



Główny Inspektorat Ochrony Środowiska

**Ocena zanieczyszczenia powietrza rtęcią
na stacjach tła regionalnego w Polsce
za 2021 rok**

Warszawa, 2022

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

Spis treści	2
1. Wprowadzenie	3
2. Przyjęte w opracowaniu założenia, kryteria i oznaczenia.....	4
3. Rtęć w środowisku	8
4. Monitoring rtęci w atmosferze w Polsce	11
4.1. Opis stacji	11
4.2. Metodyka pomiarów	13
5. Emisja	15
5.1. Źródła emisji rtęci.....	15
5.2. Produkcja i wykorzystanie rtęci.....	16
5.3. Emisja rtęci w krajach Unii Europejskiej.....	17
5.4. Struktura emisji rtęci w Polsce	19
6. Charakterystyka warunków meteorologicznych	21
7. Ocena zanieczyszczenia atmosfery rtęcią Polsce.....	26
7.1. Zanieczyszczenie powietrza rtęcią	26
7.2. Depozycja rtęci do podłoża	32
8. Ocena zanieczyszczenia atmosfery rtęcią w Europie	36
8.1. Zanieczyszczenie powietrza rtęcią	36
8.2. Depozycja rtęci do podłoża	38
9. Modelowanie	41
9.1. Zanieczyszczenie powietrza rtęcią	41
9.2. Depozycja rtęci do podłoża	43
9.3. Transport transgraniczny rtęci	45
10. Podsumowanie	46
11. Bibliografia.....	48

1. Wprowadzenie

Niniejsze opracowanie wykonane zostało w Instytucie Ochrony Środowiska – Państwowym Instytucie Badawczym w Warszawie, w ramach realizacji umowy GIOŚ/203/2022/DMŚ z dnia 8.08.2022 r. (wraz z Aneksem nr 1 z dnia 19.08.2022 r.) zawartej pomiędzy Instytutem a Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska w Warszawie.

Opracowanie jest kontynuacją wcześniejszych opracowań, obejmujących ocenę zanieczyszczenia powietrza rtęcią od roku 2010 (Pyta H., Zajusz R., 2013; Falkowska L., 2014; Skotak K. i in., 2015; Falkowska L. i in., 2016; Skotak K. i in., 2017; Skotak K. i in., 2018; Skotak i in., 2019; Skotak i in., 2020; Skotak i in., 2021). Opracowania te wykonane na podstawie umów z Głównym Inspektoratem 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. Przeprowadzanie analiz zanieczyszczenia powietrza na poziomie tła regionalnego wynika z zapisów zawartych w Wykonawczym Programie Państwowego Monitoringu Środowiska na rok 2021 (pomiar) i na rok 2022 (raport), dotyczącym monitoringu jakości powietrza, koordynowanym przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Przedstawione opracowanie jest elementem realizacji jednego z zadań związanych z badaniem i oceną stanu zanieczyszczenia powietrza, wykonywanych zgodnie z zapisami ustawy – Poś, umieszczonego w Programie PMŚ pod nazwą „Pomiary składu pyłu zawieszzonego PM10 i PM2,5, rtęci w stanie gazowym oraz depozycji metali ciężkich i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) na stacjach monitoringu tła regionalnego” (PMŚ, 2015; PMŚ, 2020; PMŚ, 2021).

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 12 latach (okres 2010-2021). 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. W opracowaniu skupiono się przede wszystkim na ocenie trendów wyników uzyskanych na poszczególnych stacjach w latach 2010-2021 ze szczególnym zwróceniem uwagi na zmiany w ostatnich 2 latach (2021 w odniesieniu do roku poprzedniego) oraz w roku 2021 na tle wielolecia 2010-2020.

W przypadku oceny wykonanej dla Europy, analizy przeprowadzono dla ostatnich dostępnych danych pochodzących z okresu 2010-2020. 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 i opublikowane przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami Instytutu Ochrony Środowiska – Państwowego Instytutu Badawczego (KOBIZE, 2022) oraz Główny Urząd Statystyczny (GUS, 2021). 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)*, które zastąpiło *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8 czerwca 2018 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (RMŚ, 2018)* (a to 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 2010-2021 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, Koźlenicach, Legnicy, Raciborzu i w Suwałkach, a dla roku 2015 - wyjątkowo w Katowicach i w Jeleniej Górze. Stacje te zlokalizowane są w regionach, w których funkcjonują omawiane w opracowaniu stacje PMŚ.

Analizę wielkości oraz struktury emisji rtęci w Polsce omówiono na podstawie najbardziej aktualnych i dostępnych danych inwentaryzacji emisji wykonanej na poziomie krajowym z roku 2020.

Zmienność stężeń rtęci całkowitej w powietrzu atmosferycznym na poszczególnych stacjach monitoringu wykonujących oznaczenia tego zanieczyszczenia w Polsce przedstawiono na podstawie analiz serii dobowych, zaś depozycji – na podstawie wyników miesięcznych. W celu zestawienia wyników stężeń Hg w powietrzu pochodzących ze wszystkich stacji w jednolity sposób, umożliwiając porównanie wyników w skali roku, 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”.

Do oceny poziomów stężeń w powietrzu atmosferycznym i depozycji rtęci w Europie, wybrano wszystkie stacje pozamiejskie tła, na których w latach 2010-2020 prowadzono pomiary rtęci (ostatnie dostępne dane w bazie europejskiej są z roku 2020), 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 obliczono jako średnią arytmetyczną z wartości średnich rocznych z pojedynczych stacji funkcjonujących na jego terenie. Wartości minimalne i maksymalne w kraju odnoszą się do pojedynczej stacji.

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,

Słato – 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,

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

Dzima – sumaryczna roczna 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 $Hg(CH_3COO)_2$, siarczku rtęci HgS , siarczanu rtęci $HgSO_4$, azotanu rtęci $Hg(NO_3)_2$ 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 $10^\circ C$. Lotność związków rtęci kształtuje się w następującej kolejności (szereg malejący): $Hg^0 > Hg_2Cl_2 > HgCl_2 > HgS > HgO$. 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 ($\cdot OH$);
- reakcja z rodnikiem azotanowym ($\cdot NO_3$);
- 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. 33 europejskie i północnoamerykańskie kraje podpisały Protokół z Aarhus w sprawie metali ciężkich (UNECE, 1998), jako część w Konwencji w sprawie transgranicznego zanieczyszczenia powietrza na dalekie odległości (CLRTAP). Postawiono wymagania w celu zmniejszenia wykorzystania rtęci w produktach, a także zmniejszenia emisji rtęci, kadmu i ołowiu do powietrza z przemysłu, procesów spalania i przetwarzania odpadów. Protokół z Aarhus wszedł w życie w 2001 roku, w konsekwencji czego UE wdrożyła kilka polityk mających na celu zmniejszenie emisji rtęci.

W 2002 r. Organizacja Narodów Zjednoczonych (ONZ) zleciła badanie w celu określenia globalnego wpływu rtęci na środowisko i zdrowie ludzi (UNEP, 2002). Stwierdzono, że rtęć stwarza znaczące ryzyko dla środowiska i że niezbędne są dalsze działania międzynarodowe. W październiku 2013 r. zostało przyjęte porozumienie międzynarodowe, obecnie znane jako Konwencja z Minamaty (UNEP, 2017). Została ona dotychczas ratyfikowana przez ponad 100 Stron, w tym Polskę (w 2021 r.). Powszechnie 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 wprowadzona 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 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:

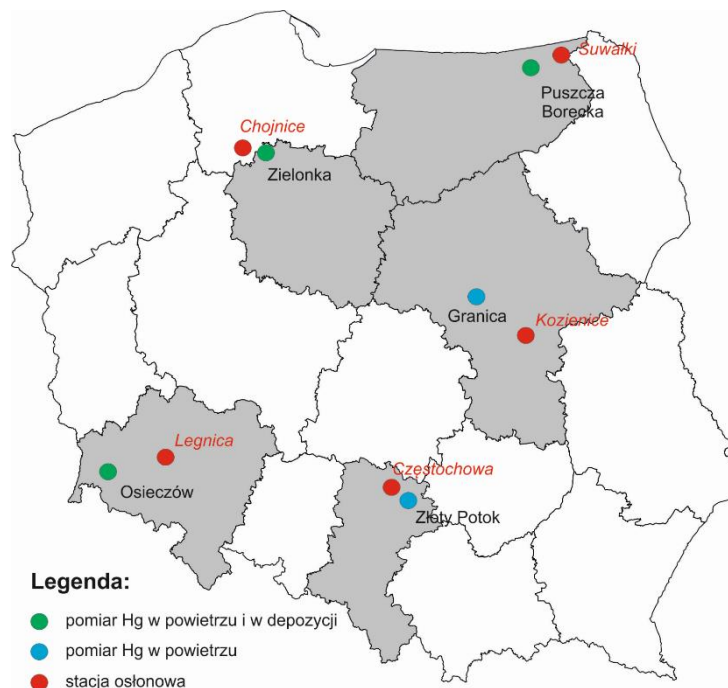
- Granica (województwo mazowieckie),
- Osieczów (województwo dolnośląskie),
- Puszcza Borecka (województwo warmińsko-mazurskie),
- Zielonka (województwo kujawsko-pomorskie),
- Złoty Potok (województwo śląskie).

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

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

² Dyrektywa 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)

³ Dyrektywa Komisji (UE) 2015/1480 z dnia 28 sierpnia 2015 r. zmieniająca niektóre załączniki do dyrektyw Parlamentu Europejskiego i Rady 2004/107/WE i 2008/50/WE ustanawiających przepisy dotyczące metod referencyjnych, zatwierdzania danych i lokalizacji punktów pomiarowych do oceny jakości powietrza (KE, 2015)



Rys. 4.1. Lokalizacja stacji tła regionalnego oraz osłonowych stacji meteorologicznych (źródło danych: PMS/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 2010-2021 (rozdział 5). W tabeli zaznaczono również elementy programu pomiarowego realizowanego w roku 2021.

Tab. 4.1. Podstawowe informacje o stacjach tła regionalnego w Polsce (źródło danych: PMS/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 w Warszawie	GIOŚ	GIOŚ
Kod w SI Ekoinfonet	MzGranicaKPN	DsOsieczow21	WmPuszczaBor	KpZielBoryTu	SlZlotPotLes
Kod w EIONET	PL0128A	PL0505A	PL0005R	PL0077A	PL0243A
Stacja osłonowa	Kozienice	Legnica / Jelenia Góra [*])	Suwałki	Chojnice	Częstochowa / Katowice ^{**})
Rtęć w powietrzu	+	+	+	+	+
Depozycja Rtęci		+	+	+	

^{*} dla roku 2015 uwzględniono dane ze stacji Jelenia Góra (niepełna seria pomiarowa dla stacji Legnica)

^{**} dla roku 2015 uwzględniono dane stacji Katowice (niepełna seria pomiarowa dla stacji Częstochowa)

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). W 2021 roku następowało częste zawieszanie pomiarów, brak rejestracji wyników w pojedynczych dobach. Prowadzono przegląd, diagnostykę, naprawę u producenta w okresie V-IX 2021, a w tym czasie pracował na stacji analizator zastępczy tego samego typu. Roczna seria pomiarowa nie przeszła jednak pozytywnie weryfikacji i wyniki nie są prezentowane w niniejszym raporcie.

W tabeli 4.2 zestawiono informacje o metodach pomiarów stężeń całkowitej rtęci gazowej stosowane przez stacje tła regionalnego w 2021 roku.

Tab. 4.2. Informacje o metodach pomiaru stężenia całkowitej rtęci gazowej na stacjach tła regionalnego w Polsce w 2021 (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/KD
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 (zimą ok. +5°C)	+4 do +6 °C
Opcja podgrzewania leja	tak	tak	tak
Częstotliwość zmiany butli	co 4-5 tygodni	co 1 tydzień	co 2 tygodnie
Metoda określania wysokości opadu	obliczeniowa na podstawie masy próbki	obliczeniowa na podstawie masy próbki + deszczomierz Hellmanna	obliczeniowa na podstawie objętości 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.

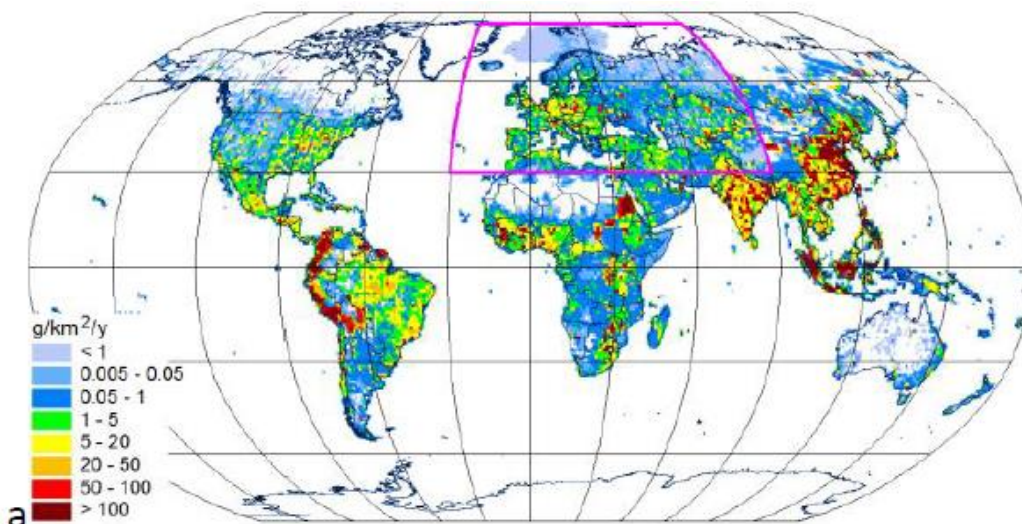
Źródła antropogeniczne:

- 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 2020 [g/km^2] (siatka $1^\circ \times 1^\circ$) wykorzystywany w obliczeniach modelowych MSC-E EMEP (źródło: EMEP Status Report 2/2022)

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. Wydobywanie 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 wydobywanie zmniejszyło się znacząco, chociaż w ostatnich latach niektóre kopalnie znowu zostały otwarte. Obecnie rtęć jest wydobywana tylko w 4 krajach: Chinach, Indonezji, Kirgistanie i Meksyku. Produkcja rtęci została przeniesiona do regionów o największym zapotrzebowaniu (w małych kopalniach złota i do produkcji chlorku winylu), podczas gdy Europa i Ameryka Północna wprowadziły ograniczenia dotyczące produkcji, handlu i użytkowania rtęci.

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

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

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

Rzemieślnicze 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 stosuje się ją tylko w jednej fabryce na Słowacji, która ma zaprzestać jej używania do roku 2022.

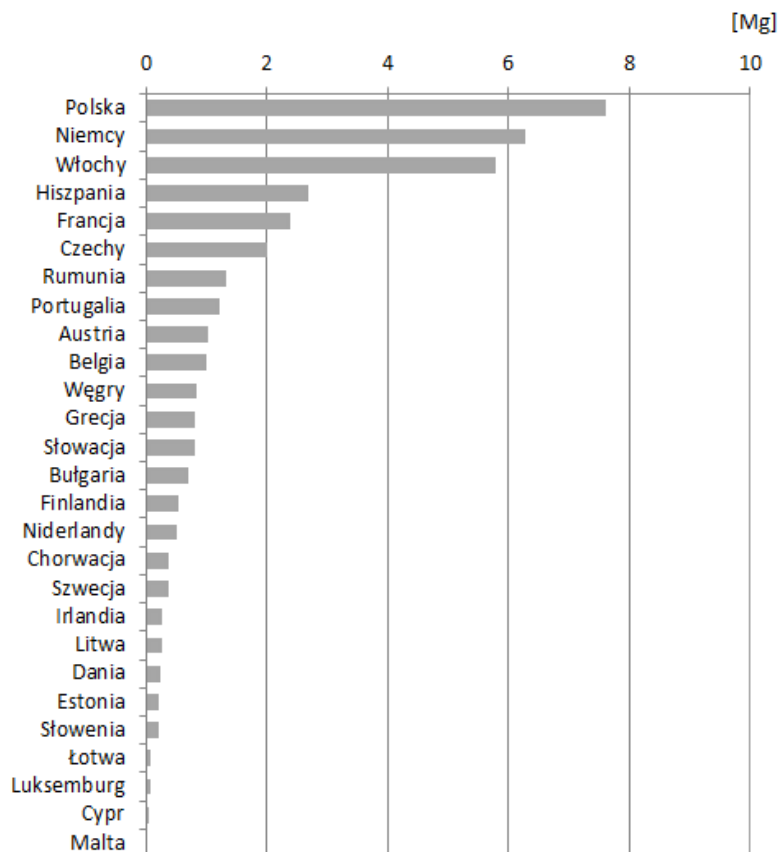
W krajach Unii Europejskiej w 2015 roku 85 ton rtęci zużyto w przemyśle chloro-alkalicznym a 56 ton w stomatologii. Ponieważ w 2017 roku zakazano używania rtęci w przemyśle przy produkcji związków chloru, to główne zużycie przypada na stomatologię.

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

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

5.3. Emisja rtęci w krajach Unii Europejskiej

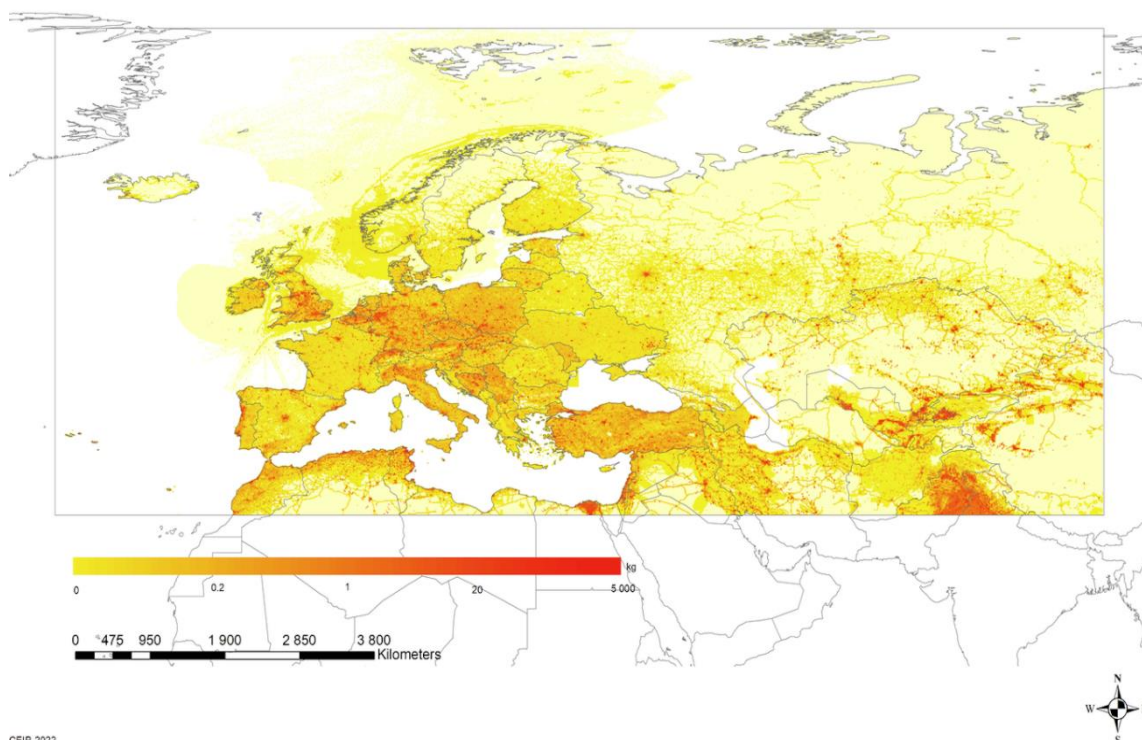
Według danych gromadzonych w ramach *Konwencji w sprawie transgranicznego zanieczyszczenia powietrza na dalekie odległości (Konwencja LRTAP)*, w 27 krajach Unii Europejskiej w 2020 roku wyemitowano ze źródeł antropogenicznych 37,6 Mg rtęci (ostatnie dostępne dane raportowane przez kraje-strony Konwencji, 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 ponad 78% rtęci wyemitowanej w roku 2020 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 Maltą, Łotwą i Węgrami odnotowano spadek emisji, co spowodowało, że sumaryczna emisja rtęci na obszarze Unii Europejskiej (przy uwzględnieniu 27 krajów) była o blisko 50% mniejsza.



Rys. 5.2. Wielkości emisji rtęci w 27 krajach Unii Europejskiej w roku 2020 [Mg]
 (źródło danych: <http://webdab01.umweltbundesamt.at>)

Emisja z 27 krajów Unii Europejskiej w 2020 roku stanowiła 20,9% 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 2020 roku wynosił 20,3% (wzrost w stosunku do roku 2010 o 1,1 punktu procentowego), a w emisji z domeny EMEP - 4,2% (spadek o 2,6 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-2022

Rys. 5.3. Rozkład przestrzenny emisji rtęci w domenie EMEP w roku 2020 [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 (KOBIZE, 2022). 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 zanieczyszczenia 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 2020 krajowa emisja rtęci wyniosła 7,63 Mg; w stosunku do emisji z poprzedniego roku była ona o 4,0% mniejsza.

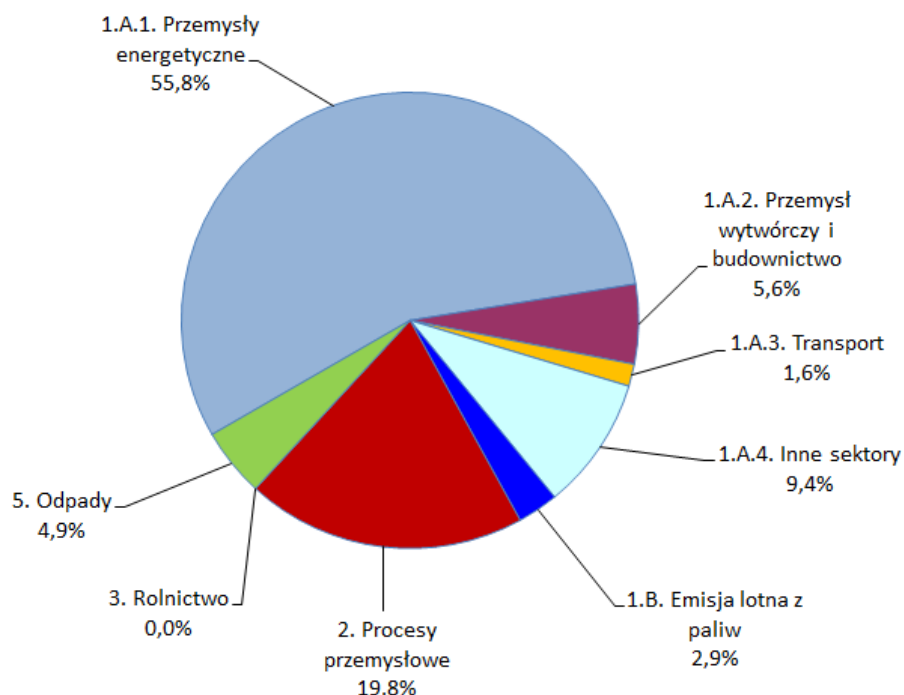
W tabeli 5.1. zestawiono wielkości emisji rtęci z głównych sektorów NFR w roku 2020.

Tab. 5.1. Emisja rtęci w Polsce z głównych sektorów (NFR) w roku 2020 (źródło danych: KOBiZE, 2022)

Źródła emisji	Hg
	[Mg]
1. Energia	5,75
A. Spalanie paliw	5,53
1. Przemysły energetyczne	4,25
2. Przemysł wytwórczy i budownictwo	0,43
3. Transport	0,12
4. Inne sektory	0,72
B. Emisja lotna z paliw	0,22
1. Lotna emisja z paliw stałych	0,09
2. Lotna emisja z systemu gazu ziemnego i ropy naftowej	0,13
2. Procesy przemysłowe	1,51
A. Produkty mineralne	0,30
B. Przemysł chemiczny	0,00
C. Produkcja metali	0,99
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	0,37
A. Składowiska odpadów stałych	0,00
C. Spopielanie i otwarte spalanie odpadów	0,37
D. Gospodarka ściekami	0,00
E. Inne	0,00
Suma	7,63

Udział emisji z poszczególnych sektorów w emisji krajowej rtęci w 2020 roku zaprezentowano na rysunku 5.4.

Dominującym źródłem emisji rtęci jest spalanie paliw w sektorze 1A1. *Przemysły energetyczne*. W roku 2020 z tego sektora pochodziło 55,8% rtęci. Na kolejnych miejscach – ze znacznie mniejszym udziałem w całkowitej emisji Hg – znalazły się: *Procesy przemysłowe* (19,8%), następnie *Inne sektory* (gdzie mieszczą się instytucje, handel, usługi, gospodarstwa domowe, spalanie paliw w rolnictwie, leśnictwie i rybołówstwie) (9,4%) oraz *Przemysł wytwórczy i budownictwo* (5,6%) oraz *Odpady* (4,9%). W dalszej kolejności znalazły się kategorie: *Emisja lotna z paliw* (2,9%) i *Transport* (1,6%). Emisja z pozostałych sektorów była pomijalnie mała.



Rys. 5.4. Główne sektory emisji rtęci w Polsce w 2020 roku (źródło danych: KOBiZE, 2022)

Biorąc pod uwagę emisję rtęci w roku 2020 z zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza można stwierdzić, że 48,9% emisji krajowej z tego typu zakładów miało źródło w województwie łódzkim (główne źródło - elektrownia w Bełchatowie). Na kolejnych miejscach znalazły się województwa: dolnośląskie (16,0% emisji), mazowieckie (8,9%), śląskie (6,5%), wielkopolskie (6,1%) i świętokrzyskie (4,7%). Listę zamykają województwa warmińsko-mazurskie i podlaskie (odpowiednio 0,11% i 0,09% emisji rtęci z zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza w Polsce); brak danych dla województwa lubuskiego (GUS, 2021).

6. Charakterystyka warunków meteorologicznych

W niniejszym rozdziale przedstawiono podstawowe informacje dotyczące zmienności wybranych wielkości meteorologicznych w roku 2021 na tle okresu 2010-2020 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

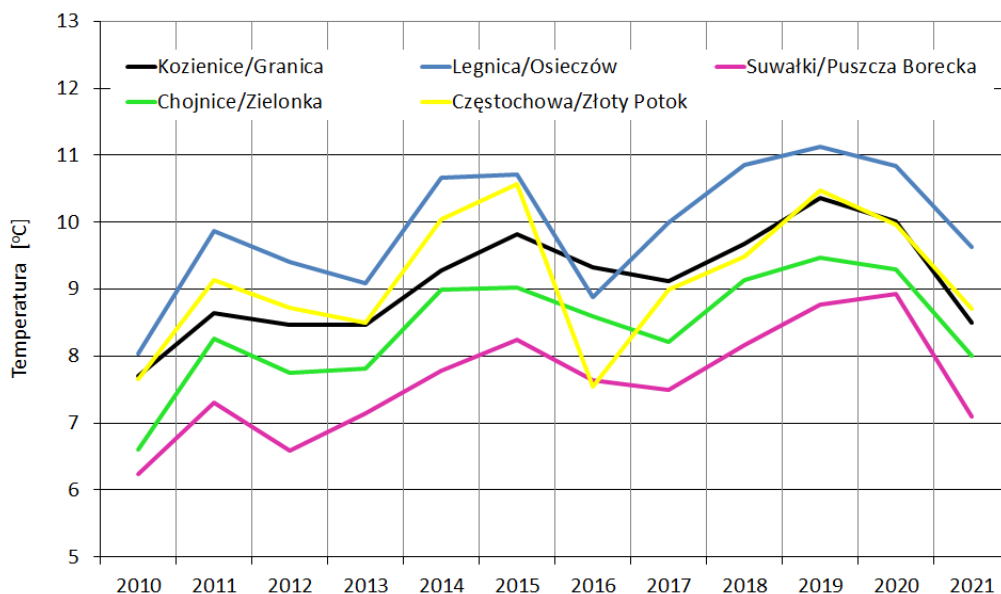
Temperatura powietrza jest głównym parametrem meteorologicznym mającym bezpośredni i pośredni wpływ na obserwowane stężenia rtęci w powietrzu. W sezonie chłodnym, przy niskich temperaturach powietrza zwiększa się zapotrzebowanie na ciepło i tym samym wzrasta emisja rtęci w wyniku produkcji energii pochodzącej 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 sprzyjają powstawaniu sytuacji epizodycznych.

W roku 2021 średnia roczna temperatura powietrza na wszystkich uwzględnionych w opracowaniu stacjach była zdecydowanie niższa względem średniej z wielolecia 2010-2020 i w stosunku do wartości z roku ubiegłego (Tab. 6.1). Na wszystkich stacjach temperatura była niższa o kilkanaście procent (średnio o ok. -16%) w stosunku do roku poprzedniego, natomiast względem średniej z okresu wcześniejszego - niższa o około -6%. W rejonie północno-wschodniej Polski (Puszcza Borecka) wartości temperatury były jak zwykle najniższe w wieloleciu.

Tab. 6.1. Średnie roczne temperatury w latach 2010-2021 i ich względne zmiany; wyniki ze stacji ostonowych dla wymienionych stacji tła regionalnego (źródło danych: IMGW-PIB)

Parametr	Okres	Stacja				
		Granica	Osieczów	Puszcza Borecka	Zielonka	Złoty Potok
Temperatura [°C]	2020	10,0	10,8	8,9	9,3	10,0
	2021	8,5	9,6	7,1	8,0	8,7
	2010-2020	9,2	10,0	7,7	8,5	9,2
Różnica względna [%]	2021/2020	-16,4%	-12,1%	-23,8%	-15,3%	-13,7%
	2021/(2010-2020)	-7,3%	-3,2%	-7,3%	-5,4%	-5,3%

Rok 2021 pod względem termicznym był jednym z najchłodniejszych okresów w Polsce w rozważanym 12-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 2010-2021 tendencja zmian temperatury na wszystkich stacjach jest dodatnia, o średnim wzroście $1,4^{\circ}\text{C}/10$ lat i przy współczynniku korelacji $R^2=0,36$.



Rys. 6.1. Średnie roczne wartości temperatury powietrza w latach 2010-2021 w rejonach stacji tła regionalnego (źródło danych: IMGW-PIB)

Podsumowując można stwierdzić, że rok 2021 należał statystycznie do chłodniejszych okresów wielolecia. Na takie warunki miały wpływ względnie chłodne miesiące zimowe: styczeń, luty i grudzień oraz przeciętnie ciepłe miesiące letnie, z których najcieplejszymi były czerwiec i lipiec.

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.

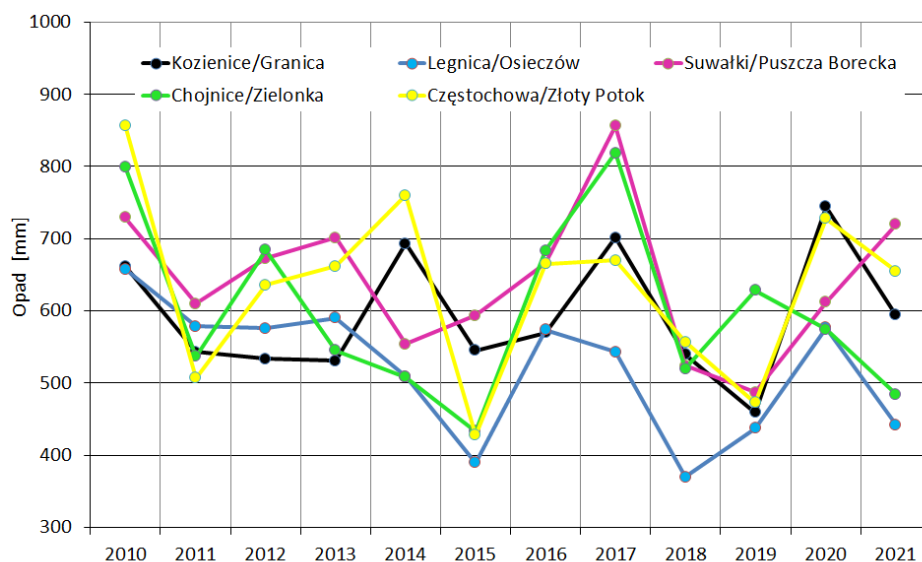
W 2021 roku sumaryczna wysokość opadu w rejonach większości stacji (z wyjątkiem rejonu Puszczy Boreckiej) była niższa w stosunku do wartości z roku poprzedniego (Rys. 6.2), a względne największe zmiany wniosły blisko -22% dla Granicy i Osieczoza (Tab. 6.2). W rejonie stacji Złoty Potok roczne opady były niższe o około -10% w stosunku do roku 2020. W stosunku do wartości średniej dla wielolecia (2010-2020) opady w roku 2021 były najniższe w rejonie stacji Zielonka (-21%), a najwyższe - w rejonie stacji Puszcza Borecka (13%). Stacje Granica i Złoty Potok charakteryzowały się nieznacznym, kilkuprocentowym wzrostem opadów względem średnich z wielolecia.

Tab. 6.2. Roczne sumy wysokości opadu w latach 2010-2021 i względne ich zmiany (źródło danych: IMGW-PIB)

Parametr	Okres	Stacja				
		Granica	Osieczków	Puszcza Borecka	Zielonka	Złoty Potok
Wysokość opadu [mm]	2020	744,5	576,2	612,1	574,5	727,9
	2021	594,0	442,1	720,0	484,2	655,1
	2010-2020	592,9	527,3	636,9	612,0	631,1
Różnica względna [%]	2021/2020	-20,2%	-23,3%	17,6%	-15,7%	-10,0%
	2021/(2010-2020)	0,2%	-16,2%	13,0%	-20,9%	3,8%

W roku 2021 przeważały jak zwykle opady w ciepłej połowie roku. W rejonach większości stacji tła regionalnego najniższe opady odnotowano w okresie luty-marzec i na niektórych stacjach - w październiku, często nie przekraczające 20 mm. Najwyższe opady wystąpiły na większości stacji w okresie lipiec-sierpień, nawet przekraczające 200 mm (w sierpniu 205mm w rejonie stacji Złoty Potok).

Cechą charakterystyczną warunków opadowych w roku 2021 był wzrost sumy opadów względem średniej z okresu 2010-2020 w rejonach Puszczy Boreckiej i Złoty Potok oraz spadek opadów w rejonach Zielonka i Osieczów.



Rys. 6.2. Sumy roczne wysokości opadu w latach 2010-2021 w rejonach stacji tła regionalnego (źródło danych: IMGW-PIB)

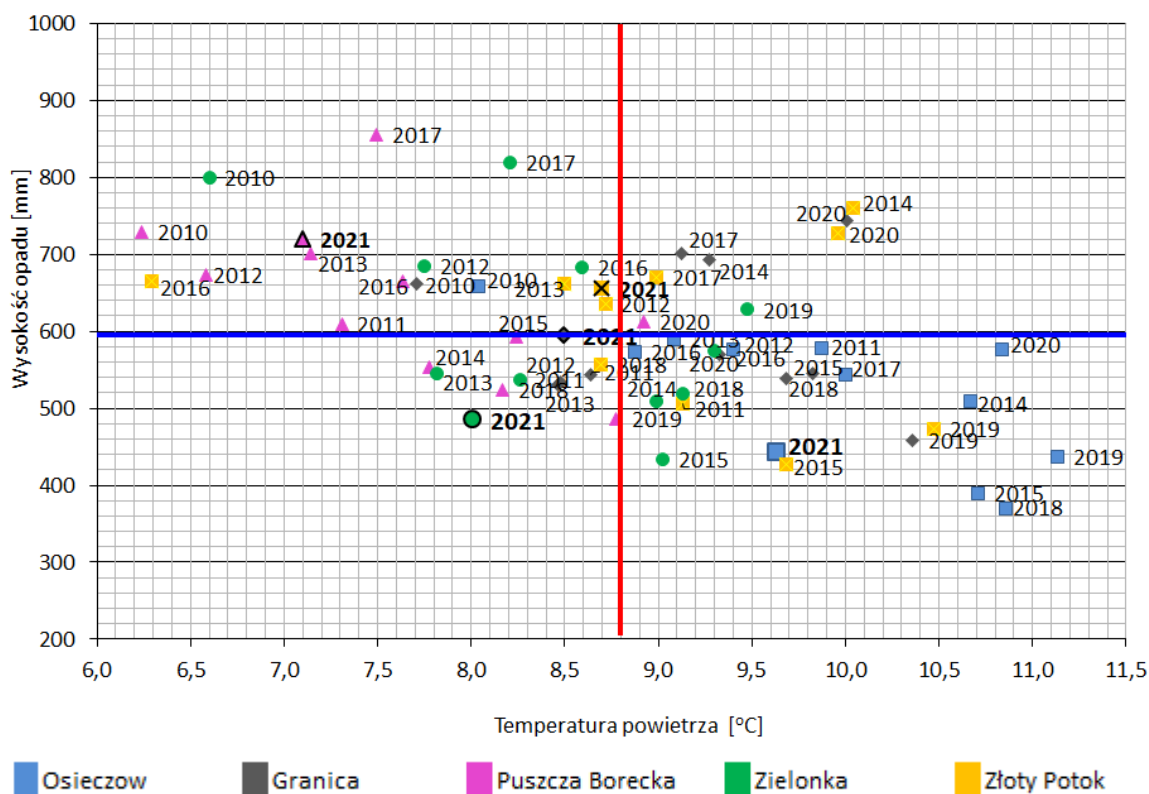
Warunki termiczno-opadowe

Charakterystykę warunków termiczno-opadowych dla rejonów każdej stacji w okresie 2010-2021 przedstawiono na rysunku 6.3. Linie pionową i poziomą wyznaczono na podstawie wartości średnich obliczonych dla wszystkich stacji osłonowych z okresu analizowanych 12 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 typu Hellmanna 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 2021 był jak zwykle rejon stacji Osieczów, zaś najchłodniejszym - rejon stacji Puszcza Borecka, jak najczęściej bywało w poprzednich latach.

Opady w tym roku, o dość zróżnicowanej wysokości, były na ogół niższe niż w roku ubiegłym. Najwyższe opady wystąpiły w rejonie stacji Puszcza Borecka, a najniższe - w rejonie stacji Osieczów.



Rys. 6.3. Charakterystyka warunków termiczno-opadowych w latach 2010-2021 dla uśrednionych wartości temperatury i wysokości opadu dla stacji ostonowych 5 stacji tła regionalnego (źródło danych: IMGW-PIB)

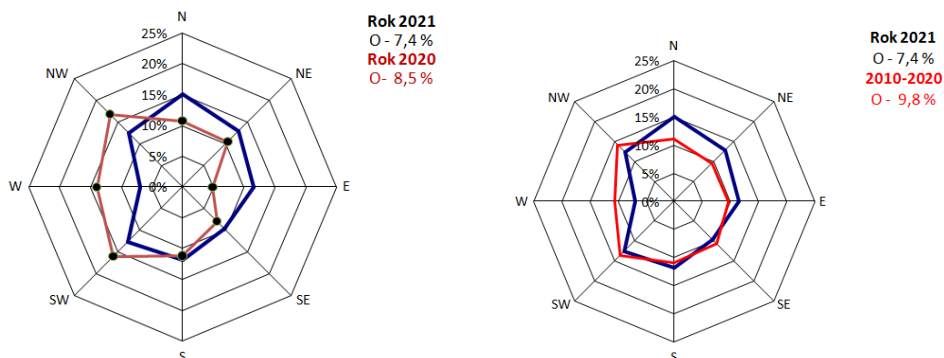
Generalnie w wieloleciu najchłodniejszym i najbogatszym w opady rejonem był obszar wokół stacji Puszcza Borecka, natomiast najcieplejszym i jednocześnie najuboższym w opady był rejon stacji Osieczów. Najbardziej zbliżonymi do przeciętnych pod względem temperatury i wysokości opadów w okresie 2010-2021 były rejony stacji Zielonka i 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 2021 nad Polskę najczęściej napływały masy powietrza z sektora północnego (38%), z przewagą kierunku północnego o częstotliwości 15,1%, będącej rekordową wartością w analizowanym wieloleciu (Rys. 6.4). Najrzadziej masy powietrza przemieszczały się z kierunku zachodniego (6,8%). Wyjątkowo niska była też częstotliwość występowania cyrkulacji typu (0). Obserwowana jest wyraźna tendencja spadkowa cyrkulacji typu „0”. Znacznie słabsze

tendencje spadkowe częstości występowania można zaobserwować dla kierunków: E i SE, natomiast tendencje wzrostowe – dla kierunków: N, S i NW.



Rys. 6.4. Częstość wstępowania poszczególnych kierunków cyrkulacji atmosferycznej w 2021 roku na tle wartości z roku 2020 i okresu 2010-2020 (źródło danych: IMGW-PIB)

Podsumowując można stwierdzić, że cechą charakterystyczną napływu mas powietrza nad stacje tła regionalnego w 2021 roku była ponad przeciętna częstość adwekcji z sektora wschodniego, kosztem adwekcji z sektora zachodniego, czyli odwrotnie niż w poprzednim roku.

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 2010-2021.

7.1. Zanieczyszczenie powietrza rtęcią

Ocenę zanieczyszczenia powietrza rtęcią w postaci gazowej w latach 2010-2020 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. nie przeszła pozytywnie weryfikacji ze względu na wykorzystywanie dwóch różnych analizatorów (zastępczego w czasie naprawy pracującego rutynowo). 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 i automatycznych 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.

Tab. 7.1. Średnie roczne i sezonowe oraz maksymalne i minimalne stężenia rtęci w powietrzu atmosferycznym na stacjach tła regionalnego w latach 2010-2021 (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
	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

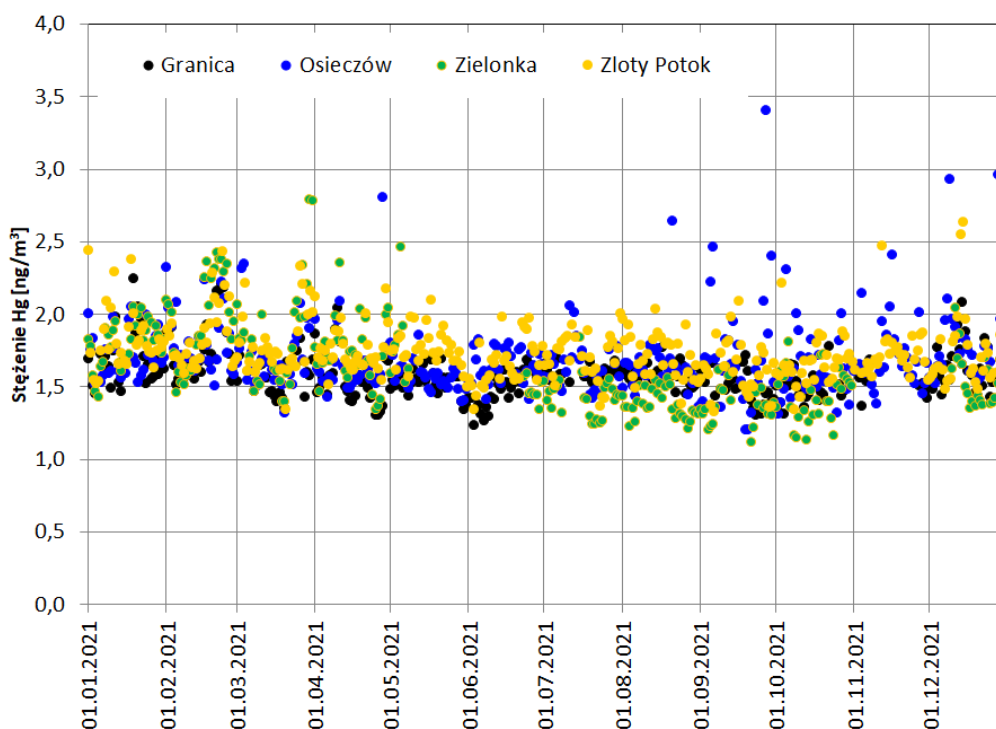
Rok	Stacja	Liczba wyników		Stosunek lato/zima	Stężenie [ng/m ³]				
		Rok	Kompletność		Sa	Slato	Szima	S24min	S24max
	Zielonka	308	84,2%	1,23	1,605	1,448	1,797	1,158	3,296
	Złoty Potok	358	97,8%	0,98	1,707	1,589	1,822	1,172	2,640
2021	Granica	315	86,3%	1,19	1,578	1,540	1,623	1,230	2,242
	Osieczów	359	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

*) 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

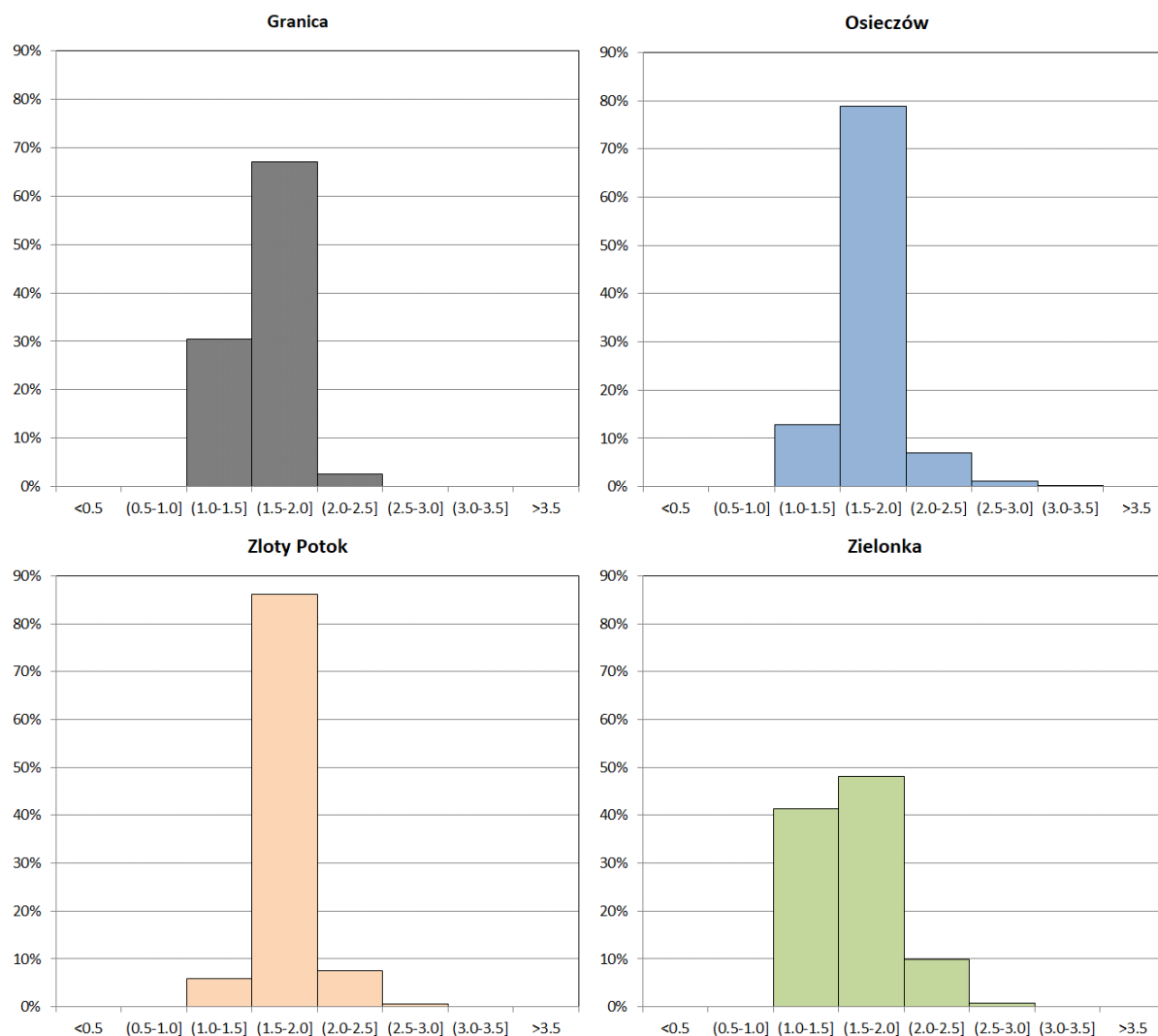
Analiza wartości stężeń średnich dobowych na stacjach tła regionalnego w roku 2021 wskazuje na stosunkowo niskie poziomy rtęci gazowej, zawierające się w granicach od 1,11 do 3,4 ng/m³ (Rys. 7.1, Tab. 7.1). Rozpiętość stężeń dobowych Hg w powietrzu atmosferycznym w całym rozważanym okresie ostatnich 12 lat (2010-2021) 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).



Rys. 7.1. Przebieg średnich dobowych stężeń Hg w powietrzu na stacjach tła regionalnego w roku 2021 (źródło danych: PMŚ)

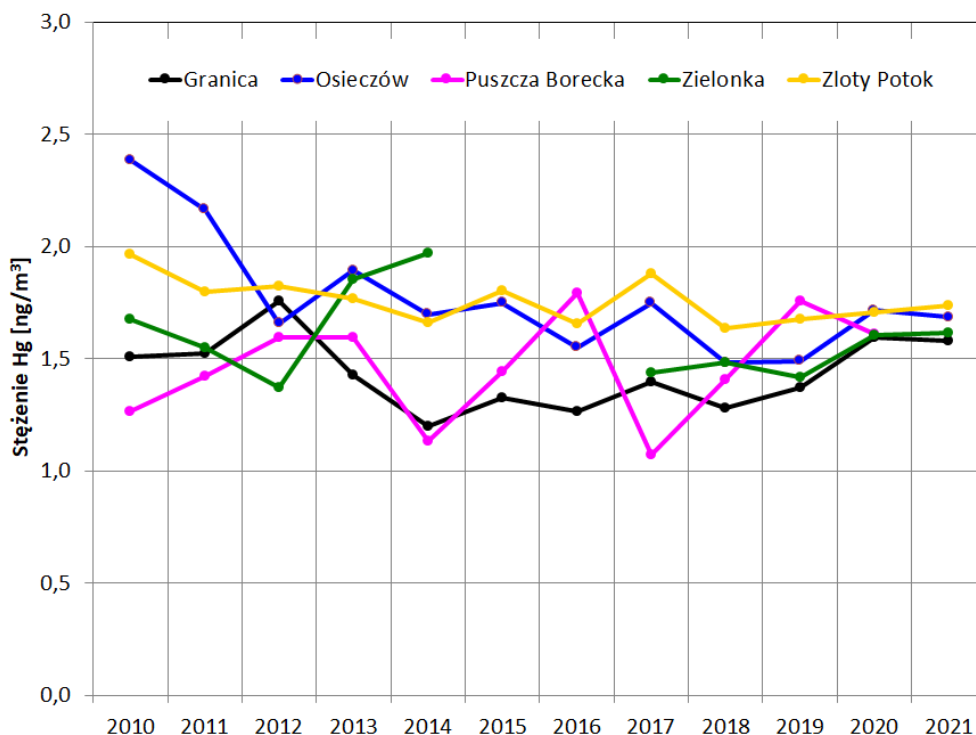
Analiza częstości występowania wartości stężeń średnich dobowych rtęci w powietrzu atmosferycznym potwierdza prawidłowości zależne od lokalizacji stacji. W 2021 roku bardzo podobne rozkłady stężeń uzyskano na stacjach Granica, Osieczów i Złoty Potok, gdzie zdecydowana większość wartości stężeń zawierała się w granicach 1,5 – 2,0 ng/m³. Nieco inaczej stężenia układały się na stacji Zielonka, gdzie znaczący udział w przebiegu stężeń, poza wartościami z przedziału 1,5 – 2,0 ng/m³ miały również wartości w granicach

1,0 – 1,5 ng/m³, co wskazuje na najmniejszą zmienność stężeń wśród rozważanych stacji (Rys. 7.2). Podobne zależności obserwowano w latach wcześniejszych.



Rys. 7.2. Histogramy rozkładu średnich dobowych stężeń całkowitej rtęci w powietrzu na stacjach tła regionalnego w roku 2021 (źródło danych: PMS)

Analiza wyników średnich rocznych obliczonych na podstawie stężeń średnich dobowych pokazuje, że najwyższe stężenia rtęci w powietrzu w 2021 roku uzyskano na stacjach Złoty Potok (powyżej 1,7 ng/m³) i Osieczów (blisko 1,7 ng/m³). Na stacjach Granica i Zielonka uzyskano podobne wartości na poziomie ok. 1,6 ng/m³. Największą rozpiętość stężenia pomiędzy maksymalną a minimalną wartością dobową w roku 2021 zaobserwowano odpowiednio na stacji w Osieczowie (2,21 ng/m³) oraz w Zielonce (1,67 ng/m³), zaś najniższe na stacji w Granicy (1,01 ng/m³). Na wszystkich stacjach w roku 2021 odnotowano wyższe stężenia zimą. Przeciętne różnice stężeń obserwowane w sezonach ciepłym i chłodnym nie były wysokie i nie przekraczały 0,2 ng/m³. Zdecydowanie najmniejszą rozpiętość pomiędzy sezonami obserwowano na stacji Złoty Potok - na poziomie 0,06 ng/m³.



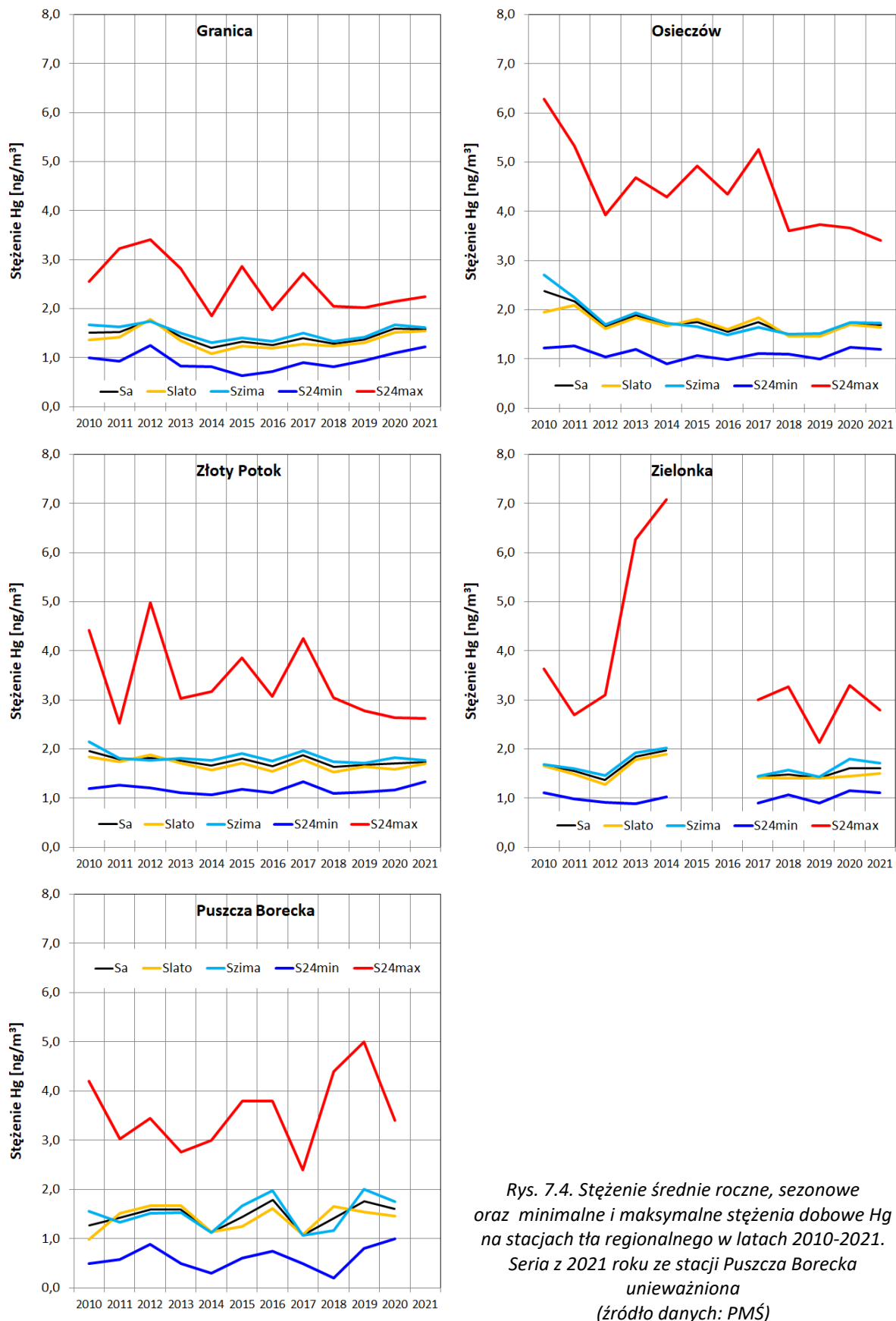
Rys. 7.3. Stężenie średnie roczne Hg na stacjach tła regionalnego w latach 2010-2021. Seria z 2021 roku ze stacji Puszcza Borecka unieważniona (źródło danych: PMŚ)

W roku 2021 spadek średniego rocznego stężenia Hg w powietrzu w stosunku do wartości z roku poprzedniego zaobserwowano na stacjach Granica i Osieczów, a wzrost na stacjach Zielonka i Złoty Potok, przy czym zmiany te były bardzo niewielkie i nie przekroczyły 2%. W przypadku analizy wartości średniej rocznej z 2021 roku w zestawieniu ze średnią z wielolecia (2010-2020), niższe wartości uzyskano na stacjach Osieczów i Złoty Potok, zaś wyższe na stacji Granica i Zielonka. Zmiany względne wyniosły po kilka procent, jedynie w Granicy przekroczyły 10% (Tab. 7.2, Rys. 7.3).

Tab. 7.2. Zmiany względne stężeń średnich rocznych Hg w roku 2021 względem roku 2020 oraz wartości średnich z lat 2010-2020. Czerwoną czcionką zaznaczono wzrosty stężeń (źródło danych: PMŚ)

Parametr	Okres	Stacja				
		Granica	Osieczów	Puszcza Borecka	Zielonka	Złoty Potok
Stężenie [ng/m³]	2020	1,596	1,716	1,609	1,605	1,707
	2021	1,578	1,687	-	1,616	1,737
	2010-2020	1,422	1,776	1,464	1,581	1,762
Różnica względna [%]	2021/2020	-1,1%	-1,7%	-	0,7%	1,8%
	2021/2010-2020	10,9%	-5,0%	-	2,3%	-1,4%

Zmienność najwyższych i najniższych wartości średnich dobowych stężeń rtęci w powietrzu, wartości sezonowych oraz średnich rocznych w latach 2010-2021 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 2010-2021. Seria z 2021 roku ze stacji Puszcza Borecka unieważniona (źródło danych: PMŚ)

Na wszystkich stacjach, w roku 2021 w stosunku do roku 2020, zaobserwowano wzrost stężeń w sezonie ciepłym i spadek w sezonie chłodnym z wyjątkiem stacji Osieczów, gdzie

odnotowano spadek w obu sezonach. Analiza wartości dobowych pokazała, że na wszystkich stacjach, oprócz Granicy, w roku 2021 zaobserwowano spadek stężeń maksymalnych dobowych, a w Zielonce i Osieczowie także spadek stężeń minimalnych w stosunku do roku 2020. Warto wskazać na utrzymujące się przez cały analizowany okres 2010-2021 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 wskazują 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.

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 2010-2021 przedstawiono w tabeli 7.3. Najwyższy wskaźnik depozycji w roku 2021 zanotowano w Osieczowie, zaś najniższy w Puszczy Boreckiej (Tab. 7.3)

Tab. 7.3. Roczne wartości depozycji Hg na stacjach tła regionalnego w latach 2010-2021 (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
	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

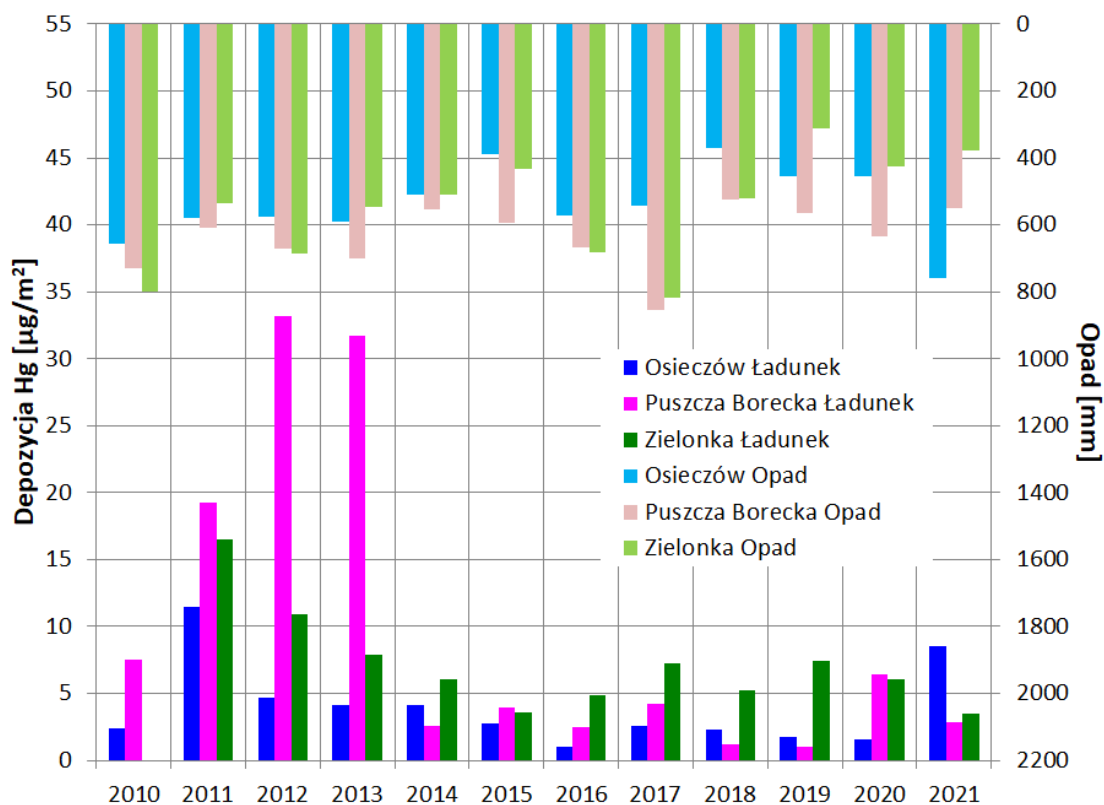
Rok	Stacja	Pokrycie		Ładunek [$\mu\text{g}/\text{m}^2$]			Wskaźnik [$\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień]		
		Liczba dni	Stosunek lato/zima	rok	lato	zima	rok	lato	zima
	Zielonka ^{***}	155	0,60	7,802	2,948	4,854	0,051	0,064	0,045
2018	Osieczów	365	0,98	2,328	1,755	0,573	0,007	0,010	0,003
	Puszcza Borecka	364	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

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

^{**)} brak wyników z okresu X-XII

^{***)} próbki pobierane przez 2 tygodnie w miesiącu

Ocena zmian depozycji Hg w 2021 roku w stosunku do uzyskanej wartości dla wielolecia 2010-2020 wskazuje na spadek zarówno ładunku jak i wskaźnika depozycji dla wszystkich analizowanych stacji. Najbardziej znaczące spadki zaobserwowano dla Zielonki (bez roku 2010 i dla krótszych okresów pobierania próbek w latach 2015-2019) w przypadku wskaźnika (66,5%) oraz Osieczowa w przypadku ładunku (blisko 56%). Analizując zmiany z roku na rok (w latach 2020-2021), największy wzrost wskaźnika depozycji zaobserwowano w przypadku Osieczowa, gdzie zaobserwowano największą wartość wskaźnika. Na pozostałych dwóch stacjach odnotowano zmniejszenie ładunków i wskaźników o kilkadziesiąt procent (Tab. 7.4, Rys. 7.5).

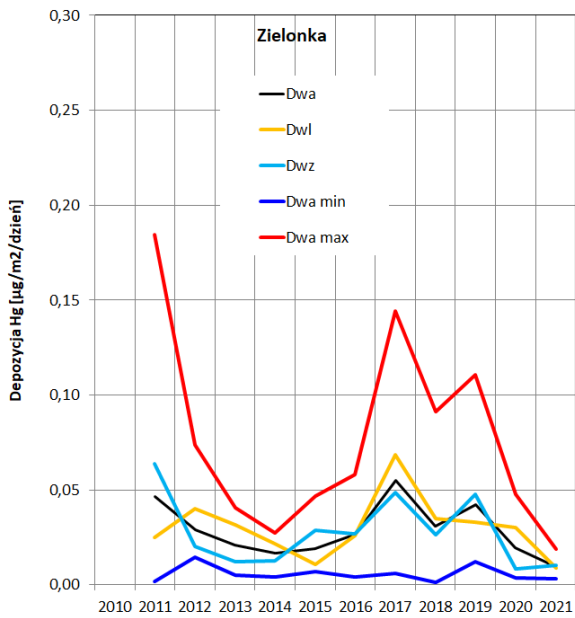
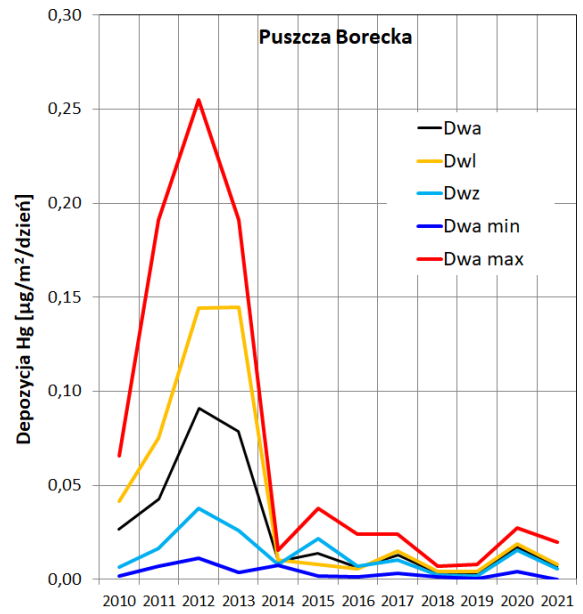
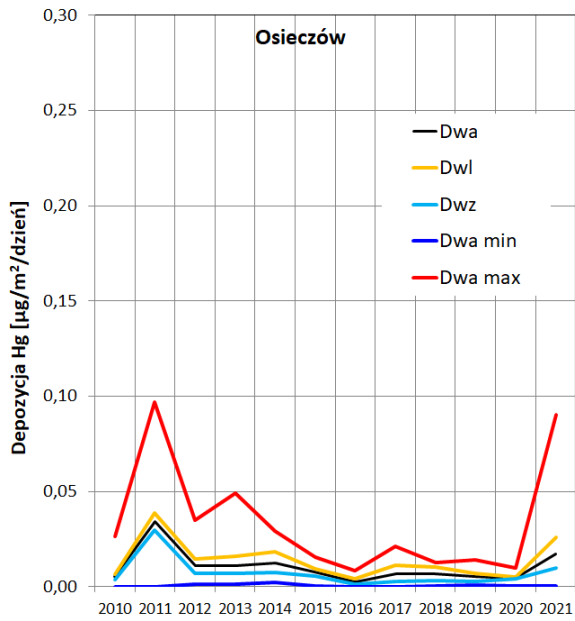


Rys. 7.5. Roczne wartości depozycji Hg na stacjach tła regionalnego na tle wysokości sumy opadów w latach 2010-2021 (źródło danych: PMŚ)

Tab. 7.4. Zmiany względne ładunku i wskaźnika depozycji Hg w roku 2021 względem roku 2020 oraz wartości średnich z lat 2010-2020. Czerwoną czcionką zaznaczono wzrost ładunku/ wskaźnika (źródło danych: PMŚ)

Parametr	Okres	Stacja		
		Osieczów	Puszcza Borecka	Zielonka
Ładunek [$\mu\text{g}/\text{m}^2$]	2020	1,558	6,436	6,057
	2021	8,505	2,867	3,477
	2010-2020	3,527	10,324	8,043
Różnica względna dla ładunku [%]	2021/2020	445,8%	-55,5%	-42,6%
	2021/(2010-2020)	-55,8%	-37,7%	-24,7%
Wskaźnik [$\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień]	2020	0,004	0,017	0,019
	2021	0,019	0,007	0,011
	2010-2020	0,009	0,026	0,058
Różnica względna dla wskaźnika [%]	2021/2020	315,7%	-57,6%	-45,2%
	2021/(2010-2020)	-51,5%	-34,7%	-66,5%

Różnice pomiędzy dobowym wskaźnikiem depozycji rtęci latem i zimą w analizowanym okresie 2010-2021 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 i 2019 w Zielonce. Różnice pomiędzy sezonami są jednak bardzo niewielkie (Rys. 7.6).



Rys. 7.6. Wskaźnik depozycji rocznej, sezonowej oraz miesięczne wartości minimalne i maksymalne depozycji Hg na stacjach tła regionalnego w latach 2010-2021 (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 ostatniej dekady tj. 2010-2020. Podobnie, jak w poprzednich raportach, w ocenie wykorzystano wyniki pomiarów stężeń i depozycji zgromadzonych w bazie e-Reporting Europejskiej Agencji Środowiska (EAŚ) oraz w bazie EMEP.

8.1. Zanieczyszczenie powietrza rtęcią

W niniejszym rozdziale stężenia Hg w powietrzu przedstawiono jako średnią dla poszczególnych krajów, jak i dla pojedynczych stanowisk pomiarowych, ze szczególnym wskazaniem wyników pomiarów uzyskanych na stacjach tła regionalnego w Polsce.

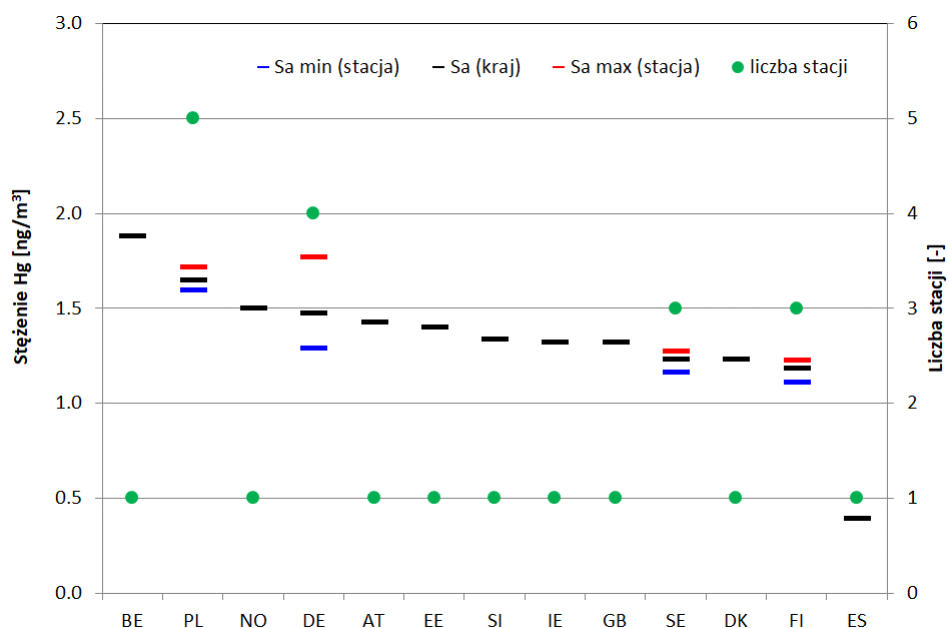
Ocenę zanieczyszczenia powietrza rtęcią dla roku 2020 wykonano na podstawie wyników pomiarów pochodzących z 24 stacji pozamiejskich tła spełniających kryteria kompletności danych, funkcjonujących w 13 krajach europejskich (Tab. 8.1 i Rys. 8.1). W większości (9) krajów prowadzących pomiary rtęci ocenę wykonano w oparciu o wyniki pomiarów pochodzące z 1 stacji. Tylko w 4 krajach było zlokalizowanych więcej stacji: 5 w Polsce, 4 w Niemczech i po 3 stacje w Finlandii i Szwecji (Tab. 8.1).

Tab. 8.1. Stężenia średnie roczne Hg (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2019 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	1,423	1,423	1,423
BE	1	1,880	1,880	1,880
DE	4	1,286	1,471	1,766
DK	1	1,230	1,230	1,230
EE	1	1,400	1,400	1,400
ES	1	0,390	0,390	0,390
FI	3	1,109	1,181	1,223
GB	1	1,319	1,319	1,319
IE	1	1,320	1,320	1,320
NO	1	1,500	1,500	1,500
PL ^{*)}	5	1,595	1,646	1,716
SE	3	1,161	1,233	1,274
SI	1	1,338	1,338	1,338
Europa	24	0,390	1,333	1,880

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

Uzyskane w 2020 roku uśrednione wyniki dla poszczególnych krajów na obszarach pozamiejskich pokazują, że przeciętne roczne stężenie Hg w powietrzu w Polsce było, poza Belgią, najwyższe w Europie i na zbliżonym poziomie jak obserwowane dla Norwegii i Niemiec. 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 2020 (źródło danych: EAŚ, EMEP)

Tab. 8.2. Stężenia średnie roczne Hg dla krajów europejskich w roku 2020, 2019 i z lat 2010-2019 oraz zmiany względne w roku 2020 w stosunku do roku wcześniejszego oraz wielolecia. Czerwoną czcionką zaznaczono wzrost ładunku/ wskaźnika (źródło danych: EAŚ, EMEP)

Kod kraju wg ISO	Stężenie średnie [ng/m ³]			Różnica względna [%] w roku 2020 w stosunku do	
	2020	2019	2010-2019	roku 2019	okresu 2010-2019
AT	1,423	1,479	1,573	-3,8%	-9,6%
BE	1,880		1,037	**)	81,2%
CY			0,068	*)	*)
CZ			1,278	*)	*)
DE	1,471	1,465	1,576	0,4%	-6,7%
DK	1,230	1,130	1,349	8,8%	-8,8%
EE	1,400	1,460	1,248	-4,1%	12,2%
ES	0,390	0,574	1,217	-32,1%	-68,0%
FI	1,181	1,237	1,309	-4,6%	-9,8%
GB	1,319	1,426	1,201	-7,5%	9,9%
IE	1,320	1,260	1,376	4,8%	-4,1%
IS		2,660	1,873	*)	*)
LT		0,614	1,070	*)	*)
NO	1,500	1,427	1,505	5,1%	-0,4%
PL	1,646	1,544	1,544	6,6%	6,6%
SE	1,233	1,192	1,359	3,4%	-9,3%
SI	1,338	1,239	0,943	8,0%	41,9%

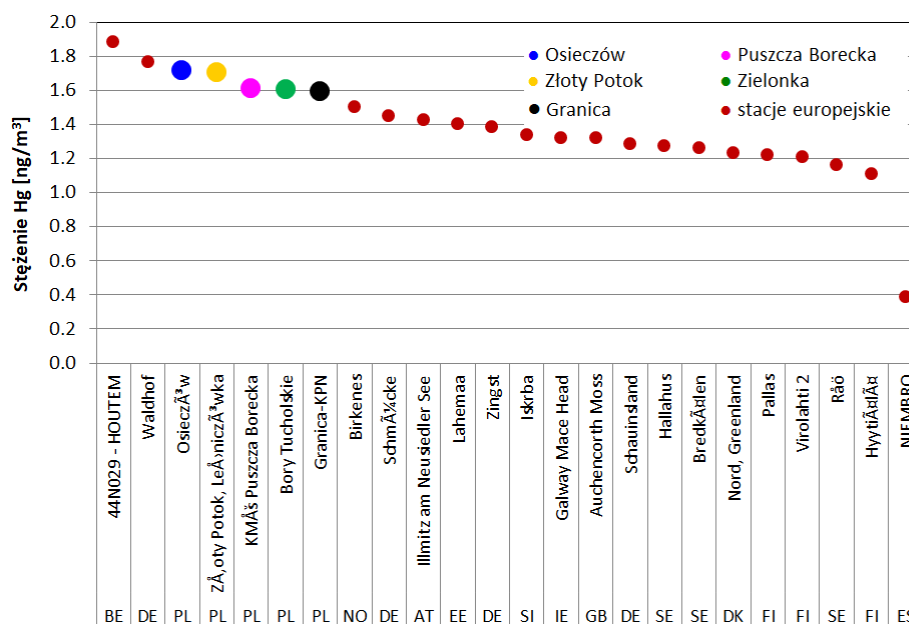
*) brak danych z 2020 roku

**) brak danych z 2019 roku

Analiza względnych zmian stężeń uśrednionych dla każdego z krajów w ostatnich 2 latach (2020-2019) pokazuje wzrost poziomu Hg w powietrzu atmosferycznym z roku na rok dla 7 z 12 krajów, dla których wyniki były dostępne z obu lat. Najwyższe wzrosty zaobserwowano dla Danii (blisko 9%), Słowenii (8%) i Polski (blisko 7%). Największy spadek spośród 5 pozostałych krajów zanotowano dla Hiszpanii (ponad 32%). Identyczną zmienność zaobserwowano w przypadku Polski dla różnicy pomiędzy rokiem 2020 a 2019 i rokiem 2020 a średnią z wielolecia 2010-2019. Wśród 13 krajów dla których możliwe było porównanie

wartości stężenia Hg w powietrza w 2020 roku ze średnią z wielolecia widoczne jest znaczne zróżnicowanie. Najwyższe wzrosty stężeń w roku 2020 na tle średniej z wielolecia zanotowano w przypadku Belgii (ponad 81%) i Słowenii (blisko 42%), zaś największe spadki Hiszpanii (68%) - Tab. 8.2.

Wartości średnie roczne stężenia rtęci w powietrzu na poszczególnych stacjach w Europie w roku 2020 zawierały się w granicach 0,39-1,88 ng/m³. Najwyższe wartości zaobserwowano na stacji belgijskiej i jednej z 4 stacji niemieckich. Wartości uzyskane na polskich stacjach tła regionalnego uplasowały je obok siebie od 3 do 7 maksimum europejskiego, kolejno licząc od najwyższych Osieczów, Złoty Potok, Puszcza Borecka, Zielonka i Granica (Rys. 8.2). Najniższe wartości średnie roczne Hg w powietrzu uzyskano w 2020 roku na stacji w Hiszpanii i stacjach skandynawskich.



Rys. 8.2. Wartości stężeń średnich rocznych Hg na poszczególnych stacjach w Europie w roku 2020 (źródło danych: EAŚ, 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 2010-2020. 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.

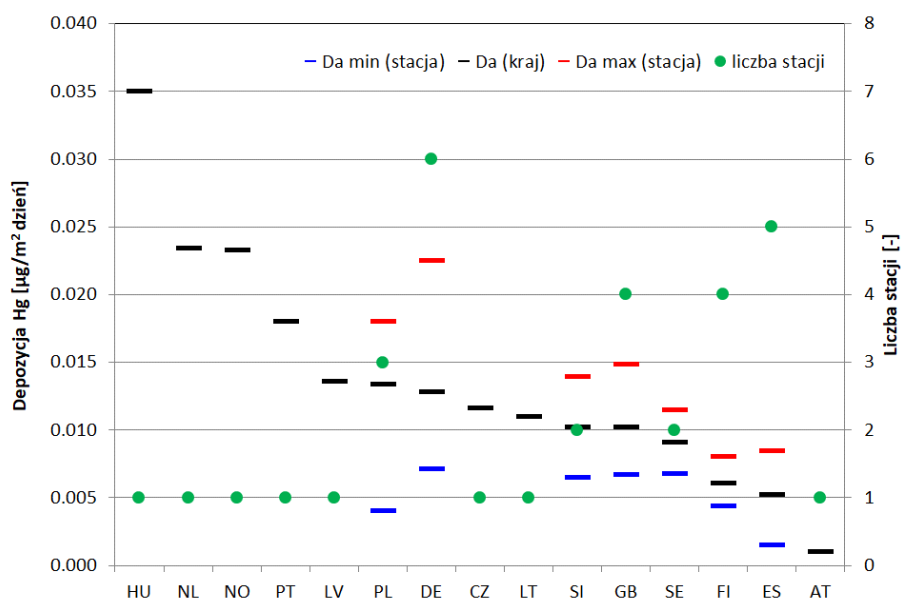
Ocenę depozycji rtęci przeprowadzono dla roku 2020 na podstawie wyników pomiarów pochodzących z 34 stacji pozamiejskich tła spełniających kryteria selekcji danych, funkcjonujących na terenie 15 krajów europejskich (Tab. 8.3 i Rys. 8.3). Podobnie jak rok wcześniej, najwięcej stacji spośród uwzględnionych w analizie zlokalizowanych było w Niemczech (6 stacji) oraz Hiszpanii (5). W 8 krajach ocenę wykonano w oparciu o wyniki pomiarów pochodzące z pojedynczych stacji (Tab. 8.3).

Uśrednione wartości wskaźnika depozycji Hg dla obszarów pozamiejskich tła w poszczególnych krajach europejskich pokazują, że w 2020 roku w Polsce wskaźnik średniej dobowej depozycji rtęci znajdował się na poziomie nieco poniżej średniej obliczonej dla Europy. Wyższe niż w Polsce wartości zanotowano dla 5 krajów. Prowadzony w Europie monitoring pokazuje znaczną rozpiętość wartości wskaźnika na poszczególnych stacjach, również w obrębie danego kraju, szczególnie zauważalną w Polsce, Niemczech i Hiszpanii czy Wielkiej Brytanii. W roku 2020 Najwyższe wartości uzyskano dla Węgier, Holandii i Norwegii (blisko 2 krotnie wyższe niż w Polsce), zaś najniższe dla Austrii (Tab. 8.3 i Rys. 8.3).

Tab. 8.3. Wskaźnik depozycji Hg (wartości minimalne i maksymalne na stacjach oraz średnie dla kraju) uzyskane w roku 2020 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ, EMEP)

Kod kraju wg ISO	Liczba stacji [-]	Dobowy wskaźnik depozycji		
		Dwa min [$\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień]	Dwa [$\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień]	Dwa max [$\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień]
AT	1	0,001	0,001	0,001
CZ	1	0,012	0,012	0,012
DE	6	0,007	0,013	0,022
ES	5	0,002	0,005	0,008
FI	4	0,004	0,006	0,008
GB	4	0,007	0,010	0,015
HU	1	0,035	0,035	0,035
LT	1	0,011	0,011	0,011
LV	1	0,014	0,014	0,014
NL	1	0,023	0,023	0,023
NO	1	0,023	0,023	0,023
PL ^{*)}	3	0,004	0,013	0,018
PT	1	0,018	0,018	0,018
SE	2	0,007	0,009	0,011
SI	2	0,006	0,010	0,014
Europa	34	0,001	0,014	0,035

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



Rys. 8.3. Wskaźnik depozycji Hg (wartości minimalne, maksymalne oraz średnie) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji uwzględnionych w analizie w roku 2020 (źródło danych: EAŚ, EMEP)

Analiza zmian uśrednionego wskaźnika depozycji Hg z roku na rok (2020-2019) wskazuje na wzrost depozycji Hg w 4 spośród 14 analizowanych krajów. Zdecydowanie najwyższy dotyczy Węgier (154%) i Wielkiej Brytanii (blisko 23%). Spośród pozostałych 10 krajów, gdzie zaobserwowano spadki wartości wskaźnika dobowego depozycji rtęci, największe zmiany (przekraczające 50%) uzyskano dla Hiszpanii i Czech. W przypadku Polski zaobserwowany spadek wyniósł nieco ponad 8% i był najniższy spośród obserwowanych (tab. 8.4).

Analiza zmian średniego rocznego wskaźnika depozycji Hg w roku 2020 na tle całego rozważanego okresu 2010-2019 wskazała generalne spadki. Wyjątek stanowi Holandia, gdzie zaobserwowano blisko 31% wzrost. Spośród 14 krajów, gdzie zanotowano spadek wskaźnika depozycji Hg w roku 2020 w stosunku do średniej obliczonej z wielolecia, największy dotyczył Austrii i Hiszpanii (ponad 75%). W przypadku Polski wartość średniego wskaźnika depozycji Hg w roku 2020 była niższa od obliczonej dla wielolecia o blisko 44% (Tab. 8.3).

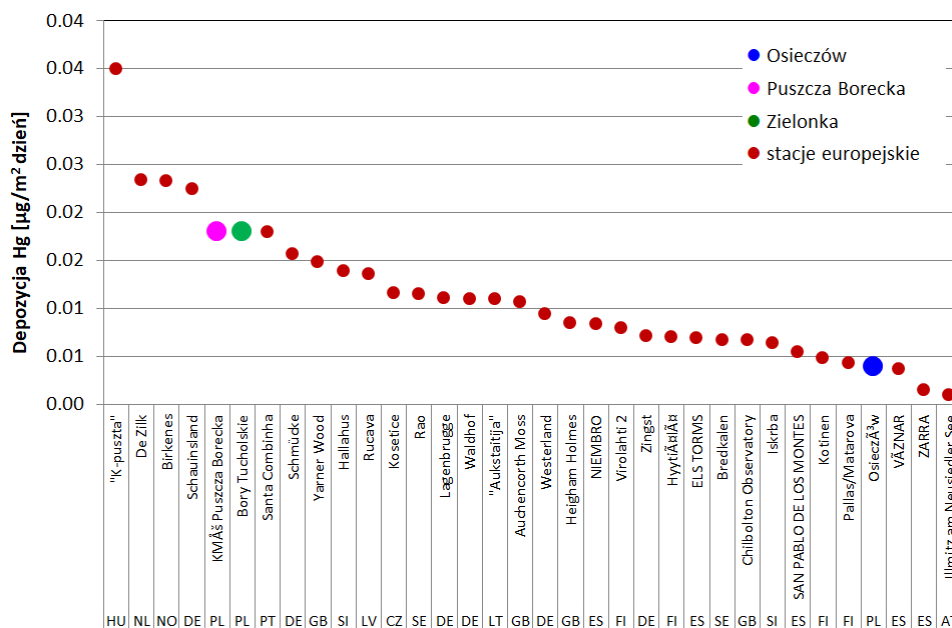
Tab. 8.4. Wskaźnik depozycji Hg dla krajów europejskich w roku 2020, 2019 i z lat 2010-2019 oraz zmiany względne w roku 2020 w stosunku do roku wcześniejszego oraz wielolecia. Czerwoną czcionką zaznaczono wzrost ładunku/ wskaźnika (źródło danych: EAŚ, EMEP)

Kod kraju wg ISO	Dwa [$\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień]			Różnica względna w roku 2020 w stosunku do [%]	
	2020	2019	2010-2019	roku 2019	okresu 2010-2019
AT	0,001	0,001	0,005	-25,4%	-78,2%
BE			0,015	*)	*)
CZ	0,012	0,024	0,020	-50,6%	-41,7%
DE	0,013	0,014	0,017	-11,3%	-25,0%
EE		0,009	0,011	*)	*)
ES	0,005	0,012	0,022	-55,4%	-76,4%
FI	0,006	0,009	0,007	-29,5%	-14,6%
GB	0,010	0,008	0,018	22,5%	-43,6%
HU	0,035	0,014	0,110	154,0%	-68,2%
IE			0,081	*)	*)
LT	0,011	0,022	0,018	-49,4%	-39,1%
LV	0,014	0,018	0,038	-26,5%	-63,9%
NL	0,023	0,022	0,018	7,8%	30,9%
NO	0,023	0,021	0,027	10,9%	-13,1%
PL	0,013	0,015	0,024	-8,1%	-43,6%
PT	0,018		0,019	**)	-6,7%
SE	0,009	0,011	0,013	-18,9%	-29,4%
SI	0,010	0,016	0,026	-37,7%	-61,5%

*) brak danych z 2020 roku

***) brak danych z 2019 roku

Analiza średniego dobowego wskaźnika depozycji Hg na poszczególnych stacjach europejskich pokazuje znaczną rozpiętość w granicach 0,001 - 0,035 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ na dzień. Wśród 5 stacji z najwyższymi wartościami wskaźnika depozycji na 34 poddanych analizie, znajdowała się jedna stacja z Polski – Puszcza Borecka. Najwyższe wartości uzyskano na stacji węgierskiej, holenderskiej, norweskiej i jednej ze stacji niemieckich. Obok stacji Puszcza Borecka, jako 6 maksimum europejskie, zlokalizowana została polska stacja w Zielonce. Stacja w Osieczowie znajdowała się wśród stacji z najniższymi wartościami w Europie (4 minimum europejskie) tuż przed stacją austriacką i dwoma stacjami hiszpańskimi (Rys. 8.4).



Rys. 8.4. Roczna depozycja Hg do podłoża na poszczególnych stacjach w Europie w roku 2020 (źródło danych: EAŚ, EMEP)

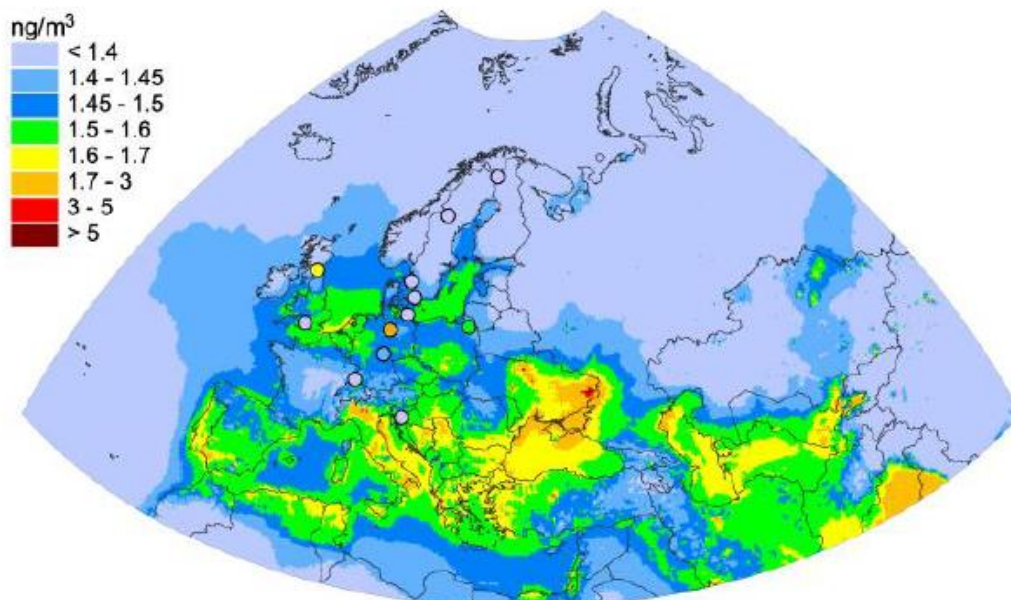
9. Modelowanie

W niniejszym rozdziale przedstawiono rezultaty obliczeń modelowych przeprowadzonych przez Meteorologiczne Centrum Syntetyzujące – Wschód (MSC-E) EMEP. Zaczerpnięto je z dorocznego raportu opracowanego przez MSC-E (EMEP, 2022a i EMEP, 2022b). 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

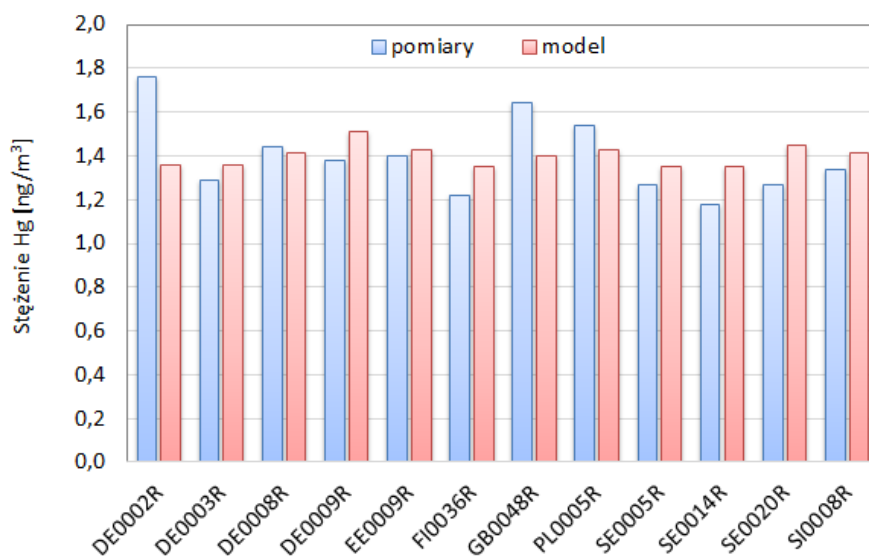
Rozkład przestrzenny stężeń rtęci w powietrzu na obszarze EMEP jest mało zróżnicowany pomiędzy regionami (znacznie mniej niż dla innych metali ciężkich), co można przypisać znaczącemu wpływowi transportu globalnego, powodowanemu długim czasem przebywania rtęci w atmosferze (0,5 – 1 rok). Transport ze 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 1,2 a 2,0 ng/m³, średnio 1,4 ng/m³. Wyniki obliczeń modelowych wskazują, że wysokie stężenia (powyżej 1,6 ng/m³) występowały w Portugalii, Grecji, na Węgrzech, w Albanii, Bułgarii, Macedonii Północnej, Chorwacji, Polsce, Uzbekistanie, Turkmenistanie, Holandii i zachodniej części Turcji. Również poziomy rtęci przekraczające średnią wartość EMEP można zauważyć nad Bałtykiem i Morzem Północnym, 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), gdzie zanieczyszczenie powietrza osiąga poziom 1,7 ng/m³). Najniższe stężenia rtęci występowały w środkowej Francji, w Skandynawii, północnej Rosji, części Arktyki (Rys. 9.1).



Rys. 9.1. Rozkład przestrzenny stężenia rtęci w powietrzu w roku 2020 – rezultaty obliczeń modelowych [ng/m³](źródło: MSC-E EMEP (EMEP, 2022a))

Wyniki modelowania zgadzają się ze zmierzonymi stężeniami rtęci w powietrzu, uzyskanymi z sieci monitoringu EMEP, z względnym odchyleniem w granicach od -15% do 15% (Rys. 9.2).

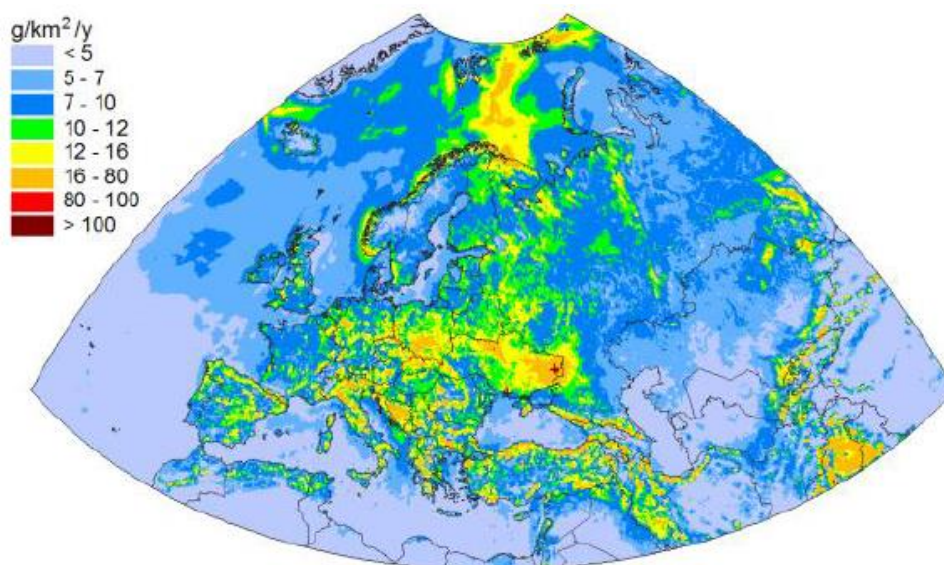


Rys. 9.2. Średnie roczne stężenia rtęci w powietrzu w roku 2020 – rezultaty obliczeń modelowych i wyniki pomiarów [ng/m³](źródło: MSC-E EMEP (EMEP, 2022b))

9.2. Depozycja rtęci do podłoża

Obliczenia modelowe wykazują, że największe strumienie depozycji Hg wystąpiły w Europie środkowej, natomiast największy zakres zmienności depozycji Hg odnotowano w Europie południowej. W 2020 roku obszary o największej depozycji rtęci w Europie ($>25 \text{ g/km}^2$ w roku) występowały w Polsce, we Włoszech, Bośni i Hercegowinie, Rumunii, Serbii, Turcji i Azerbejdżanie. Poza tym, stosunkowo duże strumienie depozycji rtęci (przekraczające $16 \text{ g/km}^2/\text{rok}$) można zauważyć w Niemczech, Grecji, Słowacji, Bułgarii i w Polsce, co można wiązać zarówno z lokalizacją dużych źródeł emisji, jak i wpływem źródeł naturalnych (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 $>16 \text{ g/km}^2$, co jest wartością zbliżoną do szacowanej dla znaczącej części Polski. Generalnie jednak obszary morskie/oceaniczne w domenie EMEP i pustynne obszary Środkowej Azji charakteryzują się najmniejszą depozycją rtęci (około 7 g/km^2 i poniżej tej wartości).

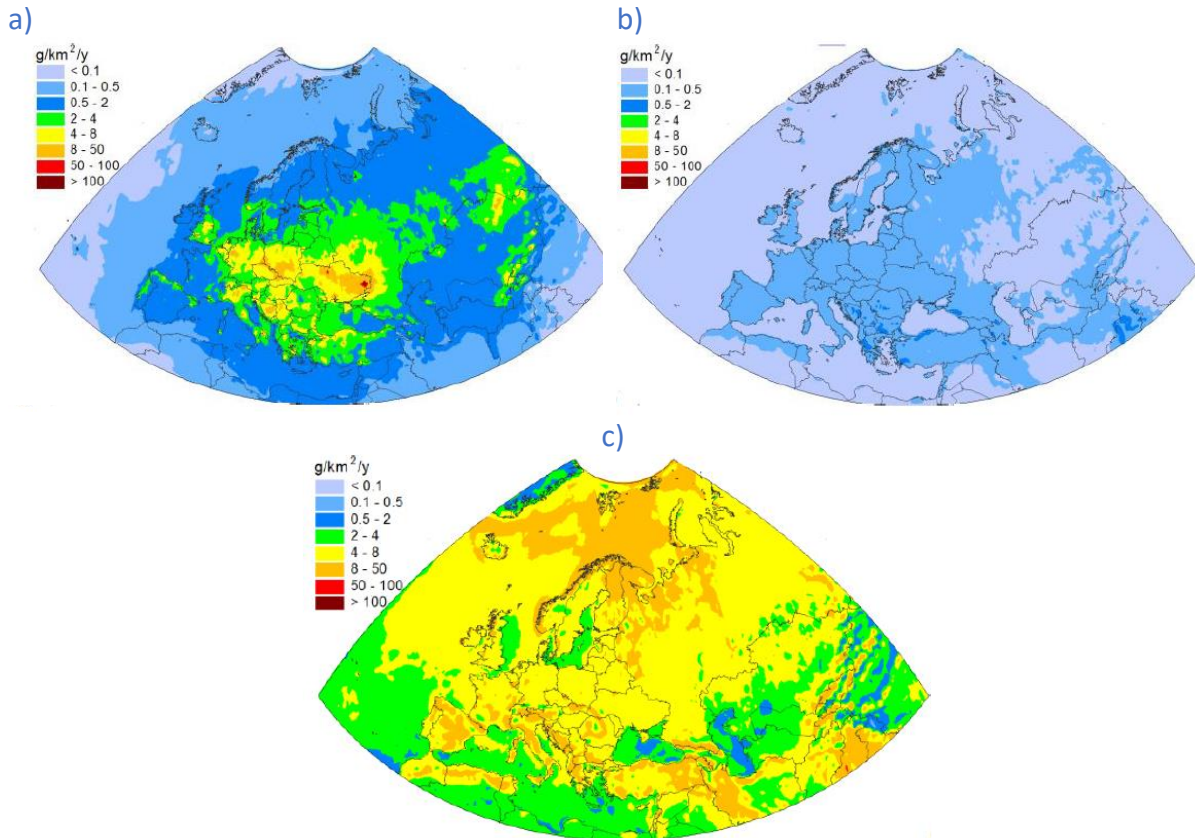
W wyniku intensywnego transportu międzykontynentalnego udział źródeł emisji spoza domeny EMEP w całkowitej depozycji Hg w krajach EMEP osiąga od 52% w Europie środkowej do 85% w Europie północnej. Należy jednak zauważyć, że wkład transportu międzykontynentalnego uwzględnia także część rtęci pochodzącej ze źródeł w krajach EMEP, która została wcześniej włączona do globalnej puli i krąży w środowisku (EMEP, 2022a i EMEP, 2022b).



Rys. 9.3. Rozkład przestrzenny depozycji rtęci w roku 2020 – rezultaty obliczeń modelowych [g/km^2] (źródło: MSC-E EMEP (EMEP, 2022a))

Rozkład przestrzenny depozycji rtęci pochodzącej z różnych grup źródeł przedstawiono na Rys. 9.4. Odzwierciedla rozkład emisji – depozycja rtęci emitowanej ze źródeł antropogenicznych jest największa w Europie centralnej i południowej i w niektórych miejscach we wschodniej części kontynentu; bezpośrednia depozycja ze źródeł naturalnych/wtórnych jest znacznie mniejsza i zauważalna w południowej Europie. Inaczej – rozkład depozycji rtęci pochodzącej ze źródeł spoza domeny EMEP odzwierciedla przemiany

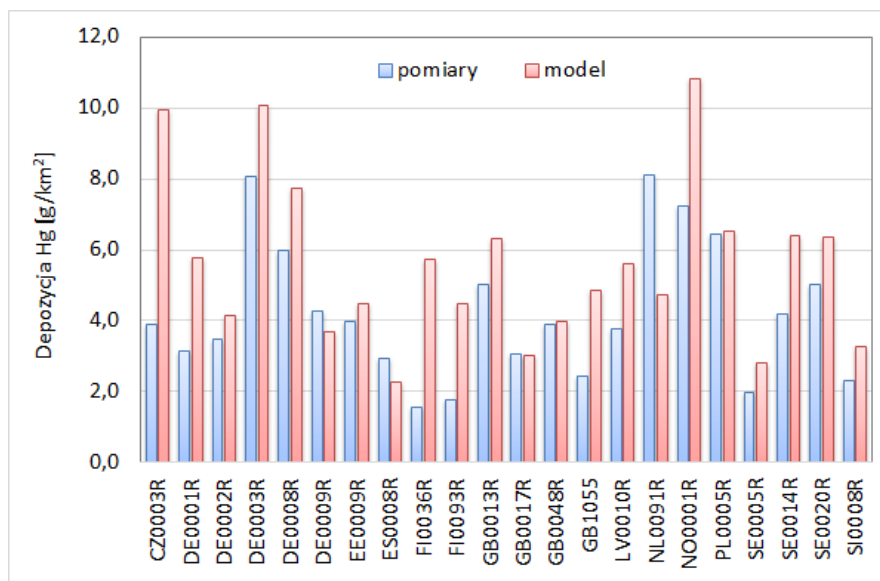
chemiczne rtęci zachodzące w atmosferze i rozkład opadów. Stąd największe wartości są charakterystyczne dla rejonu Arktyki i basenu Morza Śródziemnego (Rys. 9.4).



Rys. 9.3. Rozkład przestrzenny depozycji rtęci w roku 2020: a – ze źródeł antropogenicznych, b – ze źródeł naturalnych/wtórnych, c – ze źródeł spoza domeny EMEP; rezultaty obliczeń modelowych [g/km^2] (źródło: MSC-E EMEP (EMEP, 2022a))

Można zauważyć, że wysokie wartości depozycji w Polsce, Bośni i Hercegowinie oraz Niemczech 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 mokrej mieści się w granicach współczynnika 2 (Rys. 9.4).

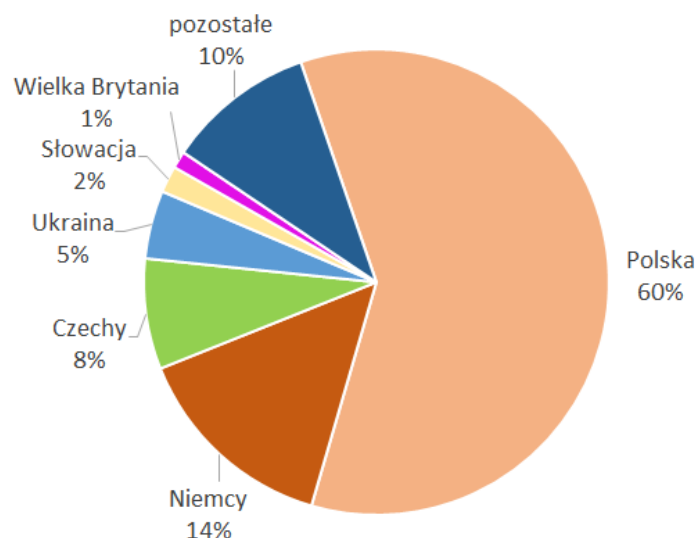


Rys. 9.2. Roczne wartości depozycji rtęci w roku 2020 – rezultaty obliczeń modelowych i wyniki pomiarów [g/km²](źródło: MSC-E EMEP (EMEP, 2022b))

9.3. Transport transgraniczny rtęci

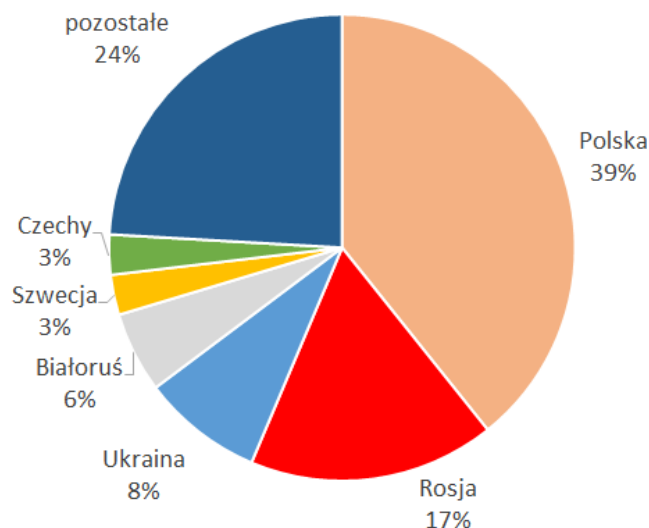
W 2020 roku było 14 krajów EMEP, w których udział transportu transgranicznego w całkowitej depozycji rtęci ze źródeł antropogenicznych nie przekracza 50%. Należą do nich kraje Europy Środkowej i Południowej o wysokim poziomie zanieczyszczenia rtęcią, spowodowanym przez krajowe źródła emisji: Bośnia i Hercegowina, Niemcy, Serbia i Polska.

Z 2,15 Mg rtęci ze źródeł antropogenicznych, zdeponowanych w 2020 roku na obszarze Polski 60% zostało wyemitowane na terenie kraju. W mniejszych ilościach do tej depozycji przyczyniły się źródła niemieckie (14%), czeskie (8%), ukraińskie (5%), słowackie (2%) i brytyjskie (1%). Pozostałe kraje w domenie EMEP w sumie dostarczyły 10% rtęci osiadłej na obszarze Polski (Rys. 9.6).



Rys. 9.4. Obszary źródłowe dla depozycji rtęci w Polsce w roku 2020 – na podstawie rezultatów obliczeń modelowych (źródło danych: MSC-E EMEP (EMEP, 2022 b))

Rtęć emitowana w Polsce osiada na terenie kraju oraz poza jego granicami, przy czym Polska jest głównym receptorem rtęci emitowanej z własnych źródeł. W 2020 roku 39% zdeponowanej na podłożu rtęci pochodzącej z polskich źródeł antropogenicznych osiadło na naszym terytorium. Poza Polską głównymi odbiorcami rtęci emitowanej w naszym kraju były kraje sąsiednie: Rosja (gdzie dotarło 17% depozycji z polskich źródeł emisji), Ukraina (8%), Białoruś (6%), Szwecja (3%), Czechy (3%). W mniejszych ilościach rtęć z Polski była deponowana także na innych terenach, do których w sumie dotarło 24% zdeponowanej rtęci pochodzącej z krajowych źródeł) (Rys. 9.5).



Rys. 9.5. Obszary docelowe dla depozycji rtęci emitowanej w Polsce w roku 2020 – na podstawie rezultatów obliczeń modelowych (źródło danych: MSC-E EMEP (EMEP, 2022 b))

10. Podsumowanie

Emisja rtęci

Wśród krajów o największej emisji rtęci w Unii Europejskiej znajdują się: Polska, Niemcy, Włochy, Hiszpania i Francja. W roku 2020 krajowa emisja rtęci ze źródeł antropogenicznych wyniosła 7,63 Mg i była mniejsza o 4% w stosunku do emisji z roku poprzedniego. Udział Polski w emisji europejskiej (z 27 krajów UE) rtęci w 2020 roku wynosił 20%, a w emisji z domeny EMEP – 4,2%.

Dominującymi sektorami w krajowej emisji Hg w roku 2020 były: *Przemysły energetyczne* (55,8% emisji krajowej rtęci) oraz *Procesy przemysłowe* (19,8%). 49% rtęci emitowanej z zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza pochodziło z województwa łódzkiego.

Warunki meteorologiczne

Rok 2021 był przeciętnie chłodnym okresem w stosunku do lat 2010-2020, głównie z powodu chłodnych miesięcy zimowych i względnie ciepłych, a nie upalnych miesięcy letnich: czerwca i lipca. Był to okres o opadach generalnie niższych od notowanych w roku poprzednim, jednak na tle wielolecia te zmiany były zróżnicowane.

Pogodę w roku 2021 kształtowały masy powietrza napływające nad Polskę najczęściej z sektora północno-wschodniego, który nigdy w analizowanym wieloleciu nie był tak dominujący, jak w roku 2021.

Zanieczyszczenie powietrza rtęcią

Charakterystyczną cechą przebiegu stężeń Hg w powietrzu na wszystkich stacjach tła regionalnego w 2021 roku i latach wcześniejszych (2010-2020) są relatywnie niewielkie zmiany. Wyższe stężenia rtęci w powietrzu w 2021 roku uzyskano na stacjach Złoty Potok i Osieczów niż na stacjach Granica i Zielonka. W roku 2021 spadek średniego rocznego stężenia Hg w powietrzu z roku na rok zaobserwowano na stacjach Granica i Osieczów, a wzrost na stacjach Zielonka i Złoty Potok, przy czym były to zmiany mało znaczące. Analizy wartości średnich rocznych z 2021 roku w zestawieniu ze średnimi z wielolecia (2010-2020) wykazały niższe wartości na stacjach Osieczów i Złoty Potok, zaś wyższe na stacji Granica i Zielonka. Zmiany względne wyniosły kilka procent, a tylko w Granicy różnica względna przekroczyła 10%. Na wszystkich stacjach w roku 2021 zaobserwowano wyższe stężenia zimą.

Porównanie wyników stężeń rtęci w powietrzu w 2020 roku w krajach europejskich wskazuje, że przeciętne roczne stężenie Hg w powietrzu w Polsce było, poza Belgią, najwyższe w Europie i na zbliżonym poziomie jak obserwowane dla Norwegii i Niemiec. Analiza względnych zmian stężeń uśrednionych dla każdego z krajów w latach 2020 -2019 pokazuje wzrost poziomu Hg w powietrzu dla 7 z 12 krajów, w tym dla Polski. Rozpiętość wartości średnich rocznych stężenia Hg w powietrzu w Europie w roku 2020 wynosiła ponad 1,5 ng/m³, a wśród stacji z najwyższymi stężeniami średnimi rocznymi polskie stacje zajęły miejsca od trzeciego do siódmego.

Depozycja rtęci

Spośród trzech analizowanych stacji tła regionalnego, najwyższą depozycję rtęci w roku 2021 zaobserwowano na stacji w Osieczowie, zaś najniższą w Puszczy Boreckiej. Względne zmiany depozycji Hg z roku na rok (2020-2021) wykazały wzrost w Osieczowie. Na wszystkich stacjach zanotowano niższe wartości w roku 2021 niż średnia z wielolecia (2010-2020). Wyższe wartości wskaźnika depozycji obserwuje się latem niż zimą, za wyjątkiem Zielonki, gdzie w niektórych latach (w tym w 2021) było odwrotnie.

Uśrednione wartości wskaźnika depozycji Hg dla obszarów pozamiejskich tła w poszczególnych krajach europejskich pokazują, że w 2020 roku dla Polski wskaźnik średniej dobowej depozycji rtęci znajdował się nieco poniżej poziomu średniego dla Europy. Wyższe niż w Polsce wartości zanotowano dla 5 z 15 analizowanych krajów. Przeprowadzona analiza zmian uśrednionego wskaźnika depozycji z roku na rok (2020-2019) w Europie wskazuje na wzrost depozycji Hg w 4 spośród 14 analizowanych krajów. Zestawienie wartości wskaźnika z roku 2020 i średniej z wielolecia (2010-2019) wśród krajów europejskich wskazuje na niższe wartości dla niemal wszystkich krajów, w tym dla Polski; wzrost odnotowano tylko w Holandii. Wśród 6 stacji z najwyższymi wartościami wskaźnika depozycji (wśród 34 wykonujących oznaczenia depozycji Hg), znajdowały się stacje z 5 krajów, w tym stacje Puszcza Borecka i Zielonka z Polski (odpowiednio na 5 i 6 miejscu). Trzecia stacja tła regionalnego z Polski – Osieczów - uplasowała się w strefie wartości bardzo niskich.

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. Około 60% rtęci, która osiadła w 2020 roku na terenie Polski pochodziło z własnych źródeł emisji, a wśród krajów, z których docierało najwięcej rtęci znajdowały się głównie kraje sąsiednie – Niemcy, Czechy, Ukraina, Słowacja.

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

Analizując obszary docelowe dla rtęci pochodzącej z polskich źródeł można stwierdzić, że emitowana w kraju rtęć osiadła częściowo (39%) na terytorium kraju, a pozostała część całkowitej depozycji wywołanej działalnością źródeł w Polsce trafiła głównie do krajów sąsiednich – do Rosji, Ukrainy, Białorusi, do Szwecji, Czech oraz w małych udziałach do pozostałych krajów.

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. (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): Ocena zanieczyszczenia powietrza rtęcią na stacjach tła regionalnego w Polsce za 2020 rok, IOŚ-PIB Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa, 2021

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 2021
 - **w Katowicach:** Sprawozdanie z badań jakości powietrza przeprowadzonych na stacji tła regionalnego Złoty Potok, gm. Janów (rejon Leśniczówki), SIzłotyJano_lesni w roku 2021
 - **w Bydgoszczy:** Sprawozdanie z badań jakości powietrza przeprowadzonych na stacji tła regionalnego Bory Tucholskie, Zielonka, KpZielBoryTu w roku 2021
 - **w Warszawie:** Sprawozdanie z badań jakości powietrza przeprowadzonych na stacji tła regionalnego Granica-KPN, Granica - Kampinoski Park Narodowy, MzGranicaKPN w roku 2021
- oraz **Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy:** Sprawozdanie z badań jakości powietrza przeprowadzonych na stacji tła regionalnego Puszcza Borecka, WmPuszczaBor w roku 2021

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 (2021):** Heavy metals and POPs: Pollution assessment of toxic substances on regional and global scales. MSC-E, CCC, CEIP, IOŚ-PIB; EMEP Status Report 2/2021
- EMEP (2022a):** Assessment of heavy metal and POP pollution on global, regional and national scales. MSC-E, CCC, CEIP/Umweltbundesamt Austria, Institute of Marine Research, Norway, CIEMAT, INERIS, ENEA, FMI; EMEP Status Report 2/2022
- EMEP (2022b):** Strizhkina I. i in: Assessment of heavy metal and POP pollution on global, regional and national scales. Part I Supplementary materials for heavy metals. EMEP/MS-CLEER Data Report 1/2022
- 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 (2021):** Ochrona środowiska 2020. Informacje i opracowania statystyczne. GUS, 2021
- 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
- KOBIZE (2022):** Krajowy bilans emisji SO₂, NO_x, CO, NH₃, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO za lata 1990-2020. Raport syntetyczny. KOBIZE, 2022
- Miklavčič i in., (2013):** Economic benefits of methylmercury exposure control in Europe: monetary value of neurotoxicity prevention. Environ Health 2013 Jan 7;12
- 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 czystsze powietrze dla Europy (Dz. U. UE L 152/1, 11.6.2008)
- KE (2010):** Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE z dnia 24 listopada 2010 roku w sprawie emisji przemysłowych (Dz. Urz. UE L 334/17 z 17.12.2010)
- KE (2015):** Dyrektywa Komisji (UE) 2015/1480 z dnia 28 sierpnia 2015 r. zmieniająca niektóre załączniki do dyrektyw Parlamentu Europejskiego i Rady 2004/107/WE i 2008/50/WE ustanawiających przepisy dotyczące metod referencyjnych,

- zatwierdzania danych i lokalizacji punktów pomiarowych do oceny jakości powietrza (Dz. Urz. UE L 226 z 29.08.2015, str. 4)
- KE (2016):** Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/2284 z dnia 14 grudnia 2016 r. w sprawie redukcji krajowych emisji niektórych rodzajów zanieczyszczeń atmosferycznych, zmiany dyrektywy 2001/35/WE oraz uchylecia 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 zanieczyszczenia 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 2022. Monitoring jakości powietrza. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, 2021, Warszawa
- PMŚ (2021):** Wykonawczy Program Państwowego Monitoringu Środowiska na rok 2021. Monitoring jakości powietrza. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, 2020, Warszawa
- PMŚ (2020):** Wykonawczy Program Państwowego Monitoringu Środowiska na rok 2020. Monitoring jakości powietrza. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, 2020, Warszawa
- PMŚ (2015):** Program Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 2016-2020. Główny Inspektor Ochrony Środowiska, 2015, Warszawa
- PMŚ (2012):** Program Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 2013-2015. Główny Inspektor Ochrony Środowiska, 2012, Warszawa
- PMŚ (2009):** Program Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 2010-2012. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, 2009. Warszawa
- 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 (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