Główny Inspektorat Ochrony Środowiska

Ocena zanieczyszczenia powietrza rtęcią na stacjach tła regionalnego w Polsce za 2020 rok

Warszawa, 2021

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: Krzysztof Skotak, Anna Degórska, Zdzisław Prządka, Marcin Syrzycki.

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

Spis treści

1. Wprowadzenie 4

2. Przyjęte w opracowaniu założenia, kryteria i oznaczenia 5

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 35

8.1. Zanieczyszczenie powietrza rtęcią 35

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 47

11. Bibliografia 49

1. Wprowadzenie

Niniejsze opracowanie wykonane zostało w Instytucie Ochrony Środowiska – Państwowym Instytucie Badawczym w Warszawie, w ramach realizacji umowy GIOŚ/150/2021/DMŚ z dnia 15.07.2021 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). 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, 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 zawieszonego 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).

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 11 latach (okres 2010-2020). W opracowaniu zawarto charakterystykę stacji, z których pochodzą analizowane wyniki ze wskazaniem miejsc poboru próbek lub/i wykonywania pomiarów metodą automatyczną oraz metod oznaczania 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 2010-2020 ze szczególnym zwróceniem uwagi na zmiany w ostatnich 2 latach (2020 w odniesieniu do roku poprzedniego) oraz roku 2020 na tle wielolecia 2010-2019.

W przypadku oceny wykonanej dla Europy, analizy przeprowadzono dla ostatnich dostępnych danych pochodzących z okresu 2010-2019. 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 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, 2021) oraz Główny Urząd Statystyczny (GUS, 2020). Dane dotyczące emisji w krajach Unii Europejskiej zaczerpnięto z bazy danych EMEP (Baza CEIP).

2. Przyjęte w opracowaniu założenia, kryteria i oznaczenia

Podstawą oceny warunków meteorologicznych w Polsce w latach 2010-2020 były wyniki pomiarów temperatury i wysokości opadu atmosferycznego prowadzonych na tzw. stacjach osłonowych (stacjach prowadzonych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytutu Badawczy): w Częstochowie, Chojnicach, Kozienicach, 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 2019.

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

zastąpiło *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 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))* – 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 2010-2019 prowadzono pomiary rtęci (ostatnie dostępne dane w bazie europejskiej są z roku 2019), 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 ($\mu g/m^2$/dzień). W celu przedstawienia w opracowaniu wielkości wskaźnika depozycji, dla każdej stacji pomiarowej na podstawie ładunku, wykonano obliczenie z uwzględnieniem długości okresu pomiarowego. Oznacza to, że wyniki badań na niektórych stacjach europejskich mogą być przedstawione jako wynik obliczeń i tym samym mogą być obarczone dodatkową niepewnością.

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

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

Skróty nazw własnych:
AirBase – baza danych Europejskiej Agencji Środowiska
EAŚ – Europejska Agencja Środowiska
GIOŚ – Główny Inspektorat Ochrony Środowiska
GUS – Główny Urząd Statystyczny
IOŚ-PIB – Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy
IMGW-PIB – Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy
KOBIZE – Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami IOŚ-PIB
PMŚ – Państwowy Monitoring Środowiska
EMEP – Międzynarodowy program współpracy w dziedzinie monitoringu i oceny przenoszenia zanieczyszczeń powietrza na duże odległości w Europie (Co-operative

Programme for Monitoring and Evaluation of the Long Range Transmission of Air Pollutants in Europe)
Konwencja LRTAP – Konwencja w sprawie transgranicznego zanieczyszczania powietrza na dalekie odległości (Convention on Long-range Transboundary Air Pollution)

Parametry statystyczne dla zanieczyszczenia powietrza:
Sa – stężenie średnie roczne,
Sa min – minimalne stężenie średnie roczne,
Sa max – maksymalne stężenie średnie roczne,
Slato – stężenie średnie w okresie letnim (IV-IX),
Szima – stężenie średnie w okresie zimowym (I-III, X-XII),
S24 – stężenie średnie dobowe,
S24min – minimalne stężenie średnie dobowe,
S24max – maksymalne stężenie średnie dobowe,

Parametry statystyczne dla depozycji:
Da – sumaryczna roczna depozycja do podłoża,
Dlato – sumaryczna depozycja do podłoża w okresie letnim (IV-IX),
Dzima – sumaryczna 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+} (Hg(I)) (związki rtęciawe) i Hg^{2+} (Hg(II)) (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 (II) $HgCl_2$, chlorku rtęciawego (I), tzw. kalomelu Hg_2Cl_2, octanu rtęci (II) $Hg(CH_3COO)_2$, siarczku rtęci (II) HgS, siarczanu rtęci (II) $HgSO_4$, azotanu rtęci (II) $Hg(NO_3)_2$ oraz tlenku rtęci (II) HgO;
- Hg organiczna występuje w postaci monometylortęci MeHg i dimetylortęci Me_2Hg (Gworek, 2013).

Stężenie rtęci w powietrzu zależy od stopnia lotności jej związków. Ilość odparowanej rtęci podwaja się wraz ze wzrostem temperatury o 10°C. Lotność związków rtęci kształtuje się w następującej kolejności (szereg malejący): $Hg^0 > Hg_2Cl_2 > HgCl_2 > HgS > HgO$. 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 ($^{\bullet}OH$);
- reakcja z rodnikiem azotanowym ($^{\bullet}NO_3$);
- 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 w chmurach. Rodzaj przemian rtęci zależy od wielu czynników takich jak temperatura powietrza, 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/m^3. Oceniając zmiany światowego tła zanieczyszczenia na podstawie pomiarów w 6 stacjach w północnej południowej hemisferze, stwierdza się wzrost stężenia od roku 1970, które osiągnęło maksimum w roku 1980. Następnie odnotowano spadek do roku 1996, po czym zanieczyszczenie pozostało na tym samym poziomie – w północnej hemisferze na poziomie 1,5-1,7 ng/m^3 całkowitej rtęci gazowej. Zawartość rtęci w powietrzu na Antarktydzie była niższa niż tło światowe i w latach 2007-2011 wynosiła ok. 0,93 ng/m^3 (Gworek i in. 2013).

<u>Wpływ rtęci na zdrowie ludzi</u>

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, może powodować 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, 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 Konwencji w sprawie transgranicznego zanieczyszczania powietrza na dalekie odległości (CLRTAP). Postawiono wymagania dotyczące 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 badania 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. porozumienie międzynarodowe, obecnie znane jako Konwencja z Minamaty (UNEP, 2017), zostało przyjęte i dotychczas ratyfikowane przez ponad 100 Stron. Powszechne przyjęcie Konwencji to pierwsze międzynarodowe zobowiązanie w globalnej walce przeciwko zanieczyszczeniu rtęcią. Celem tej Konwencji jest ochrona zdrowia ludzi i środowiska przed antropogenicznymi emisjami i uwolnieniami rtęci i związków rtęci. Konwencja z Minamaty obejmuje następujące zagadnienia: podaż, handel, produkty z dodatkiem rtęci, emisja do powietrza, górnictwo złota na małą skalę, uwolnienia do wody i ziemi, odpady, miejsca zanieczyszczone, pomoc techniczna i finansowa, wymiana informacji, świadomość społeczna i edukacja, badania i monitoring, aspekty zdrowotne, plany wdrożeniowe oraz raportowanie.

Działania w Unii Europejskiej

W Europie pierwsze regulacje prawne dotyczące rtęci zostały przyjęte prawie cztery dekady temu (EEA, 2018). Początkowo zakazały one 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 w sprawie emisji przemysłowych IED (KE, 2010). Dzięki powyższemu w krajach Unii Europejskiej większość wymagań zapisanych w Konwencji z Minamaty jest już spełniona przez obowiązujące prawodawstwo. Pomimo tego dla wzmocnienia unijnych przepisów dotyczących rtęci w 2017 roku wprowadzono dalsze regulacje (KE, 2017).

Nowe 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).

4. Monitoring rtęci w atmosferze w Polsce

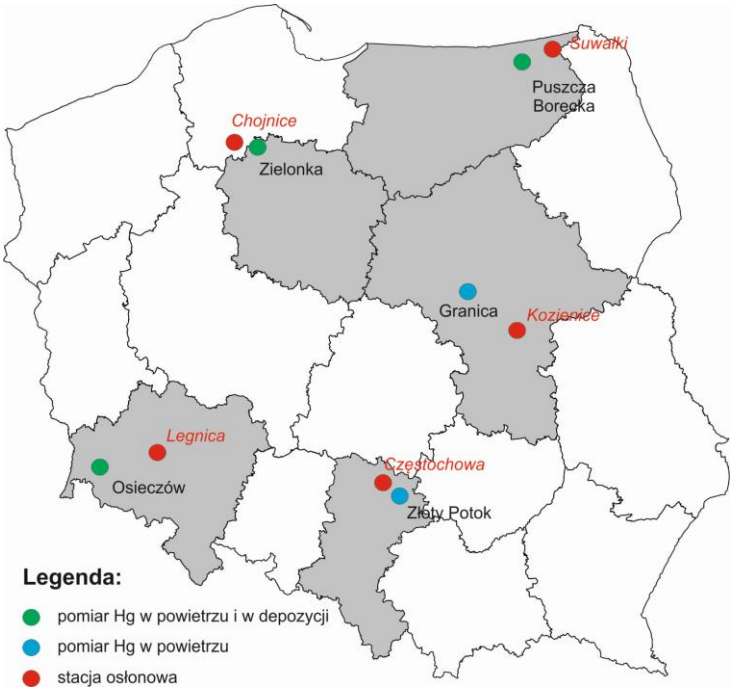
4.1. Opis stacji

Zgodnie z wymaganiami określonymi w aktualnym *Rozporządzeniem 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))* transponującym zapisy *Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE w sprawie jakości powietrza i czystszego powietrza dla Europy (*KE, 2008*)* oraz *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*)* i *Dyrektywę Komisji (UE) 2015/1480 z dnia 28 sierpnia 2015 r. zmieniającą niektóre załączniki do dyrektyw Parlamentu Europejskiego i Rady 2004/107/WE i 2008/50/WE ustanawiających przepisy dotyczące metod referencyjnych, zatwierdzania danych i lokalizacji punktów pomiarowych do oceny jakości powietrza (*KE, 2015) 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).



Rys. 4.1. Lokalizacja stacji tła regionalnego oraz osłonowych stacji meteorologicznych (źródło danych: PMŚ/IOŚ-PIB)

Podstawowe informacje o stacjach zamieszczono w tabeli 4.1, wskazując ich lokalizację, jednostkę nadzorującą (właściciela stacji) oraz kody stacji funkcjonujące od 2017 roku w krajowym Systemie Informatycznym Ekoinfonet (SI Ekoinfonet) i Europejskiej Sieci Informacji i Obserwacji Środowiska (EIONET). Ponadto, dla każdej stacji podano informacje o tym, która stacja meteorologiczna została wytypowana jako stacja osłonowa. Dane z tych stacji wykorzystano do oceny zmienności warunków meteorologicznych w rejonie tych stacji w latach 2010-2020 (rozdział 5). W tabeli zaznaczono również elementy programu pomiarowego realizowanego w roku 2020.

Tab. 4.1. Podstawowe informacje o stacjach tła regionalnego w Polsce (źródło danych: PMŚ/IMGW-PIB)

Informacja	Granica	Osieczów	Puszcza Borecka	Zielonka	Złoty Potok
Województwo	mazowieckie	dolnośląskie	warmińsko-mazurskie	kujawsko-pomorskie	śląskie
Współrzędne	20°27'20" E	15°25’54” E	22°02’17” E	17°56’00” E	19°27’29” E
	52°17'09'' N	51°09’04” N	54°07’30” N	53°39’00” N	50°42’38” N
Właściciel stacji	GIOŚ	GIOŚ	IOŚ-PIB 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, a 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 roku 2020 zostały uzyskane przy wykorzystaniu nowych analizatorów Lumex. Pomiary w stacji Puszcza Borecka wykonywano aspiracyjną metodą manualną wg wytycznych EMEP, z częstością raz na tydzień. Próbkę pobierano przez 24 godziny z zatężaniem rtęci na tzw. złotej pułapce (szklane rurki do poboru prób powietrza o długości 10-12 cm, wypełnione złotym sorbentem, którego skład stanowią drobne elementy (1-2 mm) kwarcowe powleczone złotem), a następnie poddaje się ją termodesorpcji i oznaczeniu metodą spektrometrii absorpcyjnej z użyciem analizatora AMA-254. W roku 2020 wyposażono również stację Puszcza Borecka w analizator Lumex i przeprowadzono wstępną serię pomiarową (równolegle z pomiarami manualnymi).

W tabeli 4.2 zestawiono informacje o metodach pomiarów stężeń całkowitej rtęci gazowej stosowane przez stacje tła regionalnego w 2020 roku.

Tab. 4.2. Informacje o metodach pomiaru stężenia całkowitej rtęci gazowej na stacjach tła regionalnego w Polsce (źródło danych: GIOŚ, IOŚ-PIB)

Informacja	Granica	Osieczów	Zielonka	Złoty Potok	Puszcza Borecka
Metoda oznaczania	Zeeman AAS - absorpcyjna spektrometria atomowa Zeemana				pobór: złota pułapka oznaczenie: absorpcja atomowa
Nazwa urządzenia	Lumex				AMA 254
Typ urządzenia	RA-915AM				AMA 254
Rok produkcji	2019				2006

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 ^oC	otoczenia (zimą ok. +5^oC)	+4 do +6 ^oC
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 HCl	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.

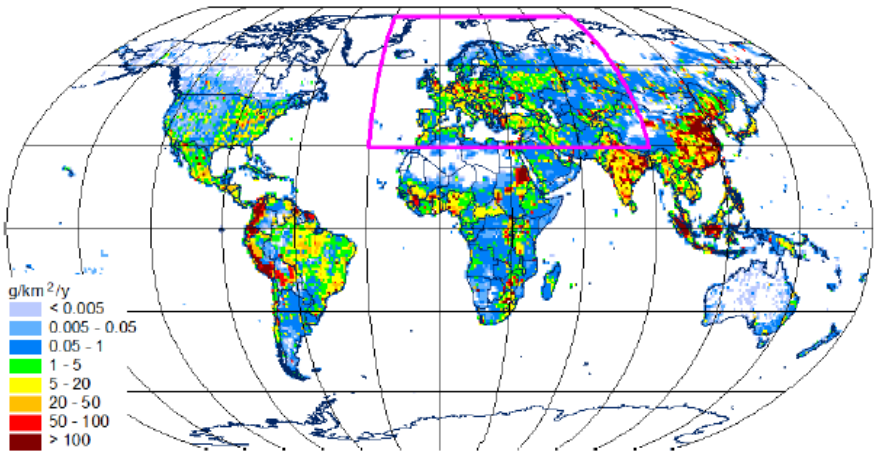
Źródła antropogeniczne:

- 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 kopalni 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, 2021a).

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 2015 [g/km^2] (siatka 1^{o}x1^o) wykorzystywany w obliczeniach modelowych MSC-E EMEP (źródło: EMEP Status Report 2/2021)

5.2. Produkcja i wykorzystanie rtęci

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

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

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

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

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

Rzemieślnicze wydobycie złota w małej skali 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.

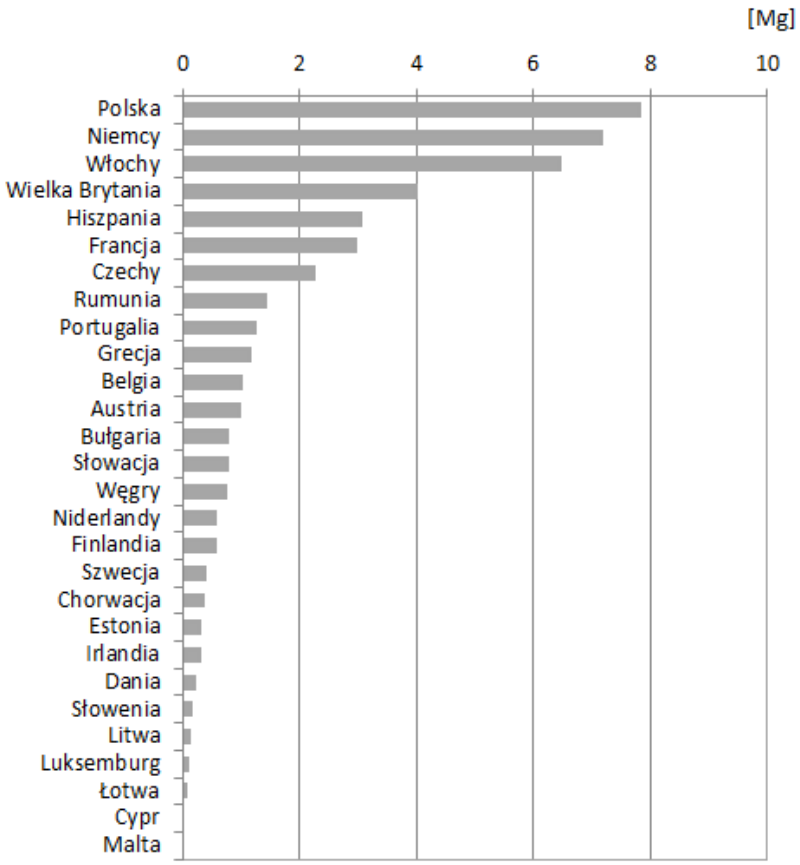
W Europie podjęto działania zmierzające do zakończenia używania rtęci w procesach przemysłowych i produktach. Nie używa się jej w małych kopalniach złota (poza Gujaną Francuską, stanowiącą terytorium Francji) a przy produkcji chlorku winylu stosuje się ją tylko w jednej fabryce na Słowacji, która ma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

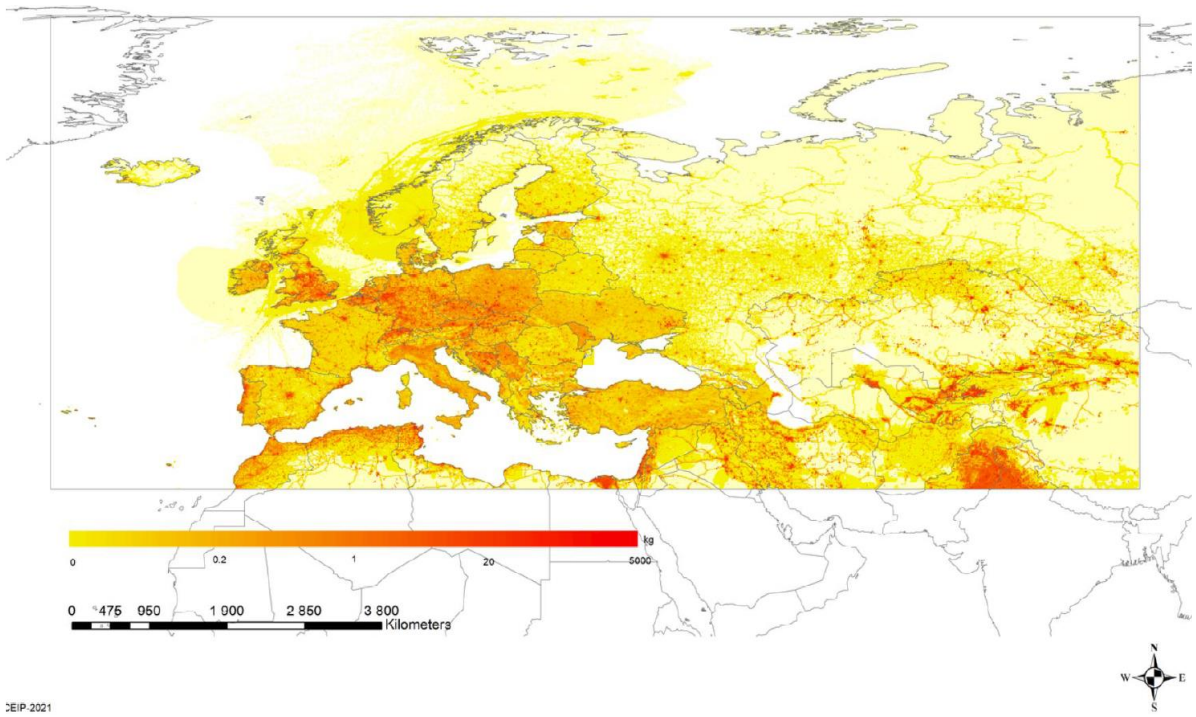
Według danych gromadzonych w ramach *Konwencji w sprawie transgranicznego zanieczyszczania powietrza na dalekie odległości (Konwencja LRTAP)*, w 28 krajach Unii Europejskiej w 2019 roku wyemitowano ze źródeł antropogenicznych 45,5 Mg rtęci (ostatnie dostępne dane raportowane przez kraje-strony Konwencji, wykorzystywane do obliczeń modelowych). Wśród krajów o największej emisji rtęci znajdują się: Polska, Niemcy, Włochy, Wielka Brytania, Hiszpania, Francja, Czechy i Rumunia. Z krajów tych pochodziło w sumie ponad 77% rtęci wyemitowanej w roku 2019 na obszarze UE28. Warto zaznaczyć, że ponad połowę rtęci pochodzącej z Unii Europejskiej wyemitowały pierwsze 4 kraje w tym rankingu, a wśród nich znajduje się Polska. Najmniejszą emisję rtęci odnotowano w najmniejszych krajach: w Luksemburgu, na Łotwie, na Cyprze i na Malcie (Rys. 5.2). W stosunku do roku 2010 we wszystkich krajach, poza Niderlandami, Luksemburgiem, Litwą, Irlandią, Grecją i Austrią odnotowano spadek emisji, co spowodowało, że sumaryczna emisja rtęci na obszarze Unii Europejskiej była o blisko 44% mniejsza.



Rys. 5.2. Wielkości emisji rtęci w krajach Unii Europejskiej w roku 2019 [Mg]
(źródło danych: http://webdab01.umweltbundesamt.at)

Emisja z 28 krajów Unii Europejskiej w 2019 roku stanowiła 25,6% 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 37,1%. Udział Polski w emisji europejskiej w 2019 roku wynosił 17,2% (spadek w stosunku do roku 2010 o 1,2 punktu procentowego), a w emisji z domeny EMEP - 4,4% (spadek o 2,4 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, we Włoszech i w Wielkiej Brytanii (Rys. 5.3).



Rys. 5.3. Rozkład przestrzenny emisji rtęci w domenie EMEP w roku 2019 [kg] (siatka 0,1°x0,1°)(źródło: http://ceip.at)

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, 2021). Dane są prezentowane w oparciu o obowiązującą obecnie strukturę źródeł emisji w układzie klasyfikacji NFR (*Nomenclature for Reporting*). Jest ona wykorzystywana przy raportowaniu do Konwencji EKG ONZ w sprawie transgranicznego zanieczyszczania powietrza na dalekie odległości (CLRTAP) oraz do Unii Europejskiej ramach dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/2284 z dnia 14 grudnia 2016 r. w sprawie redukcji krajowych emisji niektórych rodzajów zanieczyszczeń atmosferycznych (tzw. dyrektywie pułapowej), a także na potrzeby statystyki krajowej. We wcześniejszych opracowaniach dotyczących zanieczyszczenia powietrza rtęcią prezentowano dane dotyczące emisji w układzie sektorów SNAP.

W roku 2019 krajowa emisja rtęci wyniosła 7,86 Mg; w stosunku do emisji z poprzedniego roku była ona o 10,2% mniejsza.

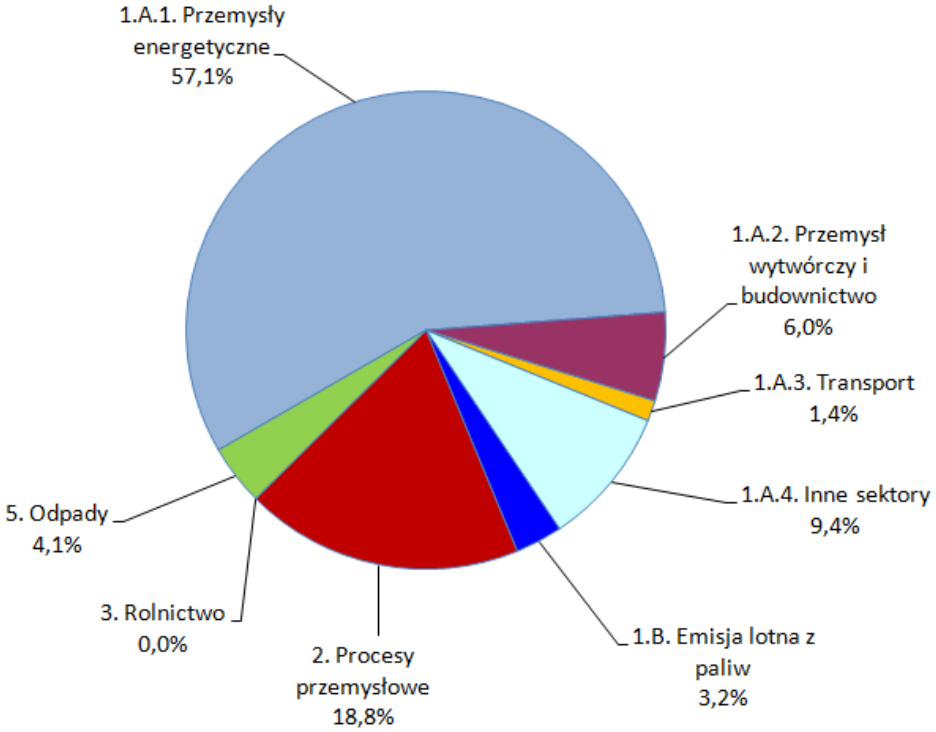
W tabeli 5.1. zestawiono wielkości emisji rtęci z głównych sektorów NFR w roku 2019.

Tab. 5.1. Emisja rtęci w Polsce z głównych sektorów (NFR) w roku 2019 (źródło danych: KOBiZE, 2021)

Źródła emisji	Hg
	[Mg]
1. Energia	**6,06**
A. Spalanie paliw	5,81
1. Przemysły energetyczne	4,49
2. Przemysł wytwórczy i budownictwo	0,47
3. Transport	0,11
4. Inne sektory	0,74
B. Emisja lotna z paliw	0,25
1. Lotna emisja z paliw stałych	0,11
2. Lotna emisja z systemu gazu ziemnego i ropy naftowej	0,14
2. Procesy przemysłowe	**1,48**
A. Produkty mineralne	0,39
B. Przemysł chemiczny	0,00
C. Produkcja metali	1,09
D. Stosowanie rozpuszczalników i innych produktów	0,00
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	**0,32**
A. Składowiska odpadów stałych	0,00
C. Spopielanie i otwarte spalanie odpadów	0,32
D. Gospodarka ściekami	0,00
E. Inne	0,00
Suma	**7,86**

Udział emisji z poszczególnych sektorów w emisji krajowej rtęci w 2019 roku zaprezentowano na rysunku 5.4.

Dominującym źródłem emisji rtęci jest spalanie paliw w sektorze 1A1. *Przemysły energetyczne*. W roku 2019 z tego sektora pochodziło 57,1% rtęci. Na kolejnych miejscach – ze znacznie mniejszym udziałem w całkowitej emisji Hg – znalazły się: *Procesy przemysłowe* (18,8%), 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* (6,0%) oraz *Odpady* (4,1%). W dalszej kolejności znalazły się kategorie: *Emisja lotna z paliw* (3,2%) i *Transport* (1,4%). Emisja z pozostałych sektorów była pomijalnie mała.



Rys. 5.4. Główne sektory emisji rtęci w Polsce w 2019 roku (źródło danych: KOBiZE, 2021)

Biorąc pod uwagę emisję rtęci w roku 2019 z zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza można stwierdzić, że 52,1% emisji krajowej z tego typu zakładów miało źródło w województwie łódzkim (główne źródło - elektrownia w Bełchatowie). Na kolejnych miejscach znalazły się województwa: dolnośląskie (9,5% emisji), świętokrzyskie (9,1%), wielkopolskie (6,9%), mazowieckie (6,7%) i śląskie (5,8%). Listę zamykają województwa podlaskie i warmińsko-mazurskie (odpowiednio 0,12% i 0,06% emisji rtęci z zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza w Polsce); brak danych dla województwa lubuskiego (GUS, 2020).

6. Charakterystyka warunków meteorologicznych

W niniejszym rozdziale przedstawiono podstawowe informacje dotyczące zmienności wybranych wielkości meteorologicznych w roku 2020 na tle okresu 2010-2019. 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

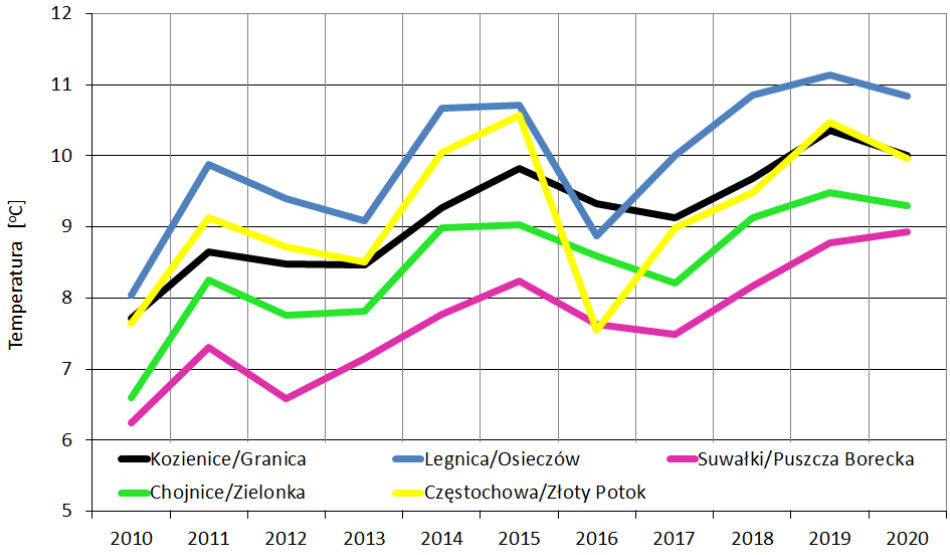
Temperatura powietrza jest głównym parametrem meteorologicznym mającym bezpośredni i pośredni wpływ na obserwowane stężenia rtęci w powietrzu. W sezonie chłodnym, przy niskich temperaturach powietrza zwiększa się zapotrzebowanie na ciepło i tym samym wzrasta emisja rtęci w wyniku produkcji energii pochodzącej 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, zaś przy bardzo wysokich temperaturach zwiększa się produkcja energii (i tym samym emisja zanieczyszczeń do atmosfery) w wyniku jej zapotrzebowania dla urządzeń chłodzących. Obie sytuacje przy niekorzystnych warunkach rozpraszania zanieczyszczeń sprzyjają powstawaniu sytuacji epizodycznych.

W roku 2020 średnia roczna temperatura powietrza na prawie wszystkich uwzględnionych w opracowaniu stacjach (z wyjątkiem Puszczy Boreckiej) była niższa w stosunku do wartości z roku ubiegłego. Była jednak zdecydowanie wyższa na wszystkich stacjach względem średniej z wielolecia 2010-2019 (Tab. 6.1). Na większości stacji temperatura była niższa o kilka procent (średnio o ok. 3%) w stosunku do roku poprzedniego, natomiast względem średniej z okresu wcześniejszego - wyższa o około 12%. W rejonie północno-wschodniej Polski (Puszcza Borecka) wartości temperatury były najniższe w wieloleciu, ale najszybciej rosnące.

Tab. 6.1. Średnie roczne temperatury w latach 2010-2020 i ich względne zmiany; wyniki ze stacji osłonowych dla wymienionych stacji tła regionalnego (źródło danych: IMGW-PIB)

Parametr	Okres	Stacja				
		Granica	Osieczów	Puszcza Borecka	Zielonka	Zloty Potok
Temperatura [^{o}C]	2019	10,4	11,1	8,8	9,5	10,5
	2020	10,0	10,8	8,9	9,3	10,0
	2010-2019	9,1	9,9	7,5	8,4	9,1
Różnica względna [%]	2020/2019	-3,4%	-2,7%	1,7%	-1,8%	-4,9%
	2020/(2010-2019)	10,1%	9,8%	18,4%	10,9%	9,3%

Rok 2020 pod względem termicznym był jednym z najcieplejszych w wielu rejonach Polski w rozważanym 11-leciu. Drugim takim względnie ciepłym okresem, ale nieco chłodniejszym od roku 2020 (średnio o 0,5^{o}C) był rok 2015. 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 2010-2020 tendencja zmian temperatury na wszystkich stacjach jest dodatnia, o średnim wzroście 1,4^{o}C/10 lat i przy współczynniku R^2=0,42.



Rys. 6.1. Średnie roczne wartości temperatury powietrza w latach 2010-2020 w rejonach stacji tła regionalnego (źródło danych: IMGW-PIB)

Podsumowując można stwierdzić, że rok 2020 należał do najcieplejszych okresów w wieloleciu, z ponad przeciętnie ciepłymi prawie wszystkimi miesiącami i mroźnym styczniem.

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 rtęć.

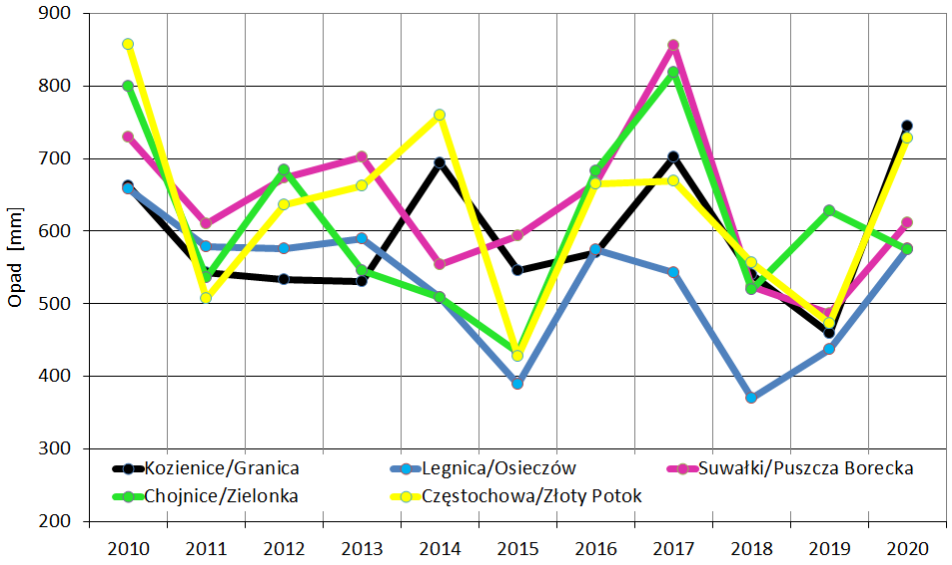
W 2020 roku sumaryczna wysokość opadu w rejonach większości stacji (z wyjątkiem Zielonki) była wyższa w stosunku do wartości z roku poprzedniego, a względne zmiany wniosły od blisko 26% dla Puszczy Boreckiej do 62% dla Granicy. W rejonie stacji Zielonka roczne opady były niższe o około 9% niż w roku 2019 (Tab. 6.2). W stosunku do wartości średniej z okresu 2010-2019 w rejonach stacji w północnej Polsce (Puszcza Borecka i Zielonka) w roku 2020 wystąpiły względne spadki wysokości opadów (o 4,5 - 6,7%), natomiast w pozostałych rejonach stacji zanotowano wzrost sumy opadów (o 10 - 29%).

Tab. 6.2. Roczne sumy wysokości opadu w latach 2010-2020 i ich względne zmiany (źródło danych: IMGW-PIB)

Parametr	Okres	Stacja				
		Granica	Osieczów	Puszcza Borecka	Zielonka	Zloty Potok
Wysokość opadu [mm]	2019	459,0	437,4	487,0	628,3	473,0
	2020	744,5	576,2	612,1	574,5	727,9
	2010-2019	577,8	522,4	639,4	615,8	621,4
Różnica względna [%]	2020/2019	62,2%	31,7%	25,7%	-8,6%	53,9%
	2020/(2010-2019)	28,9%	10,3%	-4,3%	-6,7%	17,1%

Najwyższe sumy opadów w roku 2020 wystąpiły w rejonach stacji Granica i Złoty Potok, a najniższe - w rejonie stacji Osieczów. Przeważały opady w ciepłej połowie roku. W rejonach wszystkich stacji tła regionalnego najniższe opady odnotowano w kwietniu (podobnie jak w roku poprzednim), często nie przekraczające 5 mm, natomiast najwyższe opady (powyżej 100 mm) wystąpiły w czerwcu.

Cechą charakterystyczną warunków opadowych w roku 2020 był spadek sumy opadów względem średniej z wielolecia 2010-2019 w rejonach północnej Polski i wzrost opadów na pozostałych stacjach (Rys. 6.2). Ponadto zaobserwowano w ciągu ostatnich 2 lat bardzo niskie opady w kwietniu.



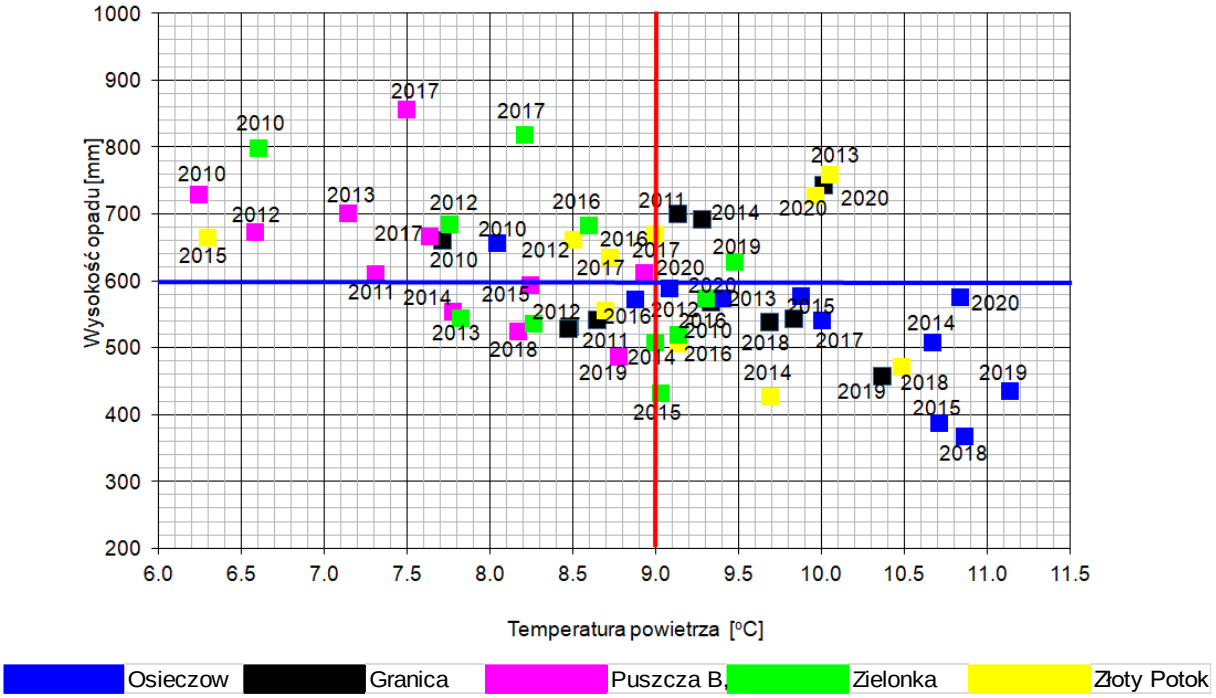
Rys. 6.2. Sumy roczne wysokości opadu w latach 2010-2020 w rejonach stacji tła regionalnego (źródło danych: IMGW-PIB)

Warunki termiczno-opadowe

Charakterystykę warunków termiczno-opadowych dla rejonów każdej stacji w okresie 2010-2020 przedstawiono na rysunku 6.3. Linię pionową i poziomą wyznaczono na podstawie wartości średnich obliczonych dla wszystkich stacji osłonowych z okresu analizowanych 11 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 pomiaru), 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 znacznie 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 2020 był rejon stacji Osieczów, zaś najchłodniejszym - rejon stacji Puszcza Borecka, jak najczęściej bywało we wcześniejszych latach. Opady w tym roku, o dość zróżnicowanej wysokości, były na ogół wyższe niż w roku poprzednim. Najwyższe opady wystąpiły w rejonie stacji Granica, a najniższe - w rejonie stacji Zielonka (Rys. 6.3).



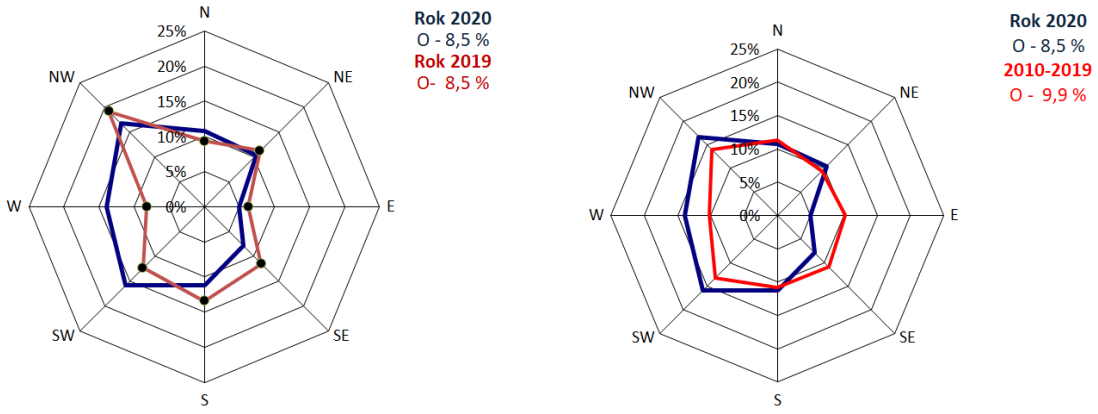
Rys. 6.3. Charakterystyka warunków termiczno-opadowych w latach 2010-2020 dla uśrednionych wartości temperatury i wysokości opadu dla stacji osłonowych 5 stacji tła regionalnego (źródło danych: IMGW-PIB)

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 przeciętnego obszaru pod względem temperatury i wysokości opadów w okresie 2010-2020 były rejony stacji Zielonka i Granica (Rys. 6.3).

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 2020 nad Polskę najczęściej napływały masy powietrza z kierunku północno-zachodniego (17%) i południowo-zachodniego (16%). Najrzadziej masy powietrza przemieszczały się z kierunku wschodniego (5%) i południowo-wschodniego (8%) (Rys. 6.4).



Rys. 6.4. Częstość wstępowania poszczególnych kierunków cyrkulacji atmosferycznej w 2020 roku na tle roku 2019 i okresu 2010-2019 (źródło danych: IMGW-PIB)

Obserwowana jest tendencja spadkowa cyrkulacji zerowej; w analizowanym roku 2020 cyrkulacje typu „0" występowały nieco rzadziej niż w wieloleciu 2010-2019.

Podsumowując można stwierdzić, że cechą charakterystyczną napływu mas powietrza nad stacje tła regionalnego w 2020 roku była ponad przeciętna częstość adwekcji z sektora zachodniego kosztem adwekcji z sektora wschodniego.

7. Ocena zanieczyszczenia atmosfery rtęcią Polsce

W rozdziale przedstawiono ocenę stopnia zanieczyszczenia atmosfery rtęcią (stężenia w powietrzu i depozycję) na stacjach tła regionalnego w latach 2010-2020.

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, Puszcza Borecka, Bory Tucholskie (Zielonka) i Złoty Potok. 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 2010-2020 (źródło danych: PMŚ)

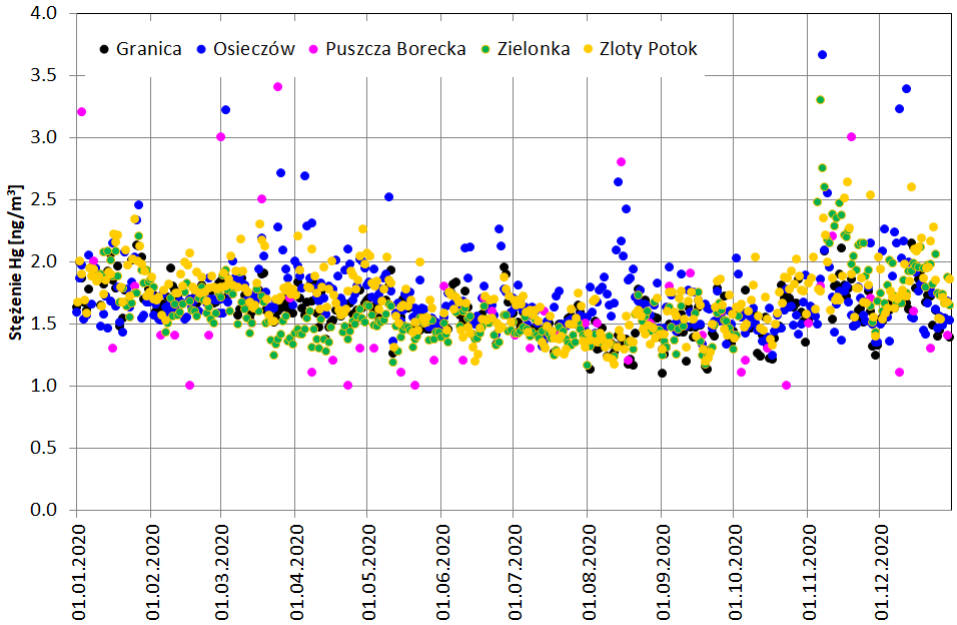
Rok	Stacja	Liczba wyników		Stosunek lato/zima	Stężenie [ng/m^3]				
		Rok	Kompletność		Sa	Slato	Szima	S24min	S24max
2010	Granica	298	81,6%	1,19	1,508	1,369	1,673	0,995	2,554
	Osieczów	320	87,7%	0,77	2,385	1,957	2,715	1,222	6,278
	Puszcza Borecka*)	53	14,5%	1,04	1,268	0,989	1,558	0,500	4,200
	Zielonka	290	79,5%	0,87	1,675	1,658	1,689	1,117	3,639
	Zloty Potok	284	77,8%	1,49	1,965	1,837	2,155	1,189	4,412

Rok	Stacja	Liczba wyników		Stosunek lato/zima	Stężenie [ng/m^3]				
		Rok	Kompletność		Sa	Slato	Szima	S24min	S24max
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
	Zloty 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
	Zloty 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
	Zloty 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
	Zloty 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
	Zloty 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
	Zloty Potok	361	98,6%	1,01	1,654	1,548	1,761	1,114	3,080
	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
	Zloty 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
	Zloty 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
	Zloty Potok	354	97,0%	1,02	1,679	1,645	1,714	1,120	2,772
2020	Granica	326	89,1%	0,96	1,596	1,512	1,677	1,099	2,146
	Osieczów	364	99,5%	0,99	1,716	1,696	1,737	1,240	3,665
	Puszcza Borecka*)	53	14,5%	0,89	1,609	1,456	1,746	1,000	3,400
	Zielonka	308	84,2%	1,23	1,605	1,448	1,797	1,158	3,296
	Zloty Potok	358	97,8%	0,98	1,707	1,589	1,822	1,172	2,640

*) cykliczne pomiary okresowe

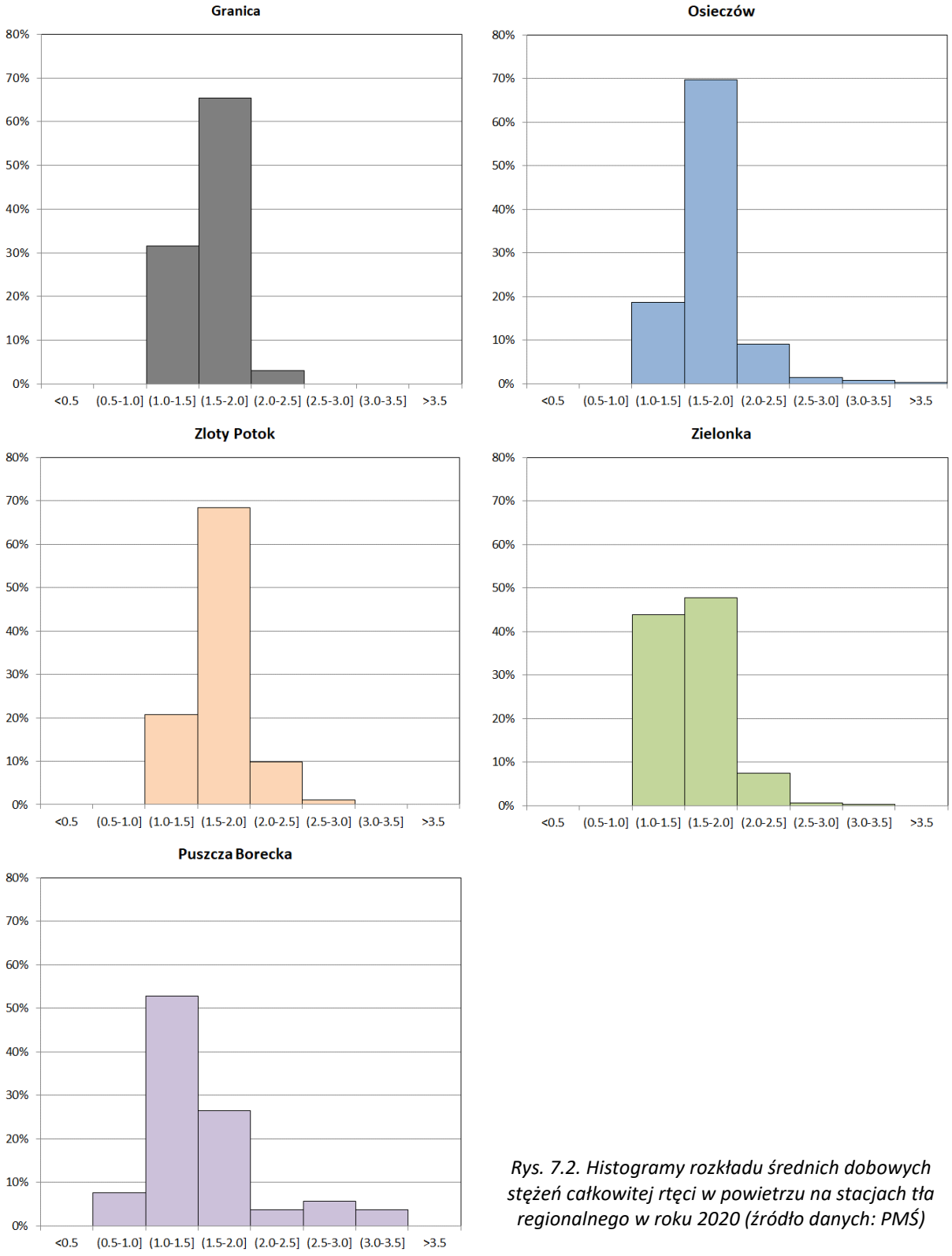
**) seria niespełniająca kryterium wystarczającej kompletności serii oraz równomiernego rozłożenia wyników w ciągu roku, by można było obliczyć parametry statystyczne (seria nieuwzględniona w analizach)

Analiza wartości stężeń średnich dobowych na stacjach tła regionalnego w roku 2020 wskazuje na stosunkowo niskie poziomy rtęci gazowej, zawierające się w granicach od 1,0 do 3,7 ng/m^3 (Rys. 7.1, Tab. 7.1). Rozpiętość stężeń dobowych Hg w powietrzu atmosferycznym w całym rozważanym okresie ostatnich 10 lat (2010-2020) wyniosła 0,20-7,09 ng/m^3. Najwyższe wartości obserwowano w latach 2010, 2012 i 2013. 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 2020 (źródło danych: PMŚ)

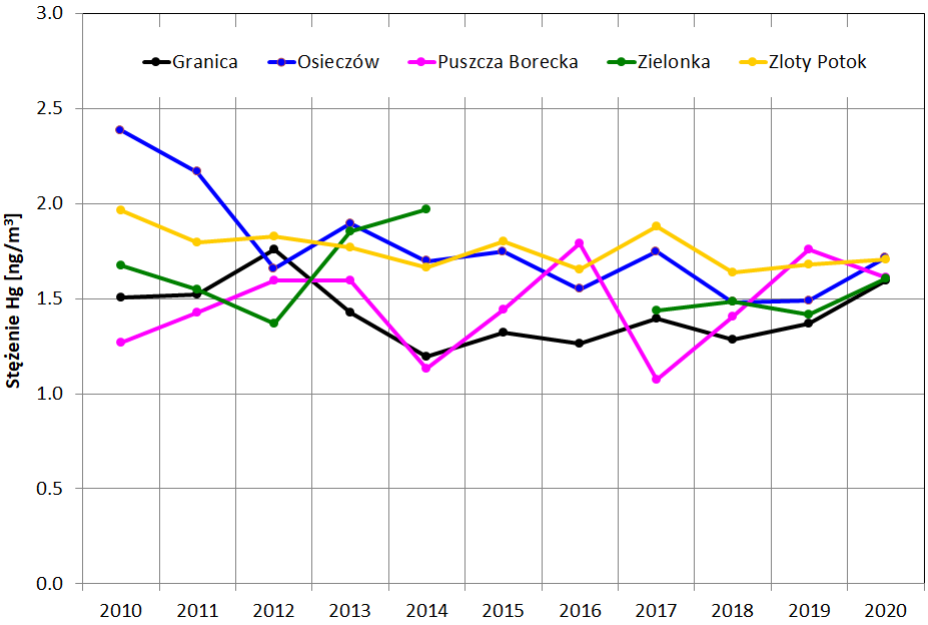
Analiza częstości występowania wartości stężeń średnich dobowych rtęci w powietrzu atmosferycznym potwierdza prawidłowości zależne od lokalizacji stacji. W 2020 roku bardzo podobne rozkłady stężeń uzyskano na stacjach Granica, Osieczów i Złoty Potok, gdzie zdecydowana większość wartości stężeń zawierała się w granicach 1,5 – 2,0 ng/m^3. Nieco inaczej stężenia układały się na stacji Puszcza Borecka oraz Zielonka. W przypadku Zielonki, znaczący udział w przebiegu stężeń, poza wartościami z przedziału 1,5 – 2,0 ng/m^3 miały również wartości w granicach 1,0 – 1,5 ng/m^3, co wskazuje na najmniejszą zmienność stężeń wśród rozważanych stacji. Wartości uzyskane na stacji Puszcza Borecka wskazują na dominującą liczbę wartości w przedziale 1,0 – 1,5 ng/m^3, co może być również związane ze stosowaną na tej stacji odmienną (manualną) metodą pomiarową w stosunku do stosowanej metody automatycznej na pozostałych stacjach (Rys. 7.2). Podobne zależności obserwowano w latach poprzednich.



Rys. 7.2. Histogramy rozkładu średnich dobowych stężeń całkowitej rtęci w powietrzu na stacjach tła regionalnego w roku 2020 (źródło danych: PMŚ)

Analiza wyników średnich rocznych obliczonych na podstawie stężeń średnich dobowych pokazuje, że najwyższe stężenia rtęci w powietrzu w 2020 roku uzyskano na stacjach Osieczów i Złoty Potok (powyżej 1,7 ng/m^3). Na stacjach Puszcza Borecka i Zielonka uzyskano podobne wartości na poziomie 1,6 ng/m^3. Największą rozpiętość zanieczyszczeń pomiędzy

maksymalną a minimalną wartością dobową w roku 2020 zaobserwowano odpowiednio na stacji w Osieczowie oraz w Puszczy Boreckiej (2,4 ng/m^3), zaś najniższe na stacji w Granicy (1,1 ng/m^3). Na wszystkich stacjach w roku 2020 zaobserwowano wyższe stężenia zimą. Przeciętne różnice stężeń obserwowane w sezonach ciepłym i chłodnym nie były wysokie i nie przekraczały 0,4 ng/m^3. Zdecydowanie najmniejszą rozpiętość pomiędzy sezonami obserwowano na stacji Granica - na poziomie 0,04 ng/m^3.



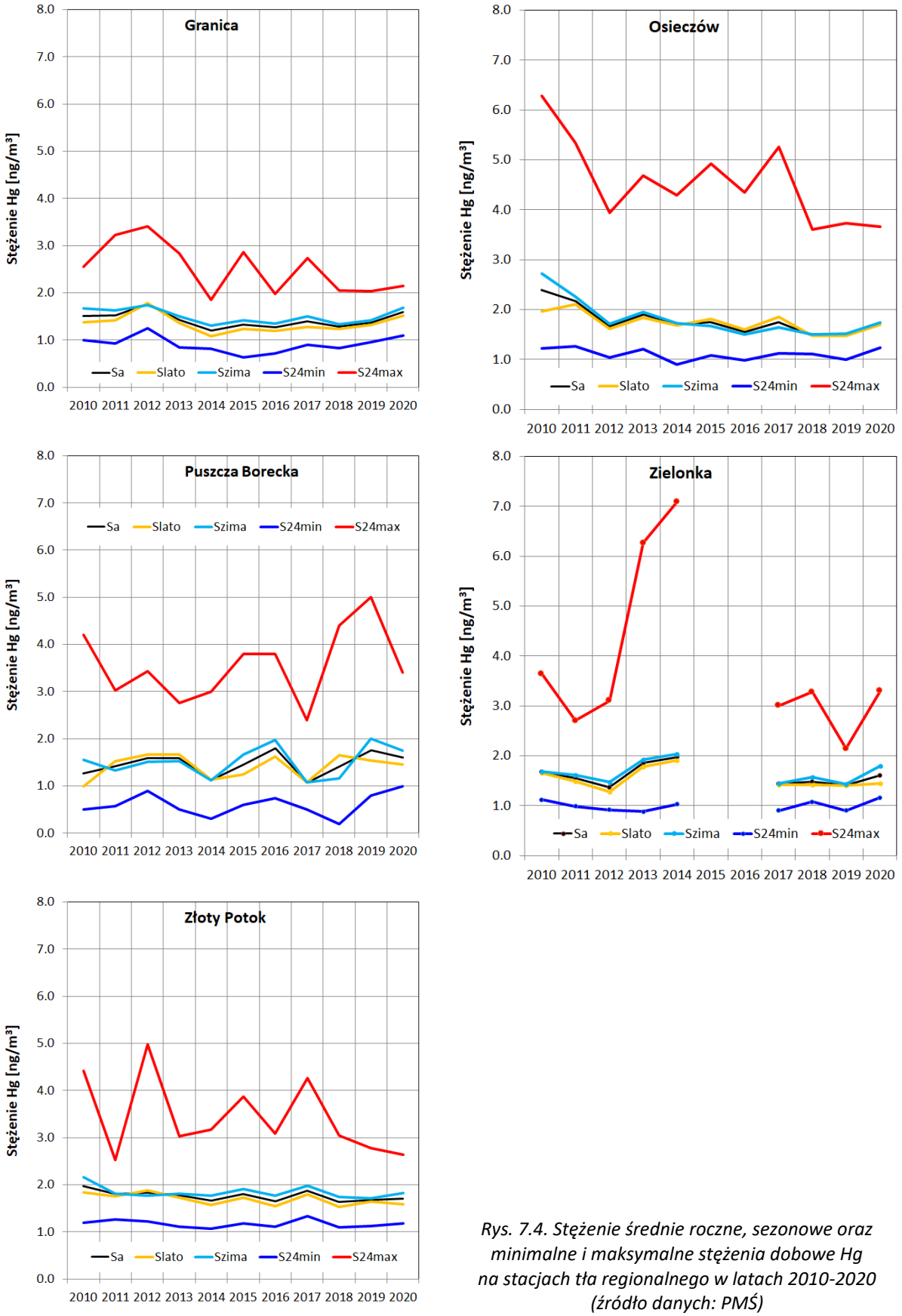
Rys. 7.3. Stężenie średnie roczne Hg na stacjach tła regionalnego w latach 2010-2020 (źródło danych: PMŚ)

W roku 2020 spadek średniego rocznego stężenia Hg w powietrzu w stosunku do wartości z roku poprzedniego zaobserwowano tylko na stacji Puszcza Borecka. W przypadku analizy wartości średniej rocznej z 2020 roku w zestawieniu ze średnią z wielolecia (2010-2019), niższe wartości uzyskano na stacjach Osieczów i Złoty Potok, zaś wyższe na stacji Granica i Puszcza Borecka. Zmiany względne nie przekraczały kilkunastu procent (Tab. 7.2, Rys. 7.3).

Tab. 7.2. Zmiany względne stężeń średnich rocznych Hg w roku 2020 względem roku 2019 oraz wartości średnich z lat 2010-2019 (źródło danych: PMŚ)

Parametr	Okres	Stacja				
		Granica	Osieczów	Puszcza Borecka	Zielonka	Zloty Potok
Stężenie [ng/m^3]	2019	1,370	1,490	1,760	1,416	1,679
	2020	1,596	1,716	1,609	1,605	1,707
	2010-2019	1,405	1,782	1,449	1,578	1,767
Różnica względna [%]	2020/2019	16,5%	15,2%	-8,5%	13,4%	1,7%
	2020/2010-2019	13,6%	-3,7%	11,1%	1,7%	-3,4%

Zmienność najwyższych i najniższych wartości średnich dobowych stężeń rtęci w powietrzu, wartości sezonowych oraz średnich rocznych w latach 2010-2020 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 2010-2020 (źródło danych: PMŚ)

Na wszystkich stacjach, w roku 2020 w stosunku do roku 2019, zaobserwowano wzrost stężeń w sezonie ciepłym i spadek w sezonie chłodnym z wyjątkiem stacji Granica, gdzie

zaobserwowano wzrost. Analiza wartości dobowych pokazała, że na wszystkich stacjach w roku 2020 zaobserwowano wzrost stężeń zarówno maksymalnych jak i minimalnych dobowych w stosunku do roku 2019. Warto wskazać na utrzymujące się przez cały analizowany okres 2010-2020 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 chodnym. W przypadku stacji tła regionalnego, oddalonych od źródeł tzw. niskiej emisji, uzyskane wyniki w całym analizowanym okresie świadczą o znacznym wymieszaniu powietrza i tym samym o braku bezpośredniego wpływu emisji pochodzącej z indywidualnego ogrzewania domów. Uzyskane wyniki wskazywać również mogą, że pomimo długiego czasu przebywania rtęci w atmosferze, emisja pochodząca ze spalania węgla w gospodarstwach domowych (przy udziale tego sektora w emisji całkowitej na poziomie ok. 9%) nie wpływa znacząco na kształtowanie jakości powietrza w okresie zimy poza najbliższym otoczeniem tych źródeł.

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 2010-2020 przedstawiono w tabeli 7.3. Najwyższy wskaźniki depozycji w roku 2020 zanotowano w przypadku Zielonki, zaś najniższy w Osieczowie (Tab. 7.3)

Tab. 7.3. Roczne wartości depozycji Hg na stacjach tła regionalnego w latach 2010-2020 (źródło danych: PMŚ)

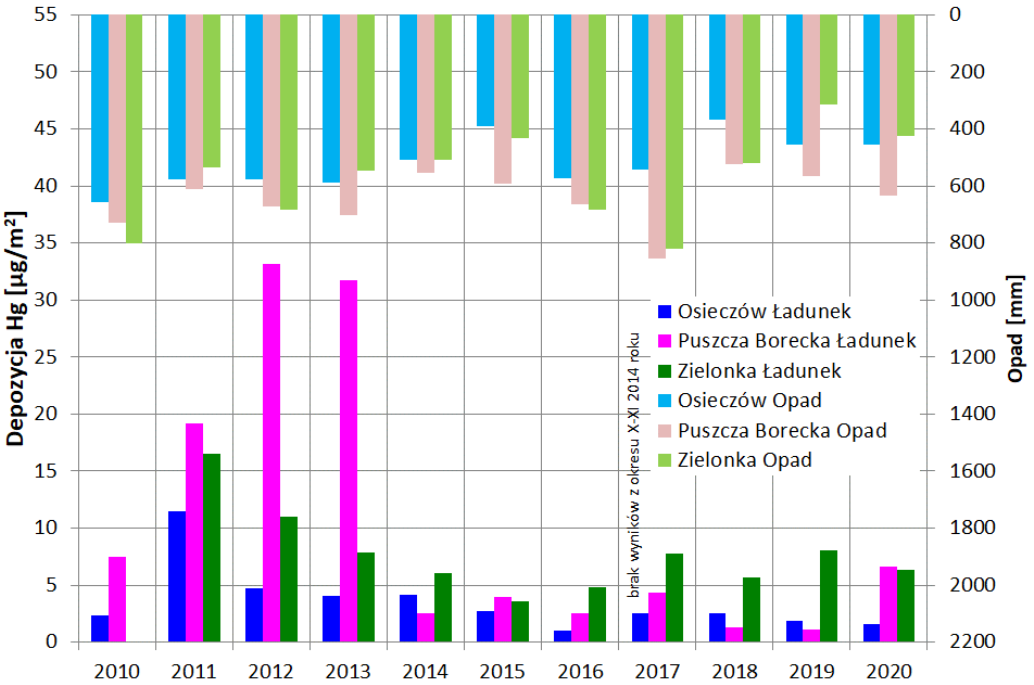
Rok	Stacja	Pokrycie		Ładunek [µg/m^2]			Wskaźnik [µg/m^2 dzień]		
		Liczba dni	Stosunek lato/zima	rok	lato	zima	rok	lato	zima
2010	Osieczów	301	0,95	2,369	1,561	0,808	0,005	0,006	0,004
	Puszcza Borecka	288	1,23	7,488	6,654	0,834	0,025	0,039	0,006
	Zielonka*)	35	0,00	-	-	12,170	-	-	0,348
2011	Osieczów	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	335	0,85	2,545	2,002	0,542	0,006	0,011	0,003
	Puszcza Borecka	371	0,96	4,354	2,793	1,561	0,013	0,015	0,010
	Zielonka	155	0,60	7,802	2,948	4,854	0,051	0,064	0,045

Rok	Stacja	Pokrycie		Ładunek [µg/m^2]			Wskaźnik [µg/m^2 dzień]		
		Liczba dni	Stosunek lato/zima	rok	lato	zima	rok	lato	zima
2018	Osieczów	413	0,83	2,517	1,813	0,704	0,007	0,010	0,004
	Puszcza Borecka	376	1,00	1,256	0,882	0,374	0,003	0,004	0,002
	Zielonka	201	1,28	5,699	3,631	2,068	0,028	0,033	0,024
2019	Osieczów	371	1,41	1,821	1,466	0,355	0,005	0,007	0,003
	Puszcza Borecka	375	1,48	1,076	0,850	0,226	0,003	0,004	0,002
	Zielonka	226	0,87	8,026	3,095	4,932	0,039	0,031	0,044
2020	Osieczów	376	1,00	1,610	0,894	0,716	0,004	0,005	0,004
	Puszcza Borecka	378	0,99	6,645	3,762	2,884	0,017	0,018	0,015
	Zielonka	348	0,85	6,291	4,660	1,631	0,019	0,029	0,008

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

**) brak wyników z okresu X-XII

Ocena zmian depozycji Hg w 2020 roku w stosunku do uzyskanej wartości dla wielolecia 2010-2019 wskazuje na spadek zarówno ładunku jak i wskaźnika depozycji dla wszystkich analizowanych stacji. Najbardziej znaczące spadki zaobserwowano dla Zielonki w przypadku wskaźnika (blisko 70%) oraz Osieczowa w przypadku ładunku (blisko 57%). Analizując zmiany z roku na rok (w latach 2019-2020), największy wzrost zaobserwowano w przypadku Puszczy Boreckiej, uzyskując nieco niższe wartości niż w Zielonce przy istotnym wzroście opadów (Tab. 7.4, Rys. 7.5).

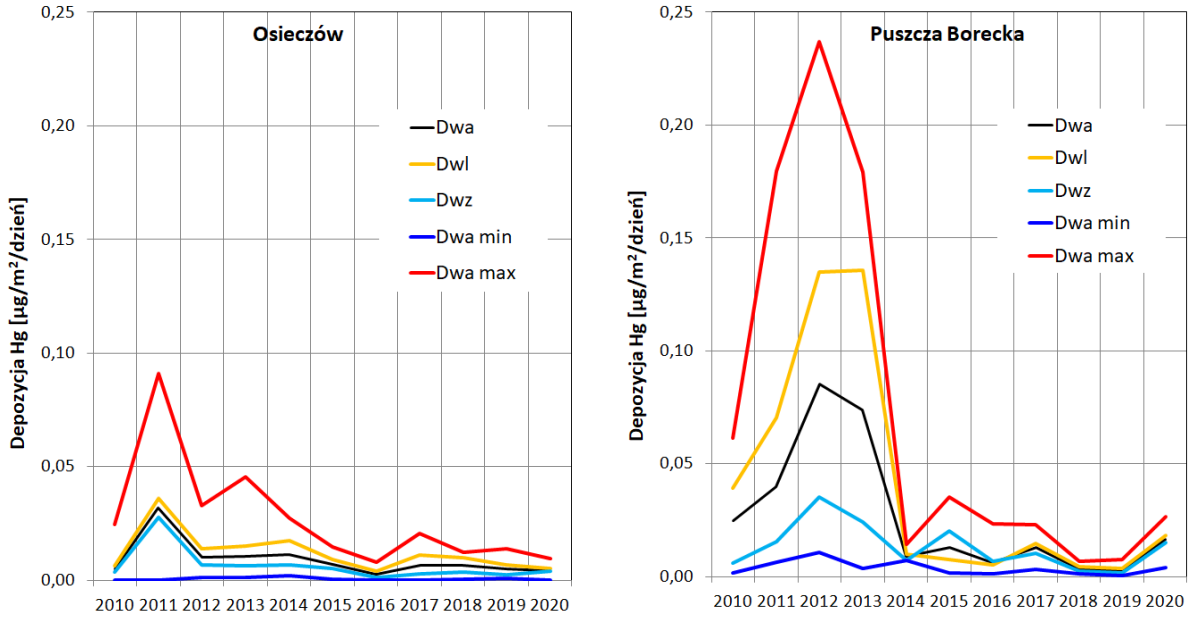


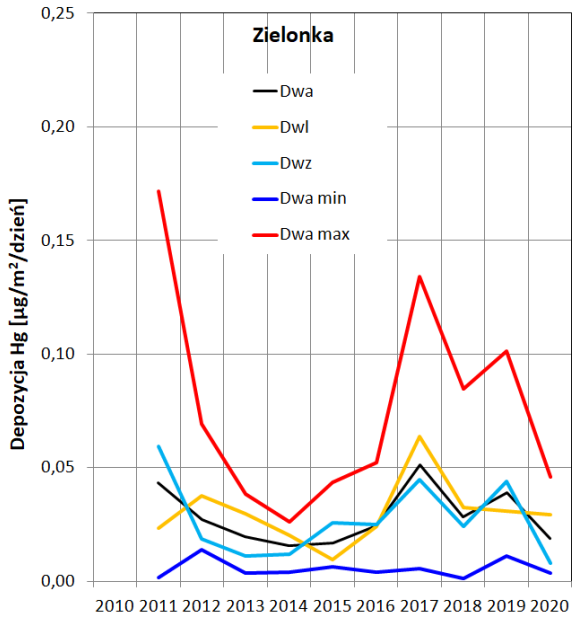
Rys. 7.5. Roczne wartości depozycji Hg na stacjach tła regionalnego na tle wysokości sumy opadów w latach 2010-2020 (źródło danych: PMŚ)

Tab. 7.4. Zmiany względne ładunku i wskaźnika depozycji Hg w roku 2020 względem roku 2019 oraz wartości średnich z lat 2010-2019 (źródło danych: PMŚ)

Parametr	Okres	Stacja		
		Osieczów	Puszcza Borecka	Zielonka
Ładunek [µg/m^2]	2019	1,821	1,076	8,026
	2020	1,610	6,645	6,291
	2010-2019	3,727	10,720	8,344
Różnica względna dla ładunku [%]	2020/2019	-11,6%	517,4%	-21,6%
	2020/(2010-2019)	-56,8%	-38,0%	-24,6%
Wskaźnik [µg/m^2 dzień]	2019	0,005	0,003	0,039
	2020	0,004	0,017	0,019
	2010-2019	0,011	0,030	0,062
Różnica względna dla wskaźnika [%]	2020/2019	-15,3%	505,6%	-51,7%
	2020/(2010-2019)	-59,4%	-45,4%	-69,6%

Różnice pomiędzy dobowym wskaźnikiem depozycji rtęci latem i zimą w analizowanym okresie 2010-2020 wykazują generalną tendencję występowania wyższych wartości w okresie ciepłym. Wyjątek stanowił rok 2015 na stacjach Puszcza Borecka i Zielonka oraz 2016 w Puszczy Boreckiej oraz 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 2010-2020 (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 lat 2010-2019. W ocenie wykorzystano wyniki pomiarów stężeń i depozycji zgromadzonych w bazie AirBase Europejskiej Agencji Środowiska (EAŚ) oraz w bazie EMEP. W przypadku danych EAŚ, analizy przeprowadzono na podstawie wyników zawartych w ostatniej dostępnej edycji bazy oraz bazach poprzednich.

8.1. Zanieczyszczenie powietrza rtęcią

W tym rozdziale przedstawiono wyniki oceny zanieczyszczenia powietrza rtęcią w Europie w latach 2010-2019 na stacjach pozamiejskich tła. Podobnie jak w poprzednich opracowaniach tego typu, w analizach uwzględniono dodatkowo również stacje tła regionalnego EMEP. Stężenia przedstawiono jako średnią dla poszczególnych krajów, jak i dla pojedynczych stanowisk pomiarowych, że szczególnym wskazaniem wyników pomiarów uzyskanych na stacjach tła regionalnego w Polsce.

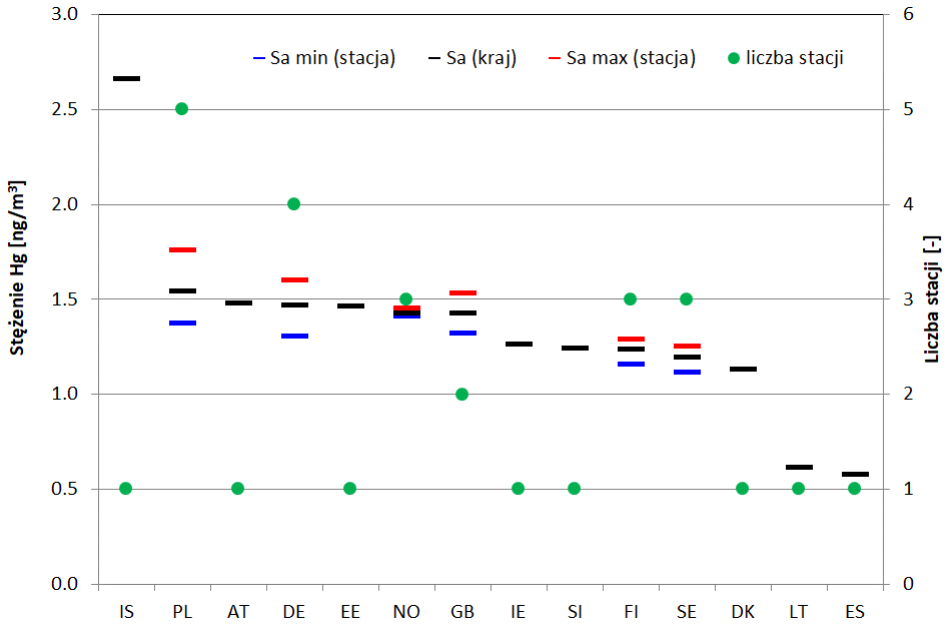
Ocenę zanieczyszczenia powietrza rtęcią przeprowadzono dla roku 2019 na podstawie wyników pomiarów pochodzących z 28 stacji pozamiejskich tła spełniających kryteria kompletności danych, funkcjonujących w 14 krajach europejskich (Tab. 8.1 i Rys. 8.1). Najwięcej stacji zlokalizowanych było w Polsce (5) i Niemczech (4). W 8 krajach prowadzących pomiary rtęci ocenę wykonano w oparciu o wyniki pomiarów pochodzące z 1 stacji (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	Sa	Sa max
	[-]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]
AT	1	1,479	1,479	1,479
DE	4	1,303	1,465	1,599
DK	1	1,130	1,130	1,130
EE	1	1,460	1,460	1,460
ES	1	0,574	0,574	0,574
FI	3	1,156	1,237	1,287
GB	2	1,319	1,426	1,533
IE	1	1,260	1,260	1,260
IS	1	2,660	2,660	2,660
LT	1	0,614	0,614	0,614
NO	3	1,410	1,427	1,450
PL*)	5	1,371	1,544	1,760
SE	3	1,111	1,192	1,253
SI	1	1,239	1,239	1,239
Europa	**28**	**0,574**	**1,336**	**2,660**

*) *Stacje: Granica, Osieczów, Puszcza Borecka, Zielonka, Złoty Potok*

Uzyskane w 2019 roku uśrednione wyniki dla poszczególnych krajów na obszarach pozamiejskich pokazują, że przeciętne roczne stężenie Hg w powietrzu w Polsce było jednym z wyższych w Europie, na podobnym poziomie jak w Austrii, Niemczech, Estonii czy Norwegii. Wyższe stężenie niż obliczone dla Polski uzyskano tylko dla Islandii i było ono znacząco wyższe niż obliczone dla wspomnianych krajów. Podobnie jak w roku poprzednim, 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 2019 (źródło danych: EAŚ, EMEP)

Tab. 8.2. Zmiany względne stężeń średnich rocznych Hg dla krajów europejskich w roku 2019 względem roku 2018 oraz wartości średnich z lat 2010-2018 (źródło danych: EAŚ, EMEP)

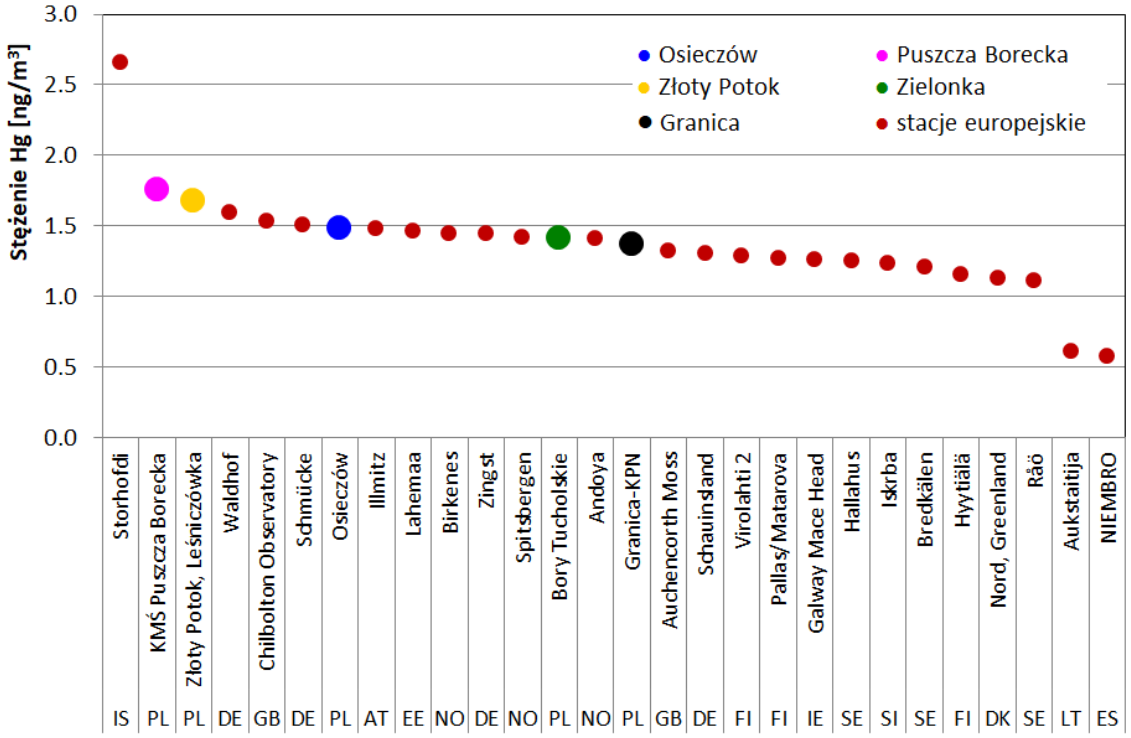
Kod kraju wg ISO	Stężenie średnie w okresie 2010-2018 [ng/m^3]	Różnica względna [%]	
		2019/2018	2019/(2010-2018)
AT	1,668	-11,4%	-11,4%
BE	1,037	**)	**)
CY	0,068	**)	**)
CZ	1,278	**)	**)
DE	1,588	0,0%	-7,8%
DK	1,376	17,7%	-17,9%
EE	1,177	18,7%	24,1%
ES	1,309	59,5%	-56,1%
FI	1,316	-2,7%	-6,0%
GB	1,176	-1,7%	21,3%
IE	1,390	*)	-9,4%
IS	1,610	*)	65,2%
LT	1,127	-73,7%	-45,5%
NO	1,514	0,2%	-5,8%
PL	1,544	5,8%	0,0%
SE	1,378	12,6%	-13,5%
SI	0,910	-9,2%	36,2%

*) brak danych z 2018 roku

**) brak danych z 2019 roku

Analiza względnych zmian stężeń uśrednionych dla każdego z krajów w ostatnich 2 latach (2018-2019) pokazuje wzrost poziomu Hg w powietrzu atmosferycznym z roku na rok dla 7 z 12 krajów (w tym dla Polski na poziomie blisko 6%), dla których takie porównanie można było wykonać. Największy wzrost zaobserwowano dla Hiszpanii (blisko 60%). Istotne, kilkunasto procentowe zmiany z roku na rok zanotowano również dla Estonii, Danii i Słowacji. Największy spadek wśród 5 pozostałych krajów zanotowano dla Litwy (ponad 70%). Podobne zależności zaobserwowano dla różnicy pomiędzy rokiem 2019 a średnią z wielolecia 2010-2018. Najwyższe wzrosty zanotowano w przypadku Islandii (65%) oraz Słowenii (38%), zaś największe spadki dotyczyły Litwy i Estonii (pond 45%) . W przypadku Polski, stężenie w roku 2019 było niemal na identycznym poziomie, jak średnia obliczona dla wielolecia (Tab. 8.2).

Wartości średnie roczne stężenia rtęci w powietrzu na analizowanych stacjach w Europie w roku 2019 zawierały się w granicach 0,57-2,66 ng/m^3. Wśród 5 stacji z najwyższymi stężeniami średnimi rocznymi, znajdowały się: 2 stacje z Polski (Puszcza Borecka i Złoty Potok na pozycjach 2giego i 3ciego maksimum), stacja z Islandii (maksimum europejskie) oraz po jednej stacji z Niemiec i Wielkiej Brytanii. Pozostałe stacje z Polski uplasowały się licząc od wartości najwyższych odpowiednio: Osieczów jako 7 maksimum, Zielonka jako 13 maksimum i Granica na pozycji 15 wśród 28 poddanych analizie stacji. Należy podkreślić, że różnice w wartościach średnich rocznych stężeń Hg na poszczególnych stacjach - z wyjątkiem stacji islandzkiej oraz jednej ze stacji litewskich i hiszpańskich - nie były znaczące (Rys. 8.2).



Rys. 8.2. Wartości stężeń średnich rocznych Hg na poszczególnych stacjach w Europie w roku 2019 (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 roku 2019 oraz w okresie 2010-2018. Wyniki przedstawiono jako wartości uśrednione zarówno dla poszczególnych krajów jak i dla pojedynczych stanowisk, że szczególnym wskazaniem wyników pomiarów uzyskanych na stacjach tła regionalnego w Polsce.

Ocenę depozycji rtęci przeprowadzono dla roku 2019 na podstawie wyników pomiarów pochodzących z 33 stacji pozamiejskich tła spełniających kryteria selekcji danych, funkcjonujących na terenie 15 krajów europejskich (Tab. 8.3 i Rys. 8.3). 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).

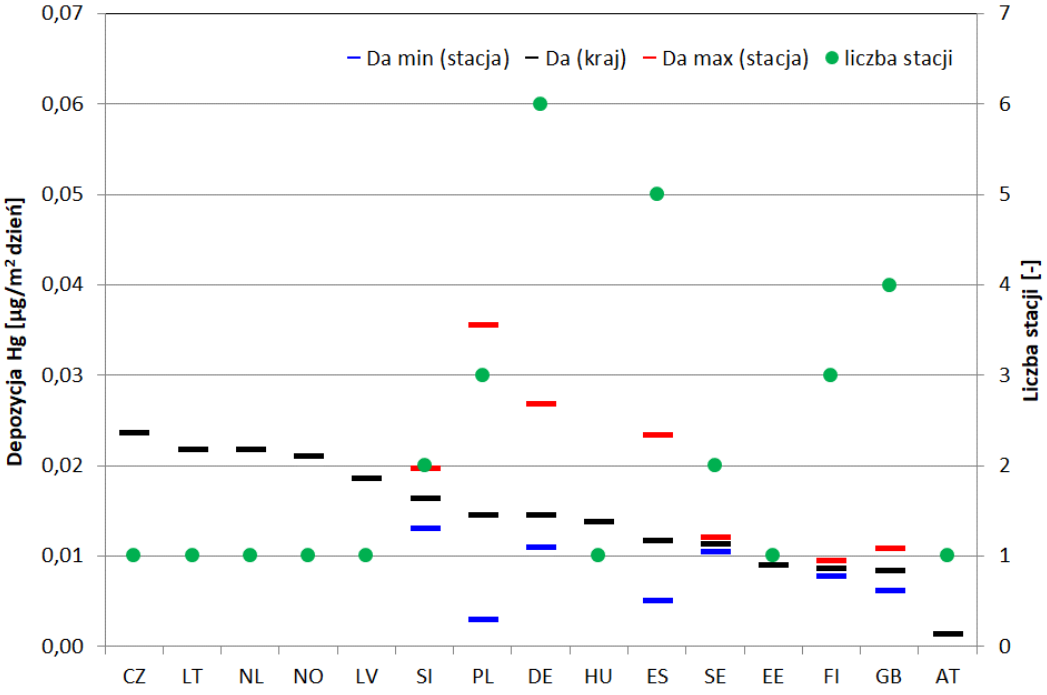
Uśrednione wartości wskaźnika depozycji Hg dla obszarów pozamiejskich tła w poszczególnych krajach europejskich pokazują, że w 2019 roku w Polsce wskaźnik średniej dobowej depozycji rtęci znajdował się na poziomie średnim w Europie. Podobnie było w latach poprzednich. Wyższe niż w Polsce wartości zanotowano dla 6 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. Najwyższe wartości w roku 2019 uzyskano dla Czech i Litwy (blisko 2 krotnie wyższe niż w Polsce), zaś najniższe dla Wielkie Brytanii i 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 2019 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ, EMEP)

Kod kraju wg ISO	Liczba stacji	Dobowy wskaźnik depozycji		
		Dwa min	Dwa	Dwa max
	[-]	[µg/m² dzień]	[µg/m² dzień]	[µg/m² dzień]
AT	1	0,001	0,001	0,001
CZ	1	0,024	0,024	0,024
DE	6	0,011	0,014	0,027
EE	1	0,009	0,009	0,009
ES	5	0,005	0,012	0,023
FI	3	0,008	0,009	0,009
GB	4	0,006	0,008	0,011
HU	1	0,014	0,014	0,014
LT	1	0,022	0,022	0,022
LV	1	0,018	0,018	0,018
NL	1	0,022	0,022	0,022
NO	1	0,021	0,021	0,021
PL*)	3	0,003	0,015	0,035
SE	2	0,010	0,011	0,012
SI	2	0,013	0,016	0,020
Europa	**33**	**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 2019 (źródło danych: EAŚ, EMEP)

Analiza zmian uśrednionego wskaźnika depozycji z roku na rok (2018-2019) wskazuje na wzrost depozycji Hg w 6 (w tym w Polsce) spośród 14 analizowanych krajów, największy dla Niderlandów (ponad 40%) i Niemiec (27%). W przypadku Polski, wzrost wartości

uśrednionego wskaźnika depozycji z roku na rok był na podobnym poziomie jak dla Litwy i Finlandii. Spośród pozostałych 8 krajów, gdzie zaobserwowano spadki wartości wskaźnika dobowego depozycji rtęci, największe zmiany (przekraczające 60%) uzyskano dla Węgier oraz Hiszpanii.

Tab. 8.4. Zmiany względne średniego wskaźnika depozycji Hg dla krajów europejskich w roku 2019 względem roku 2018 oraz wartości średnich z lat 2010-2018 (źródło danych: EAŚ, EMEP)

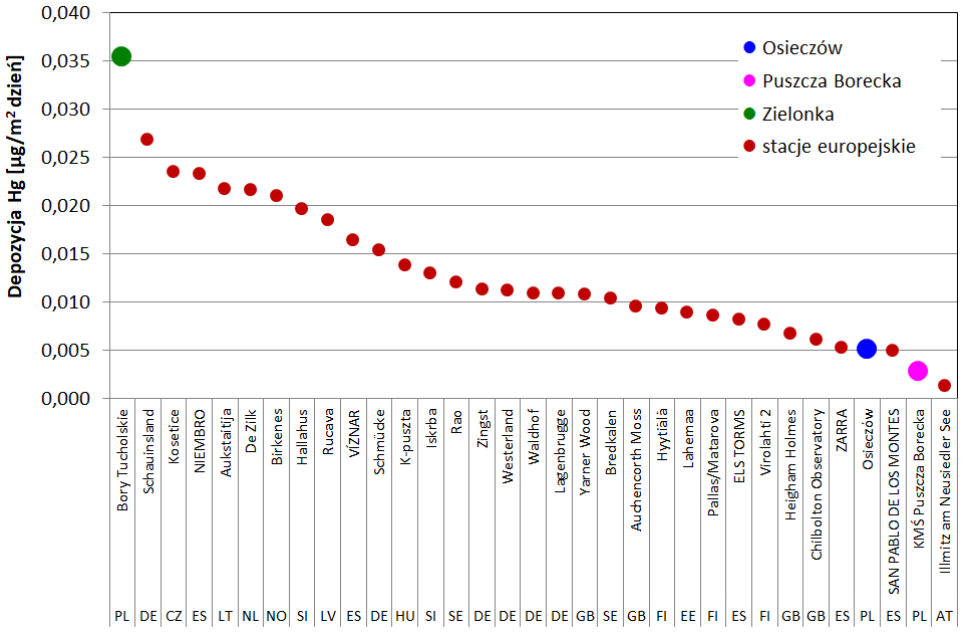
Kod kraju wg ISO	Dwa w okresie 2010-2018 [µg/m^2 dzień]	Różnica względna Dwa [%]	
		2019/2018	2019/(2010-2018)
AT	0,005	-9,2%	-74,4%
BE	0,015	*)	*)
CZ	0,019	8,2%	21,1%
DE	0,017	27,7%	-16,8%
EE	0,012	-6,6%	-25,2%
ES	0,023	-65,9%	-49,7%
FI	0,007	16,1%	24,1%
GB	0,019	-27,1%	-56,5%
HU	0,122	-66,7%	-88,7%
IE	0,081	*)	*)
LT	0,018	18,5%	23,3%
LV	0,040	**)	-53,5%
NL	0,017	41,1%	24,7%
NO	0,027	-6,5%	-23,5%
PL	0,025	14,5%	-41,5%
PT	0,019	*)	*)
SE	0,013	-22,6%	-14,1%
SI	0,028	-21,9%	-40,7%

*) brak danych dla 2019 roku

**) wartość w roku 2018 równa 0,000 µg/m^2 dzień

Analiza zmian średniego rocznego wskaźnika depozycji Hg w roku 2019 na tle całego rozważanego okresu 2010-2018 wskazała na wyższe wartości w ostatnim roku niż średnia z wielolecia dla 4 krajów: Czech, Finlandii, Niderlandów i Hiszpanii. Wzrosty te były niemal identyczne, na poziomie 20-25%. W przypadku pozostałych 12 krajów, gdzie zanotowano spadek wskaźnika depozycji w roku 2019 w stosunku do średniej obliczonej z wielolecia, największy dotyczył Węgier (blisko 90%) i Austrii (około 75%). W przypadku Polski wartość średniego wskaźnika depozycji Hg w roku 2019 była niższa od obliczonej dla wielolecia o blisko 42% (Tab. 8.3)..

Analiza średniego dobowego wskaźnika depozycji Hg na poszczególnych stacjach europejskich pokazuje znaczną rozpiętość - od 0,001 µg/m^2 na dzień do 0,036 µg/m^2 na dzień. Wśród 5 stacji z najwyższymi wartościami wskaźnika depozycji na 33 poddanych analizie, znajdowały się stacje z Polski (Zielonka - maksimum europejskie na obszarach tła pozamiejskiego) oraz stacje z Niemiec, Czech, Hiszpanii oraz Litwy. Pozostałe dwie stacje tła regionalnego z Polski uplasowały się w strefie wartości bardzo niskich, odpowiednio Osieczów - 30 wartość oraz Puszcza Borecka - 32 wartość na 33 stacje licząc od najwyższych (Rys. 8.4).



Rys. 8.4. Roczna depozycja Hg do podłoża na poszczególnych stacjach w Europie w roku 2019 (źródło danych: EAŚ, EMEP)

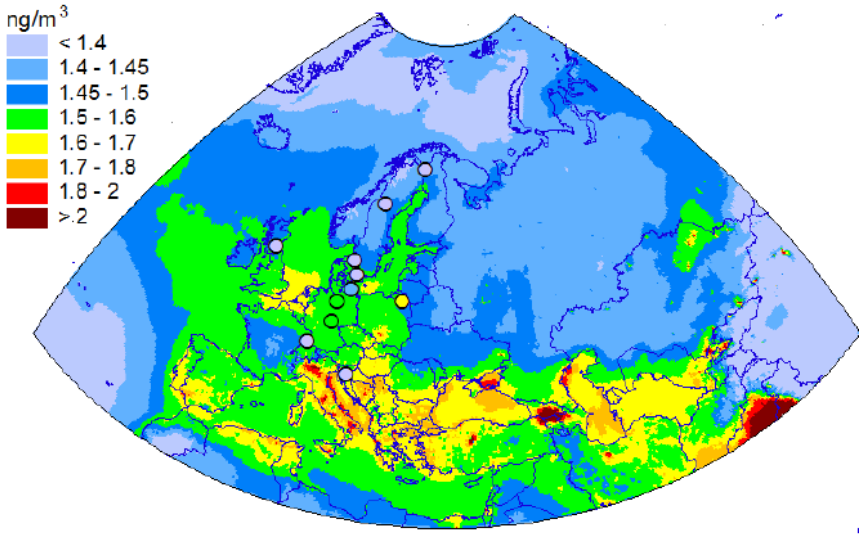
9. Modelowanie

W niniejszym rozdziale przedstawiono rezultaty obliczeń modelowych przeprowadzonych przez Meteorologiczne Centrum Syntetyzujące – Wschód (MSC-E) EMEP. Zaczerpnięto je z strony internetowej Centrum (www.msceast.org), z dorocznego raportu opracowanego przez MSC-E (EMEP, 2021a i EMEP, 2021b) oraz z raportu przygotowanego dla Polski (EMEP, 2021c). 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 2019 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: emisję antropogeniczną w danym roku, resuspensję cząstek pyłu zawierających metale naturalnego pochodzenia i zdeponowanych na podłożu w przeszłości oraz emisję ze źródeł położonych poza domeną EMEP.

9.1. Zanieczyszczenie powietrza rtęcią

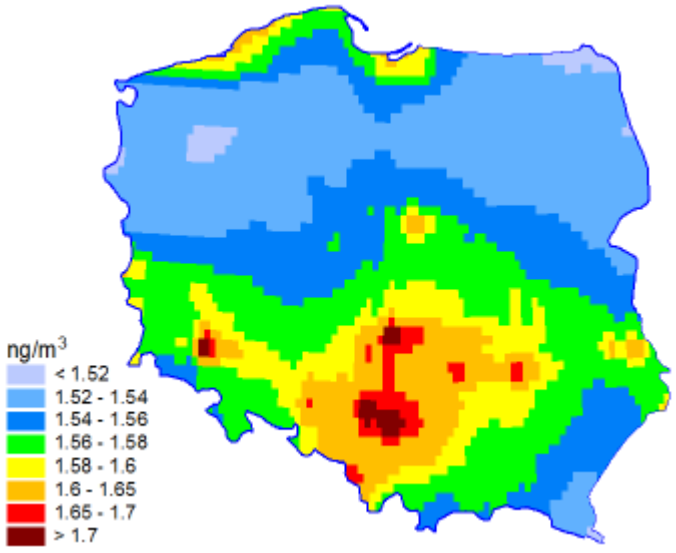
Rozkład przestrzenny stężeń rtęci w powietrzu na obszarze EMEP jest mało zróżnicowany pomiędzy regionami (znacznie mniej niż dla innych metali ciężkich), co można przypisać znaczącemu wpływowi transportu globalnego, powodowanemu długim czasem przebywania rtęci w atmosferze (0,5 – 1 rok). Transport ze źródeł, które są położone poza domeną EMEP jest uważany za główny czynnik kształtujący poziom rtęci gazowej na obszarze EMEP. Na większości obszaru stężenie rtęci w powietrzu wahało się pomiędzy 1,4 a 1,8 ng/m^3. Zgodnie z wynikami obliczeń modelowych można wskazać, że wysokie stężenia (1,6 – 2,0 ng/m^3) występowały w południowej części domeny EMEP i w rejonie Morza Śródziemnego, 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 (Kirgistan,

Tadżykistan, Włochy, Bałkany). Najniższe stężenia rtęci występowały w Skandynawii, północnej Rosji, części Arktyki (Rys. 9.1).



Rys. 9.1. Rozkład przestrzenny stężenia rtęci w powietrzu w roku 2019 – rezultaty obliczeń modelowych [ng/m^3](źródło: MSC-E EMEP (EMEP, 2021a))

Szczegółowy obraz dla obszaru Polski pokazano na Rys. 9.2. Najwyższe wartości stężenia rtęci występują w województwach śląskim, małopolskim, łódzkim i dolnośląskim – z maksimum w pojedynczych oczkach siatki (>1,7 ng/m^3). Wysokie stężenia (>1,65 ng/m^3) występują również w miejscach lokalizacji dużych źródeł punktowych związanych z energetyką. Stosunkowo wysokie wartości notowane są w województwach dolnośląskim, świętokrzyskim, łódzkim i mazowieckim a także na Wybrzeżu Bałtyku – w województwach zachodniopomorskim, pomorskim oraz w części nadmorskiej warmińsko-mazurskiego. Najmniejsze stężenia występują w Polsce północno-wschodniej (województwa podlaskie i warmińsko-mazurskie) i wschodniej (część województwa podkarpackiego).

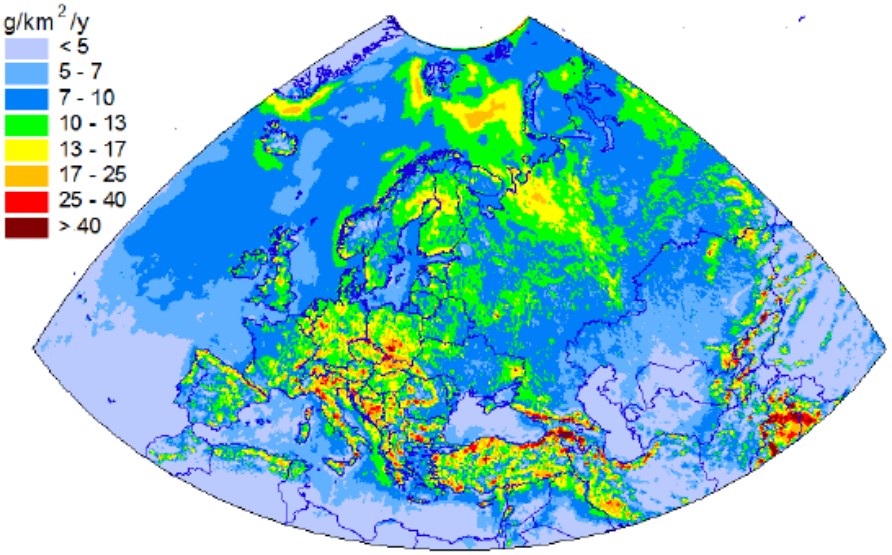


Rys. 9.2. Rozkład przestrzenny stężenia rtęci w powietrzu w Polsce w roku 2019 na podstawie rezultatów obliczeń modelowych [ng/m^3] (źródło: EMEP/MSC-E Data Report 3/2021)

9.2. Depozycja rtęci do podłoża

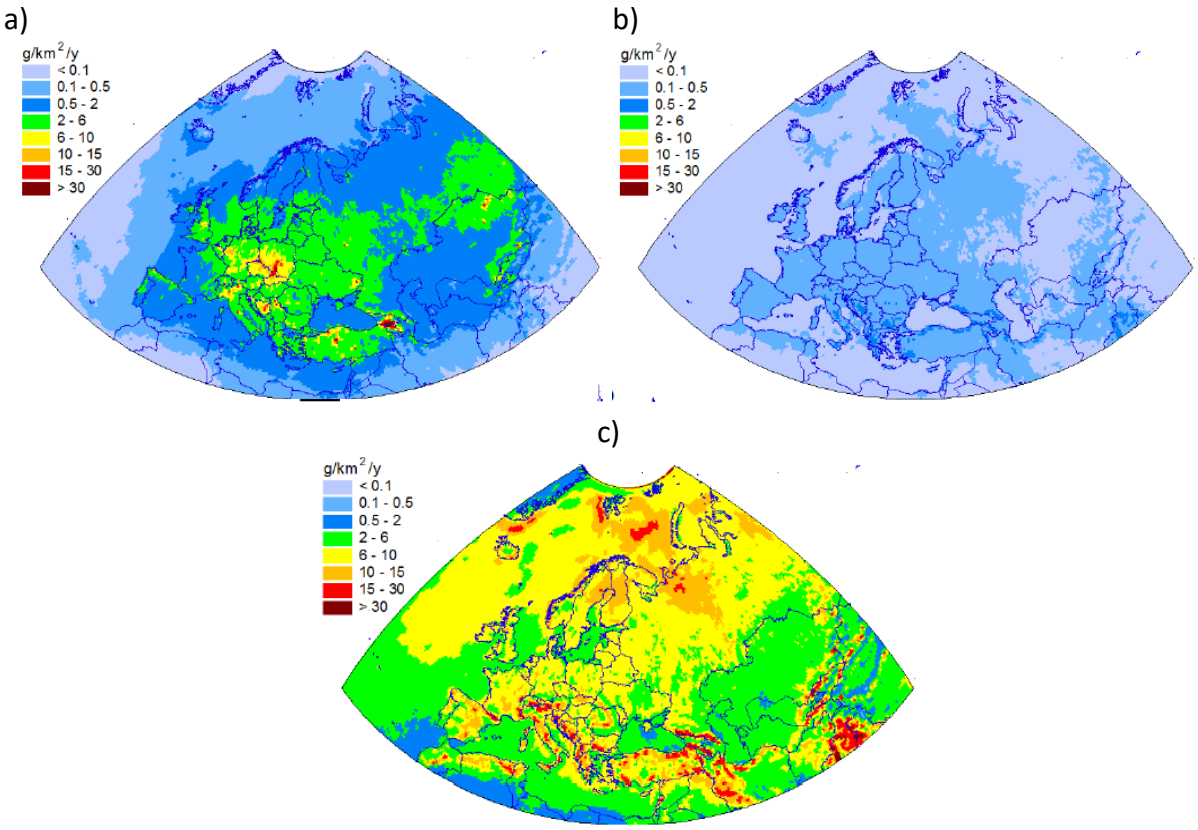
Obliczenia modelowe wykazują, że obszary o największej depozycji rtęci w Europie występowały w 2019 roku w południowej i południowo-zachodniej Polsce (>25 g/km^2 w roku), w północnych Włoszech, na Bałkanach, a na obszarze EMEP - na południowo-wschodnich krańcach domeny, co można wiązać zarówno z lokalizacją dużych źródeł emisji, jak i wpływem źródeł naturalnych (Rys. 9.3 i 9.4). Znaczącą depozycję odnotowano w Arktyce, co jest efektem dalekiego transportu rtęci. Wielkość depozycji na tym obszarze wynosi 10-25 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 50 do 90%. 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, 2021a i EMEP, 2021b).



Rys. 9.3. Rozkład przestrzenny depozycji rtęci w roku 2019 – rezultaty obliczeń modelowych [g/km^2] (źródło: MSC-E EMEP (EMEP, 2021a))

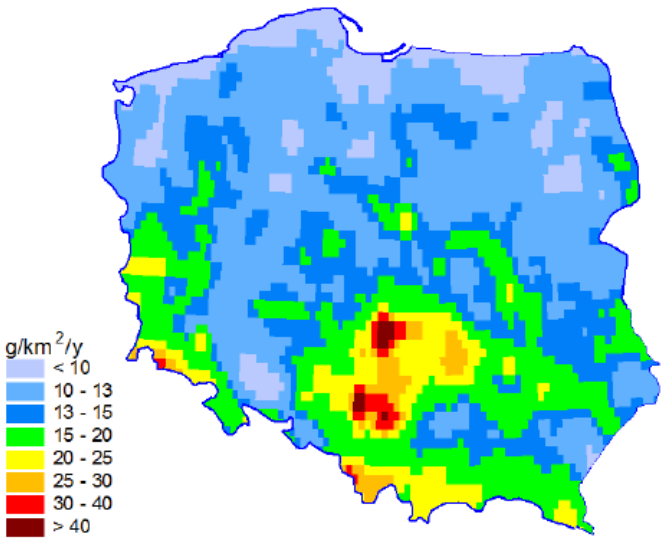
Rozkład przestrzenny depozycji rtęci odzwierciedla rozkład emisji – depozycja rtęci emitowanej ze źródeł antropogenicznych jest największa w Europie centralnej i południowej i w niektórych miejscach we wschodniej części kontynentu; bezpośrednia depozycja ze źródeł naturalnych/wtórnych jest znacznie mniejsza 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. 9.4. Rozkład przestrzenny depozycji rtęci w roku 2019: 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, 2021a))

Szczegółowy obraz dla obszaru Polski zaprezentowano na rysunku 9.5. Najwyższe wartości depozycji rtęci (>40 g/km^2) występują w tych oczkach siatki, gdzie zlokalizowane są największe punktowe źródła emisji: w województwie śląskim i łódzkim. Stosunkowo wysokie wartości depozycji występują również na innych obszarach w tych województwach oraz w części dolnośląskiego i małopolskiego (20-30 g/km^2).

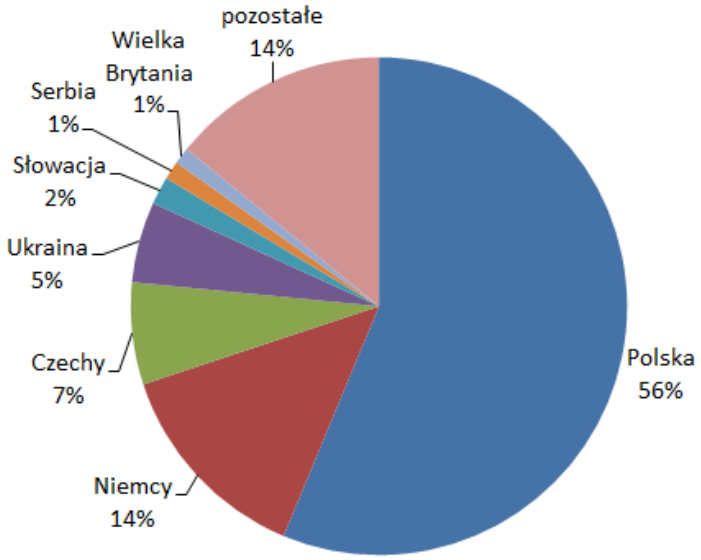
Najmniejsze wartości depozycji występują w Polsce północnej i północno-wschodniej oraz częściowo wschodniej (znaczna część województwa warmińsko-mazurskiego i podlaskiego oraz zachodniopomorskiego i pomorskiego, zwłaszcza na wybrzeżu Bałtyku a także lubelskiego i podkarpackiego) (10-15 g/km^2, a nawet <10 g/km^2).



Rys. 9.5. Rozkład przestrzenny depozycji rtęci w Polsce w roku 2019 na podstawie rezultatów obliczeń modelowych [g/km^2] (źródło: EMEP/MSC-E Data Report 3/2021)

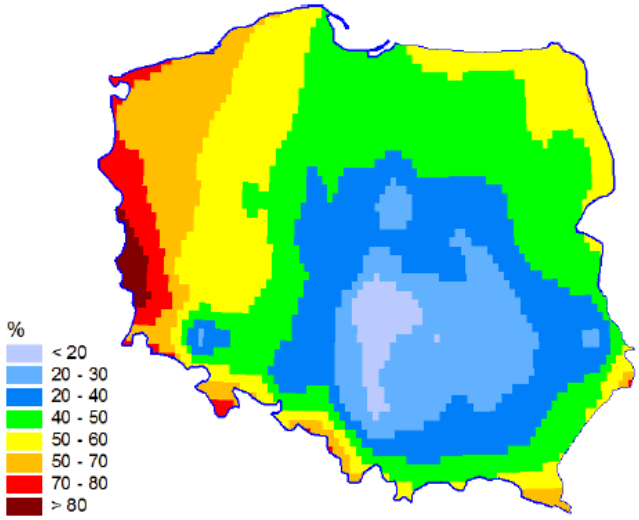
9.3. Transport transgraniczny rtęci

Z 2,3 Mg rtęci ze źródeł antropogenicznych, zdeponowanych w 2019 roku na obszarze Polski 56% zostało wyemitowane na terenie kraju. W mniejszych ilościach do tej depozycji przyczyniły się źródła niemieckie (14%), czeskie (7%), ukraińskie (5%), słowackie (2%), a po ok. 1,0% rtęci osiadłej na terenie Polski pochodziło z Serbii i Wielkiej Brytanii. Pozostałe kraje w domenie EMEP w sumie dostarczyły 14% rtęci osiadłej na obszarze Polski (Rys. 9.6). Dodatkowo MSC-E szacuje depozycję ze źródeł globalnych, naturalnych i historycznych w roku 2019 na 2,2 Mg, co stanowi 49,8% depozycji całkowitej (EMEP, 2021c).



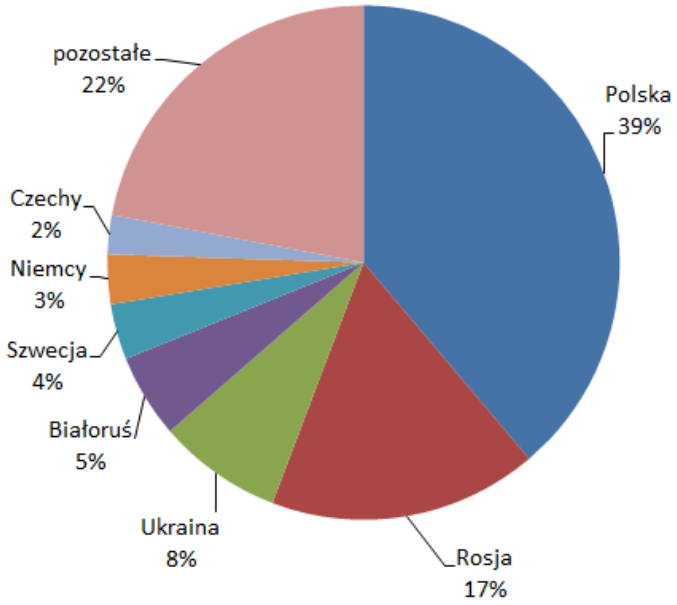
Rys. 9.6. Obszary źródłowe dla depozycji rtęci w Polsce w roku 2019– na podstawie rezultatów obliczeń modelowych (źródło danych: MSC-E EMEP)

Udział źródeł emisji położonych poza granicami kraju w kształtowaniu wielkości depozycji w Polsce był największy w rejonach przygranicznych, zwłaszcza na zachodzie i północnym zachodzie. W miarę zbliżania się do centrum kraju udział źródeł zagranicznych malał i w znaczącej części województwa łódzkiego, mazowieckiego, świętokrzyskiego i na fragmencie śląskiego był mniejszy od 20-30%. Blisko połowa powierzchni Polski to teren, na którym wkład źródeł spoza granic kraju do depozycji Hg wynosił mniej niż 40%, przy czym znacząca część to obszar, na którym udział ten był mniejszy niż 30 a nawet 20% (Rys. 9.7).



Rys. 9.7. Udział zagranicznych źródeł emisji w depozycji rtęci w Polsce w roku 2019 na podstawie rezultatów obliczeń modelowych [%](źródło: EMEP/MSC-E Data Report 3/2021)

Rtęć emitowana w Polsce osiada na terenie kraju oraz poza jego granicami, przy czym Polska jest głównym receptorem rtęci emitowanej z własnych źródeł. W 2019 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 (5%), Szwecja (4%), Niemcy (3%), Czechy (2%). W mniejszych ilościach rtęć z Polski była deponowana także na innych terenach, do których w sumie dotarło 22% zdeponowanej rtęci pochodzącej z krajowych źródeł) (Rys. 9.8).



Rys. 9.8. Obszary docelowe dla depozycji rtęci emitowanej w Polsce w roku 2019 – na podstawie rezultatów obliczeń modelowych (źródło danych: MSC-E EMEP)

10. Podsumowanie

Emisja rtęci

Wśród krajów o największej emisji rtęci w Unii Europejskiej znajdują się: Polska, Niemcy, Włochy, Wielka Brytania i Hiszpania. W roku 2019 krajowa emisja rtęci ze źródeł antropogenicznych wyniosła 7,85 Mg i była mniejsza o blisko 10% w stosunku do emisji z roku poprzedniego. Udział Polski w emisji europejskiej (z 28 krajów UE) rtęci w 2019 roku wynosił 17,2%, a w emisji z domeny EMEP – 4,4%.

Dominującymi sektorami w krajowej emisji Hg w roku 2019 były: Przemysły energetyczne (57,1% emisji krajowej rtęci) oraz Procesy przemysłowe (18,8%). 52% rtęci emitowanej z zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza pochodziło z województwa łódzkiego.

Warunki meteorologiczne

Rok 2020 pod względem termicznym był, podobnie jak rok poprzedni, jednym z najcieplejszych okresów w ostatnim 11-leciu. Najcieplejszym spośród analizowanych obszarem Polski w roku 2020 był rejon stacji Osieczów, zaś najchłodniejszym - rejon stacji Puszcza Borecka, jak najczęściej bywało w wieloleciu.

Cechą charakterystyczną warunków opadowych w roku 2020 był spadek sumy opadów względem średniej z okresu wcześniejszego (2010-2019) w rejonach północnej Polski i wzrost opadów na pozostałych stacjach.

W 2020 roku cechą charakterystyczną napływu mas powietrza do Polski była ponad przeciętna częstość adwekcji z sektora zachodniego kosztem adwekcji z sektora wschodniego.

Zanieczyszczenie powietrza rtęcią

Charakterystyczną cechą przebiegu stężeń Hg w powietrzu na wszystkich stacjach tła regionalnego w 2020 roku i latach wcześniejszych (2010-2019) są relatywnie niewielkie zmiany. Wyższe stężenia rtęci w powietrzu w 2020 roku uzyskano na stacjach Osieczów i Złoty Potok niż na stacjach Puszcza Borecka i Zielonka. W roku 2020 spadek średniego rocznego stężenia Hg w powietrzu z roku na rok zaobserwowano tylko na stacji Puszcza Borecka. W przypadku analizy wartości średniej rocznej z 2020 roku w zestawieniu ze średnią z wielolecia (2010-2019), niższe wartości uzyskano na stacjach Osieczów i Złoty Potok, zaś wyższe na stacji Granica i Puszcza Borecka. Zmiany względne nie przekraczały kilkunastu procent. Na wszystkich stacjach w roku 2020 zaobserwowano wyższe stężenia zimą.

Porównanie wyników stężeń rtęci w powietrzu w 2019 roku w Polsce na tle innych krajów europejskich wskazuje na podobne poziomy, jak obliczone dla w Austrii, Niemczech, Estonii i Norwegii. Były to obok Islandii najwyższe stężenia wśród 14 analizowanych krajów. Analiza względnych zmian stężeń uśrednionych dla każdego z krajów w latach 2018 -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 2019 wynosiła ponad 2 ng/m^3, a wśród 5 stacji z najwyższymi stężeniami średnimi rocznymi, znajdowały się 2 stacje z Polski: Puszcza Borecka (2 maksimum europejskie) i Złoty Potok (3 maksimum). Maksimum europejskie odnotowała stacja na Islandii. Pozostałe stacje z Polski uplasowały się w strefie stężeń wyższych (Osieczów) i średnich (Zielonka i Granica).

Depozycja rtęci

Spośród trzech analizowanych stacji tła regionalnego, najwyższą depozycję rtęci w roku 2020 zaobserwowano na stacji w Zielonce, zaś najniższą w Osieczowie. Względne zmiany depozycji Hg z roku na rok (2019-2020) wykazały wzrost na stacji w Puszczy Boreckiej. Na wszystkich zanotowano niższe wartości w roku 2020 niż średnia z wielolecia (2010-20219). Wyższe wartości wskaźnika depozycji obserwuje się latem niż zimą.

Uśrednione wartości wskaźnika depozycji Hg dla obszarów pozamiejskich tła w poszczególnych krajach europejskich pokazują, że w 2019 roku dla Polski wskaźnik średniej dobowej depozycji rtęci znajdował się na poziomie średnim. Wyższe niż w Polsce wartości zanotowano dla 6 z 15 analizowanych krajów. Przeprowadzona analiza zmian uśrednionego wskaźnika depozycji z roku na rok (2018-2019) w Europie wskazuje na wzrost depozycji Hg w 6 spośród 14 analizowanych krajów, w tym w Polsce. Zestawienie wartości wskaźnika z roku 2020 i średniej z wielolecia (2010-2018) wśród krajów europejskich wskazuje na niższe wartości dla 75% krajów w tym dla Polski. Wśród 5 stacji z najwyższymi wartościami wskaźnika depozycji (wśród 33 wykonujących oznaczenia depozycji Hg), znajdowały się stacje z 5 krajów, w tym stacja Zielonka z Polski jako maksimum europejskie. Pozostałe dwie stacje tła regionalnego z Polski uplasowały 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. Ponad 56% rtęci, która osiadła w 2019 roku na terenie Polski pochodzi z własnych źródeł emisji, a wśród krajów, z których dociera 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 (>15 g/km^2 w roku), w północnych Włoszech, na Bałkanach, w Turcji, co przypisuje się zarówno lokalizacji dużych źródeł emisji, jak i wpływowi źródeł naturalnych.

Emitowana w Polsce rtęć osiadła częściowo (39%) na terytorium kraju, a pozostała część trafiła głównie do krajów sąsiednich – do Rosji, Niemiec, na Ukrainę, Białoruś, do Szwecji, Niemiec, 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

Materiały źródłowe i zbiory danych przygotowane przez:

oddziały Centralnego Laboratorium Badawczego GIOŚ:

- **we Wrocławiu**: Sprawozdanie z badań jakości powietrza przeprowadzonych na stacji tła regionalnego "Osieczów", Osieczów, gm. Osiecznica, powiat bolesławiecki, Kod stacji: DsOsieczow w roku 2020

- **w Katowicach**: Sprawozdanie z badań jakości powietrza przeprowadzonych na stacji tła regionalnego Złoty Potok, gm. Janów (rejon Leśniczówki), SlZlotyJano_lesni w roku 2020
- **w Bydgoszczy**: Sprawozdanie z badań jakości powietrza przeprowadzonych na stacji tła regionalnego Bory Tucholskie, Zielonka, KpZielBoryTu w roku 2020
- **w Warszawie**: Sprawozdanie z badań jakości powietrza przeprowadzonych na stacji tła regionalnego Granica-KPN, Granica - Kampinoski Park Narodowy, MzGranicaKPN w roku 2020

oraz **Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy**: Sprawozdanie z badań jakości powietrza przeprowadzonych na stacji tła regionalnego Puszcza Borecka, WmPuszczaBor w roku 2020

Publikacje dostępne (w większości) na stronach www:

2021 AMAP Mercury Assessment. Summary for Policy-makers. Arctic Monitoring and Assessment Programme (2021)

Bose-O'Reilly i in., (2010): Mercury exposure and children's health. Curr Probl Pediatr Adolesc Health Care 2010 Sep;40(8):186-215

EC (2017): Science for Environment Policy, Tackling mercury pollution in the EU and worldwide, University of the West of England, In-depth report 15, 2017

EEA (2018): Mercury in Europe's environment. A priority for European and global action. European Environmental Agency, 2018

EMEP (2021a): 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 (2021b): Strizhkina I. i in: Heavy metals and POPs: Pollution assessment of toxic substances on regional and global scales. Part I Suplementary materials for heavy metals. EMEP/MSC-E Data Report 1/2021

EMEP (2021c): Ilyin I. i in: Transboundary pollution by heavy metals and persistent organic pollutants in 2019. Poland. EMEP/MSC-E Data Report 3/2021

Genchi i in., (2017):Mercury Exposure and Heart Diseases , International Journal of Environmental Research and Public Healt 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 (2020): Ochrona środowiska 2020. Informacje i opracowania statystyczne. GUS, 2020

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 (2021): Krajowy bilans emisji SO_2, NO_x, CO, NH_3, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO za lata 1990-2019. Raport syntetyczny. KOBiZE, 2021

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. Pirrone N., Mahaffey K.R. (red): 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 czystszego powietrza dla Europy (Dz. U. UE L 152/1, 11.6.2008)

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

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

KE (2016): Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/2284 z dnia 14 grudnia 2016 r. w sprawie redukcji krajowych emisji niektórych rodzajów zanieczyszczeń atmosferycznych, zmiany dyrektywy 20013/35/WE oraz uchylenia dyrektywy 2001/81/WE (Dz. Urz. UE L 344/1 z 17.12.2006)

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

LRTAP (1979): Konwencja Genewska w sprawie transgranicznego zanieczyszczania powietrza na dalekie odległości, sporządzona w Genewie dn. 13 listopada 1979 r. (Dz. U. z 1985 r. Nr 60, poz 311; Dz.U z 1988 r. Nr 40, poz. 313)

PMŚ (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