy, Hiszpania i Francja. W roku 2021 krajowa emisja rtęci ze źródeł antropogenicznych wyniosła 8,49 Mg i była większa o 11,4% w stosunku do emisji z roku poprzedniego. Udział Polski w emisji europejskiej (z 27 krajów UE) rtęci w 2021 roku wynosił 21,1%, a w emisji z domeny EMEP – 5,6%.

Dominującymi sektorami w krajowej emisji Hg w roku 2021 były: *Przemysły energetyczne* (60,0% emisji krajowej rtęci) oraz *Procesy przemysłowe* (18,0%). 47,6% rtęci emitowanej z zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza pochodziło z województwa łódzkiego.

Warunki meteorologiczne

Cechą charakterystyczną warunków termicznych obserwowanych w roku 2022 była względnie wysoka średnia temperatura oraz rekordowo ciepła zima (styczeń-luty) i rekordowo ciepły sierpień. Był to okres znacznie cieplejszy od roku ubiegłego i wielolecia 2010-2021. Pomimo wahań temperatur średniorocznych od wielu lat obserwuje się wyraźną tendencję wzrostową temperatury na wszystkich analizowanych stacjach.

Rok 2022 charakteryzował się niższymi opadami na wszystkich stacjach osłonowych względem średniego opadu analizowanego wielolecia. Na większości stacji opady były także niższe w stosunku do obserwowanych w ubiegłym roku. Był to okres o przeciętnej skali zmienności opadów od najniższych na ogół w marcu do najwyższych na ogół w lipcu.

Warunki meteorologiczne kształtowane były przez napływające nad Polskę masy powietrza najczęściej z kierunku północno-zachodniego i najrzadziej - z kierunku północno-wschodniego.

Zanieczyszczenie powietrza rtęcią

Charakterystyczną cechą przebiegu stężeń Hg w powietrzu na wszystkich stacjach tła regionalnego w 2022 roku i latach wcześniejszych (2010-2021) są relatywnie niewielkie zmiany. Wyższe stężenia rtęci w powietrzu w 2022 roku uzyskano na stacjach Złoty Potok i Osieczów, niższe na stacjach Granica i Zielonka, a najniższe w Puszczy Boreckiej. W roku 2022 spadek średniego rocznego stężenia Hg w powietrzu z roku na rok zaobserwowano na stacjach Zielonka i Złoty Potok, brak zmiany na stacji Granica, a wzrost na stacji Osieczów, przy czym były to w większości zmiany mało znaczące (największa w Zielonce wyniosła ok. -15%). Analizy wartości średnich rocznych stężeń z 2022 roku w zestawieniu ze średnimi z wielolecia (2010-2021) wykazały niższe wartości na wszystkich stacjach, poza Granicą. Zmiany względne wyniosły kilka-kilkanaście procent. Na wszystkich stacjach w roku 2022 zaobserwowano nieznacznie wyższe stężenia zimą niż latem.

Porównanie wyników stężeń rtęci w powietrzu w 2021 roku w krajach europejskich wskazuje, że przeciętne roczne stężenie Hg w powietrzu w Polsce było najwyższe w Europie (4 polskie stacje charakteryzowały się najwyższymi stężeniami w Europie), tuż przed wartościami uzyskanymi dla Słowenii i Węgier. Podobnie, jak w latach wcześniejszych, najniższe stężenie Hg w powietrzu zanotowano dla Hiszpanii. Analiza względnych zmian stężeń uśrednionych dla każdego z krajów z roku na rok (w 2021 w stosunku do 2020) pokazuje generalne spadki. Wzrost poziomu Hg w powietrzu dotyczył 4 z 12 krajów. Największy, ponad

10% spadek, spośród pozostałych krajów dotyczył Austrii i Irlandii. W przypadku Polski wzrost stężeń Hg z roku na rok wyniósł 0,5%, zaś w porównaniu do średniej z wielolecia 2010-2020 zanotowano wzrost stężeń o 6,6%.

Depozycja rtęci

Spośród trzech analizowanych stacji tła regionalnego, najwyższą depozycję rtęci w roku 2022 zaobserwowano na stacji w Osieczowie, zaś najniższą w Puszczy Boreckiej. Względne zmiany depozycji Hg z roku na rok (2021-2022) wykazały wzrost w Osieczowie i Zielonce. Na wszystkich stacjach zanotowano niższe wartości w roku 2022 niż średnia z wielolecia (2010-2021). Wyższe wartości wskaźnika depozycji obserwuje się na ogół latem niż zimą.

Uśrednione wartości wskaźnika depozycji Hg dla obszarów pozamiejskich tła w poszczególnych krajach europejskich pokazują, że w 2021 roku w Polsce wskaźnik średniej dobowej depozycji rtęci znajdował się na poziomie średniej obliczonej dla Europy. Wyższe niż w Polsce wartości zanotowano dla 5 krajów. Analiza zmian uśrednionego wskaźnika depozycji Hg z roku na rok (2021-2020) wskazuje na wzrost depozycji Hg w 5 spośród 15 analizowanych krajów, w tym niewielki w Polsce. Analiza zmian średniego rocznego wskaźnika depozycji Hg w roku 2021 na tle całego rozważanego okresu 2010-2020 wskazała generalne spadki, w tym znaczne dla Polski. Analiza średniego dobowego wskaźnika depozycji Hg na poszczególnych stacjach europejskich pokazuje znaczną rozpiętość, widoczną w wielu krajach, w tym również w Polsce.

Modelowanie

Rezultaty obliczeń modelowych wskazują, że Polska należy do obszarów o przeciętnych w Europie stężeniach rtęci powietrzu i jej depozycji do podłoża, poza województwem śląskim i dolnośląskim oraz małymi obszarami związanymi z dużymi źródłami punktowymi, 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 we wschodniej Ukrainie, w południowej Polsce, w północnych Włoszech, na Bałkanach i w Turcji, 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

Materiały źródłowe i zbiory danych przygotowane przez:
oddziały Centralnego Laboratorium Badawczego GIOŚ:

- **w Wrocławiu:** Sprawozdanie z badań jakości powietrza przeprowadzonych na stacji tła regionalnego "Osieczów", Osieczów, gm. Osiecznica, powiat bolesławiecki, Kod stacji: DsOsieczow w roku 2022
- **w Katowicach:** Sprawozdanie z badań jakości powietrza przeprowadzonych na stacji tła regionalnego Złoty Potok, gm. Janów (rejon Leśniczówki), SIzłotyJano_lesni w roku 2022
- **w Bydgoszczy:** Sprawozdanie z badań jakości powietrza przeprowadzonych na stacji tła regionalnego Bory Tucholskie, Zielonka, KpZielBoryTu w roku 2022

- **w Warszawie:** Sprawozdanie z badań jakości powietrza przeprowadzonych na stacji tła regionalnego Granica-KPN, Granica - Kampinoski Park Narodowy, MzGranicaKPN w roku 2022
- oraz **Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy:** Sprawozdanie z badań jakości powietrza przeprowadzonych na stacji tła regionalnego Puszcza Borecka, WmPuszczaBor w roku 2022

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
- EEA (2020):** Air quality in Europe — 2020 report, EEA report, 9/2020, European Environment Agency
- EMEP (2023):** Heavy metals and POPs: Pollution assessment of toxic substances on regional and global scales. Part I. MSC-E; EMEP Status Report 2/2023
- 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 (2022):** Ochrona środowiska 2021. Informacje i opracowania statystyczne. GUS, 2022
- 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 on 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 (2023):** Krajowy bilans emisji SO₂, NO_x, CO, NH₃, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO za lata 1990-2021. Raport syntetyczny. MKiŚ, KOBIZE, 2023
- 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
- 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 15 grudnia 2004 r. w sprawie arsenu, kadmu, rtęci, niklu i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w otaczającym powietrzu (Dz. Urz. UE L 23/3 z 26.1.2005)

KE (2008): Dyrektywa 2008/50/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza 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. zmieniającą 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 (2022): Wykonawczy Program Państwowego Monitoringu Środowiska na rok 2023. Monitoring jakości powietrza. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa2022

- PMŚ (2021):** Wykonawczy Program Państwowego Monitoringu Środowiska na rok 2022. Monitoring jakości powietrza. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa 2021
- PMŚ (2020):** Wykonawczy Program Państwowego Monitoringu Środowiska na rok 2021. Monitoring jakości powietrza. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa 2020
- PMŚ (2020):** Wykonawczy Program Państwowego Monitoringu Środowiska na rok 2020. Monitoring jakości powietrza. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa 2020
- 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
- RMŚ (2020):** Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 11 grudnia 2020 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz. U. z 2020 r. poz. 2279)
- RMŚ (2022):** Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 3 października 2022 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz. U. z 2022 r. poz. 2131)
- RMŚ (2018):** Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8 czerwca 2018 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz. U. z 2018 r. poz. 1119)
- RMŚ (2012):** Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 września 2012 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz. U. z 2012, poz. 1032)
- 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:

- Baza GIOŚ:** Bank danych pomiarowych GIOŚ
- 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:** baza danych emisyjnych EMEP