



Główny Inspektorat Ochrony Środowiska

**Ocena zanieczyszczenia powietrza
na stacjach monitoringu tła regionalnego
w Polsce w roku 2024
w zakresie składu pyłu zawieszonego PM10 i PM2,5
oraz depozycji metali ciężkich i WWA**

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: dr inż. Anna Degórska, dr inż. Krzysztof Skotak, mgr inż. Zdzisław Prządka, mgr Marcin Syrzycki, pod kierownictwem Dyrektora Instytutu: dr hab. Marcina Stoczkiewicza.



Praca wykonana na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska w ramach umowy GIOŚ/ZP/3/2023/DMS/NFOŚiGW z dnia 12.01.2023 r. i finansowana ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

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

Warszawa, 2025

Spis treści

1.	Wprowadzenie	2
2.	Przyjęte w opracowaniu założenia, kryteria i oznaczenia	4
3.	Struktura emisji w Polsce	9
4.	Opis stacji	16
5.	Charakterystyka warunków meteorologicznych	23
6.	Ocena zanieczyszczenia powietrza na stacjach tła	28
6.1.1.	Pył zawieszony PM10	28
6.1.2.	Metale ciężkie w pyłe zawieszonym PM10	33
6.1.3.	Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w pyłe zawieszonym PM10 ..	40
6.2.	Zanieczyszczenia zawarte w pyłe zawieszonym PM2,5	47
6.2.1.	Pył zawieszony PM2,5	47
6.2.2.	Skład pyłu zawieszonego PM2,5	52
6.3.	Udział pyłu zawieszonego PM2,5 w pyłe PM10	62
6.4.	Stężenie pyłu podczas dni z napływem powietrza zwrotnikowego znad północnej Afryki nad Polskę	66
6.5.	Depozycja zanieczyszczeń do podłoża	73
6.5.1.	Metale ciężkie	73
6.5.2.	Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne	79
7.	Ocena zanieczyszczenia powietrza na tle wyników z innych krajów	85
7.1.	Zanieczyszczenia zawarte w pyłe zawieszonym PM10	85
7.1.1.	Pył zawieszony PM10	85
7.1.2.	Metale ciężkie w pyłe zawieszonym PM10	88
7.1.3.	Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w pyłe zawieszonym PM10 ..	97
7.2.	Zanieczyszczenia zawarte w pyłe zawieszonym PM2,5	108
7.2.1.	Pył zawieszony PM2,5	108
7.2.2.	Jony zawarte w pyłe zawieszonym PM2,5	111
7.3.	Udział pyłu zawieszonego PM2,5 w pyłe zawieszonym PM10	127
7.4.	Depozycja zanieczyszczeń do podłoża	130
7.4.1.	Metale ciężkie	130
7.4.2.	Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne	135
8.	Podsumowanie	144
9.	Bibliografia	148

1. Wprowadzenie

Raport został opracowany w Instytucie Ochrony Środowiska – Państwowym Instytucie Badawczym w Warszawie, w ramach umowy GIOŚ/ZP/3/2023/DMS/NFOŚiGW z dnia 12.01.2023 r. zawartej pomiędzy Instytutem i Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska, finansowanej ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

Jest to cykliczne opracowanie zawierające analizę wyników pomiarów prowadzonych na stacjach tła regionalnego w Polsce, funkcjonujących w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska (PMŚ). Zakres opracowań obejmuje ocenę dla pyłu zawieszonego i oznaczanych w nim zanieczyszczeń (składników) oraz ładunków zanieczyszczeń z powietrza deponowanych z opadem do podłoża. Przeprowadzenie analiz w zakresie ujętym w opracowaniu wynika z zapisów zawartych w koordynowanym przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska „Wykonawczym Programie Państwowego Monitoringu Środowiska na rok 2024. Monitoring jakości powietrza”¹. Jest to jedno z zadań Programu, związanych z badaniem i oceną stanu zanieczyszczenia powietrza, wykonywanych zgodnie z zapisami ustawy – Poś² transponującej wymagania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE³ i 2004/107/WE⁴. Zadanie to zdefiniowane zostało jako „Monitoring składu pyłu zawieszonego PM₁₀ i PM_{2,5}, rtęci w stanie gazowym oraz depozycji metali ciężkich i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych na stacjach monitoringu tła regionalnego”. Ocena w zakresie rtęci stanowi odrębne opracowanie.

W okresie objętym analizami, ocenę stopnia zanieczyszczenia powietrza oraz wielkości ładunku docierającego do podłoża przeprowadzono dla stacji tła regionalnego Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska zlokalizowanych w Osieczowie i w Zielonce, stacji w Złotym Potoku (będącej stacją tła regionalnego województwa śląskiego) oraz stacji tła regionalnego Instytutu Ochrony Środowiska – Państwowego Instytutu Badawczego w Puszczy Boreckiej. W analizach uwzględniono również stację Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Godowie, monitorującą transgraniczny napływ zanieczyszczeń na Śląsku z obszaru granicy polsko-czeskiej. Dla analiz dotyczących wszystkich stacji, ze względu na pomiary tła regionalnego, tła wojewódzkiego oraz napływów, w opracowaniu używa się jednego określenia "stacje tła".

Głównym celem opracowania jest przedstawienie wyników oceny stopnia zanieczyszczenia powietrza i opadów na wybranych stacjach tła regionalnego w Polsce w latach 2010-2024. Charakterystykę analizowanych w opracowaniu stacji, wraz z podaniem miejsc poboru próbek i zakresu prowadzonego monitoringu oraz wykonywanych oznaczeń, przedstawiono w odrębnym rozdziale. Uzyskane wyniki, tam gdzie to było możliwe, przedstawiono na tle obserwowanych stężeń i wskaźników depozycji uzyskiwanych na stacjach pozamiejskich tła w Europie.

Przed rozpoczęciem analiz, wszystkie wyniki pomiarów z Polski poddano wstępnej analizie, weryfikacji i ocenie. Przyjęte w opracowaniu kryteria selekcji danych są zgodne

¹ Wykonawczy program Państwowego Monitoringu Środowiska na rok 2024. Monitoring jakości powietrza. GIOŚ, 2023

² Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. - Prawo ochrony środowiska (Dz.U. 2024 poz. 54)

³ Dyrektyw Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 roku w sprawie jakości powietrza i czystsze powietrze dla Europy (Dz. Urz. UE L 152 z 11.06.2008, str.1)

⁴ Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2004/107/WE z dnia 15 grudnia 2004 r. w sprawie arsenu, kadmu, niklu, rtęci i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w otaczającym powietrzu (Dz. Urz. UE L 23 z 26.01.2005, str.3)

z obowiązującymi przepisami prawnymi, w tym ze stosowanymi w PMŚ. Ocenę wykonano dla trzech grup zanieczyszczeń:

- pyłu zawieszonego PM₁₀ (o średnicy aerodynamicznej ziaren poniżej 10 µm) oraz zawartych w nim metali ciężkich i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych,
- pyłu zawieszonego PM_{2,5} (o średnicy aerodynamicznej ziaren poniżej 2,5 µm) oraz zawartych w nim kationów i anionów oraz węgla elementarnego i organicznego,
- depozycji (ładunku) zanieczyszczeń do podłoża w zakresie metali ciężkich i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych.

W opracowaniu skupiono się przede wszystkim na ocenie zmian wyników uzyskanych na poszczególnych stacjach w roku 2024 w odniesieniu do roku wcześniejszego oraz w odniesieniu do całego okresu prowadzenia w Polsce tego typu pomiarów (wykorzystując uśrednione wartości dla okresu 2010-2023 lub 2011-2023). Porównanie wyników w omawianym okresie przeprowadzono na podstawie analizy wartości stężeń średnich rocznych oraz wskaźników depozycji. W przypadku zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym PM_{2,5} i PM₁₀ oraz zawartymi w nim metalami ciężkimi (arsenem, kadmem, niklem i ołowiem) i benzo(a)pirenem, wyniki porównano z obowiązującymi wartościami normatywnymi.

W przypadku omawiania wyników uzyskanych w Polsce na tle innych krajów Europy (wykonano ocenę zarówno dla poszczególnych krajów, jak i pojedynczych stacji pomiarowych), analizy przeprowadzono dla dostępnych danych z okresu 2010-2023. Podstawą oceny jakości powietrza w Polsce na tle wyników europejskich były dane pomiarowe zgromadzone w bazie AirBase (do której, za pośrednictwem GIOŚ, regularnie wprowadzane były również dane ze stacji PMŚ), prowadzonej przez Europejską Agencję Środowiska (EAŚ). Pomimo tego, że wszystkie wyniki zawarte w bazach EAŚ należałoby traktować jako dane zweryfikowane, niektóre z nich wymagały korekty (szczególnie w zakresie błędów w kodowaniu jednostek i kodów stacji). Od 2015 roku EAŚ zmienił system udostępniania danych gromadzonych w bazie AirBase, uwzględniając przyjęte kryteria dla tzw. e-reportingu. Należy mieć to na uwadze przy analizach podczas interpretacji przedstawionych w niniejszym opracowaniu wyników, głównie ze względu na różną kompletność serii na przełomie lat 2015/2016 oraz ich spójność z przyjętymi zasadami kodowania danych, nadawania im określonych statusów oraz metodyką udostępniania wyników źródłowych.

W niniejszym opracowaniu przeprowadzono ocenę z uwzględnieniem zmienności czasowej i przestrzennej parametrów meteorologicznych na wybranych stacjach osłonowych zlokalizowanych najbliżej omawianych w opracowaniu stacji tła. Podstawą oceny zmienności warunków meteorologicznych były informacje i dane pochodzące z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego. Dane te nie podlegały weryfikacji przez autorów opracowania.

Dodatkowo, w celu scharakteryzowania poziomu emisji zanieczyszczeń w Polsce, przedstawiono również analizę w tym zakresie. Źródłem danych w skali kraju była informacja opracowana i opublikowana przez Ministerstwo Klimatu i Środowiska na podstawie danych przygotowanych przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami Instytutu Ochrony Środowiska – Państwowego Instytutu Badawczego oraz Główny Urząd Statystyczny. Ocena ta obejmowała najbardziej aktualne i dostępne dane, ze wskazaniem zmian w stosunku do roku poprzedzającego.

2. Przyjęte w opracowaniu założenia, kryteria i oznaczenia

Analizę w zakresie wielkości oraz struktury emisji dla zanieczyszczeń monitorowanych na stacjach tła, omówiono na podstawie dostępnych informacji z roku 2023, najbardziej aktualnych danych dotyczących inwentaryzacji emisji wykonanej na poziomie krajowym. W opracowaniu przedstawiono wielkości emisji z roku 2023 na tle zmian w okresie ostatnich lat. Z względu na stale korygowane wartości emisji (również wstecznie) przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE) Instytutu Ochrony Środowiska – Państwowego Instytutu Badawczego oraz zmiany sposobu raportowania, przedstawione w niniejszym raporcie wartości mogą się różnić z prezentowanymi w opracowaniach wcześniejszych. Przy inwentaryzacji emisji pyłu wykorzystano nowe wskaźniki emisji pyłów ze stacjonarnych źródeł spalania paliw stałych w sektorze komunalno-bytowym (instytucje, handel, gospodarstwa domowe, rolnictwo, leśnictwo należące do sektora 1A4. *Inne sektory*), uwzględniające zarówno frakcję filtrowalną, jak i kondensującą pyłów.

Podstawą oceny warunków meteorologicznych w Polsce w latach 2010-2024 były wyniki obserwacji temperatury oraz wysokości opadu atmosferycznego, prowadzonych na pięciu stacjach: w Częstochowie, Chojnicach, Legnicy, Raciborzu i Suwałkach. Stacje te zlokalizowane są w regionach, w których funkcjonują omawiane w opracowaniu stacje PMŚ i zostały uznane za stacje osłonowe, reprezentatywne dla tych stacji. Analizy warunków meteorologicznych przeprowadzono na podstawie danych IMGW-PIB, uwzględniając również informacje kierunkach napływu mas powietrza nad Polskę. Z powodu odmiennych lokalizacji stacji osłonowych IMGW-PIB, przedstawiane w raporcie warunki meteorologiczne mogą się różnić od obserwowanych na samych stacjach monitoringu tła PMŚ. Założono, że wyniki parametrów meteorologicznych stanowiących podstawę analiz w niniejszym opracowaniu są zweryfikowane.

Zmienność stężeń na poszczególnych stacjach w Polsce, w przypadku pyłu zawieszonego PM10 i PM2,5 oraz składników w nich oznaczanych, przedstawiono na podstawie analiz serii dobowych i tygodniowych, zaś depozycji – na podstawie wyników miesięcznych. Przedstawione w opracowaniu analizy dla stacji tła regionalnego wykonano dla:

- pyłu zawieszonego PM10,
- metali ciężkich oznaczanych w pyłe zawieszonym PM10: arsenu, kadmu, niklu i ołowiu,
- wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) oznaczanych w pyłe zawieszonym PM10: benzo(a)pirenu, benzo(a)antracenu, benzo(b)fluorantenu, benzo(j)fluorantenu, benzo(k)fluorantenu, indeno(1,2,3-cd)pirenu oraz dibenzo(a,h)antracenu,
- pyłu zawieszonego PM2,5,
- jonów oznaczanych w pyłe zawieszonym PM2,5: siarczanowych, azotanowych, chlorkowych, magnezowych, wapniowych sodowych, potasowych i amonowych,
- węgla elementarnego oraz węgla organicznego oznaczanych w pyłe zawieszonym PM2,5,
- metali ciężkich oznaczanych w depozycji całkowitej: arsenu, kadmu, niklu,
- wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) oznaczanych w depozycji całkowitej: benzo(a)pirenu, benzo(a)antracenu, benzo(b)fluorantenu, benzo(j)fluorantenu, benzo(k)fluorantenu, indeno(1,2,3-cd)pirenu oraz dibenzo(a,h)antracenu.

Uzyskane na poszczególnych stacjach wyniki dla zanieczyszczeń powietrza, dla których określono prawnie wartości normowane, odniesione zostały do aktualnie obowiązujących wartości dopuszczalnych i/lub poziomów docelowych określonych dla kryterium ochrony zdrowia (zgodnie z zapisami *Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu*. Dz. U. z 2021, poz. 845). Dotyczy to pyłu zawieszonego PM₁₀ i zawartych w nim Ni, As, Cd i Pb oraz B(a)P oraz pyłu zawieszonego PM_{2,5}.

W analizach uwzględniono serie pomiarowe uwzględnione w ocenach rocznych, spełniające kryteria minimalnej kompletności serii i minimalnego pokrycia czasu w roku, określone w *Rozporządzeniu Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 11 grudnia 2020 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu*⁵, które zastąpiło *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8 czerwca 2018 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu*⁶ (a to z kolei stanowiło nowelizację *Rozporządzenia z dnia 13 września 2012 r.*⁷) – w niniejszym opracowaniu nazywane „kryterium selekcji danych”.

Udział pyłu zawieszonego PM_{2,5} w pyłe zawieszonym PM₁₀ obliczono na podstawie średnich rocznych stężeń. Takie podejście umożliwia obliczenie udziału bez względu na liczbę wyników pomiarów na danej stacji, unikając w ten sposób różnic wynikających z braku danych obu rodzajów pyłu w tych samych terminach pomiarowych.

W niniejszym raporcie zawarto również analizę w zakresie identyfikacji trendów dwóch frakcji pyłu zawieszonego i substancji w nich oznaczanych oraz w depozycji dla każdej z badanych substancji. W tym celu zastosowano nieparametryczny test Manna-Kendalla, który służy do wykrycia istnienia malejącego lub rosnącego trendu w serii danych, a następnie nieparametryczną metodę Sena do szacowania wielkości trendu - nachylenia linii trendu. Testy te służą do analizy danych, w których nie występują cykle sezonowe lub inne (zatem nadają się do wartości rocznych lub wartości średnich dla sezonów). Dopuszczają braki danych i nie wymagają, by analizowane serie charakteryzowały się konkretnym rozkładem. Testowana jest hipoteza zerowa H_0 o braku istnienia trendu, czyli zakładająca przypadkowy rozkład obserwacji x_i w czasie wobec alternatywnej hipotezy H_1 , przyjmującej istnienie rosnącego lub malejącego trendu. Stosowane narzędzie wykorzystuje wielkość „Z”. Dodatnia wartość „Z” świadczy o trendzie rosnącym, a ujemna – o malejącym. Test stosowano jest dla serii pomiarowych zawierających więcej niż 10 danych.

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

Do oceny poziomów stężeń zanieczyszczenia powietrza i depozycji w skali Europy, wybrano wszystkie stacje tła pozamiejskiego, na których w kolejnych latach okresu 2010-2023 prowadzono pomiary danego zanieczyszczenia. W opracowaniu uwzględniono tylko wyniki

⁵ *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; t.j. Dz.U. z 2024 r. poz. 870)

⁶ *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8 czerwca 2018 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu* (Dz. U. z 2018 r. poz. 1119)

⁷ *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 września 2012 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu* (Dz. U. z 2012 r. poz. 1032)

oznaczone w bazie AirBase, jako wiarygodne i zweryfikowane (nie korygowano wartości z wyjątkiem zmiany jednostek w przypadkach, gdy było to konieczne). W analizach uwzględniono obliczone przez EAŚ parametry statystyczne. W przypadku wykonywania pomiarów danego zanieczyszczenia 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 dla danego zanieczyszczenia lub depozycji wartości dla każdego kraju, obliczano jako średnią arytmetyczną z wartości średnich rocznych z pojedynczych stacji funkcjonujących na jego terenie. Podawane wartości stężeń minimalnych i maksymalnych w danym kraju, odnoszą się do wartości średnich rocznych uzyskiwanych na pojedynczych stacjach. W przypadku określenia udziału pyłu zawieszonego PM_{2,5} w pyłe zwieszonym PM₁₀ uwzględniono serie danych ze stacji, na których wykonywano równoległe pomiary obu frakcji pyłu w danym roku oraz z analizowanego okresu 2010-2023. Należy podkreślić, że wyniki pomiarów depozycji w bazie AirBase przechowywane są w postaci wskaźnika, tj. ładunku przeliczonego na dzień ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dzień}$), a nie rzeczywistych wartości sumarycznego ładunku docierającego do podłoża.

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

Skróty nazw stacji:

Osieczów – stacja tła regionalnego Osieczów (województwo dolnośląskie)

Puszcza Borecka – stacja tła regionalnego KMS Puszcz Borecka (województwo warmińsko-mazurskie)

Zielonka – stacja tła regionalnego Bory Tucholskie (województwo kujawsko-pomorskie)

Godów – stacja Godów, ul. Gliniki monitorująca transgraniczny napływ zanieczyszczeń (województwo śląskie)

Złoty Potok – stacja tła pozamiejskiego Złoty Potok, Leśniczówka (województwo śląskie)

Skróty nazw własnych:

AirBase – baza danych Europejskiej Agencji Środowiska

CLB – Centralne Laboratorium Badawcze

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

Pozostałe skróty:

S24 – stężenie średnie dobowe,

ładunek – sumaryczna depozycja do podłoża,

Wskaźnik – wskaźnik wielkości depozycji do podłoża podawany, jako średnia na dobę

Min – minimalna wartość roczna w kraju na pojedynczej stacji (stężenie lub ładunek),

Max – maksymalna wartość roczna w kraju na pojedynczej stacji (stężenie lub ładunek),

Śred – wartość średnia w skali kraju.

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

Skróty zanieczyszczeń:

Pyły:

pył zawieszony PM10 - pył zawieszony o średnicy aerodynamicznej ziaren poniżej 10 μm ,

pył zawieszony PM2,5 - pył zawieszony o średnicy aerodynamicznej ziaren poniżej 2,5 μm ,

Metale ciężkie:

As - arsen

Cd - kadm

Ni - nikiel

Pb – ołów

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA):

B(a)P - benzo(a)piren

B(a)A - benzo(a)antracen

B(b)F - benzo(b)fluoranten

B(j)F - benzo(j)fluoranten

B(k)F - benzo(k)fluoranten

I(1,2,3-cd)P - indeno(1,2,3-cd)piren

D(a,h)A - dibenzo(a,h)antracen

Jony:

SO₄²⁻ - jon siarczanowy

NO₃⁻ - jon azotanowy

Cl⁻ - jon chlorkowy

Mg²⁺ - jon magnezowy

Ca²⁺ - jon wapniowy

Na⁺ - jon sodowy

K⁺ - jon potasowy

NH₄⁺ - jon amonowy

Węgiel:

EC - węgiel elementarny

OC - węgiel organiczny

3. Struktura emisji w Polsce

Pył zawieszony to zanieczyszczenie pochodzące zarówno ze źródeł antropogenicznych, jak i naturalnych. Bezpośrednio emitowany do atmosfery jest pył pierwotny; natomiast pył tworzony w wyniku reakcji i przemian chemicznych jego prekursorów (związków siarki i azotu oraz lotnych związków organicznych) jest w powietrzu zanieczyszczeniem wtórnym.

W niniejszym rozdziale przedstawiono informacje o emisji pierwotnej pyłu zawieszonego PM₁₀ i PM_{2,5}, prekursorów pyłu drobnego oraz składników oznaczanych w pyłe zawieszonym PM₁₀ i opadach na stacjach tła regionalnego: metali ciężkich i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych. Zaprezentowano dane z roku 2023, jako ostatnie dostępne. Pochodzą one z opracowania „Krajowy bilans emisji SO₂, NO_x, CO, NH₃, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO za lata 1990-2023. Raport syntetyczny”⁸. Raport został opracowany w oparciu o obowiązującą obecnie strukturę źródeł emisji w układzie klasyfikacji NFR (*Nomenclature for Reporting*). W opracowaniu tym przy inwentaryzacji emisji pyłu do atmosfery wykorzystano wskaźniki emisji pyłów ze stacjonarnych źródeł spalania paliw stałych w sektorze komunalno-bytowym (instytucje, handel, gospodarstwa domowe, rolnictwo, leśnictwo należące do sektora 1A4. *Inne sektory*), uwzględniające zarówno frakcję filtrowalną, jak i kondensującą pyłów (po raz pierwszy zrobiono to w przypadku danych za 2000 rok). Frakcja kondensująca pyłu zawieszonego, obok związków nieorganicznych, uwzględnia powstające w procesie spalania związki organiczne, które po schłodzeniu i rozcieńczeniu gazów spalinowych po opuszczeniu komina mogą ulegać kondensacji tworząc wraz z tzw. pyłem filtrowalnym pierwotny aerozol atmosferyczny. Działania związane z uwzględnianiem frakcji kondensującej są zgodne z rekomendacjami międzynarodowymi – EMEP, UE.

W roku 2023 krajowa emisja pyłu zawieszonego PM₁₀ wyniosła 321,26 Gg, a pyłu zawieszonego PM_{2,5} – 233,44 Gg. W stosunku do emisji z roku 2022 (przeliczonej z uwzględnieniem frakcji kondensującej) wielkości emisji pyłu zawieszonego PM₁₀ i PM_{2,5} były odpowiednio o 9% i 11% mniejsze niż rok wcześniej. Natomiast w stosunku do wielkości z roku 2010 (również przeliczonej z uwzględnieniem frakcji kondensującej) odnotowano spadek emisji pyłu zawieszonego PM₁₀ o blisko 32% a pyłu zawieszonego PM_{2,5} o około 35%. W tabeli 3.1 zestawiono wielkości emisji pyłu zawieszonego z głównych źródeł.

⁸ „Krajowy bilans emisji SO₂, NO_x, CO, NH₃, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO za lata 1990-2023. Raport syntetyczny”. Ministerstwo Klimatu i Środowiska. Raport opracowany w Krajowym Ośrodku Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE) w Instytucie Ochrony Środowiska – Państwowym Instytucie Badawczym; Warszawa, 2025

Tab. 3.1. Emisja pyłu zawieszonego PM10 i PM2,5 w Polsce z głównych źródeł emisji w 2023 roku
(źródło danych: KOBiZE)

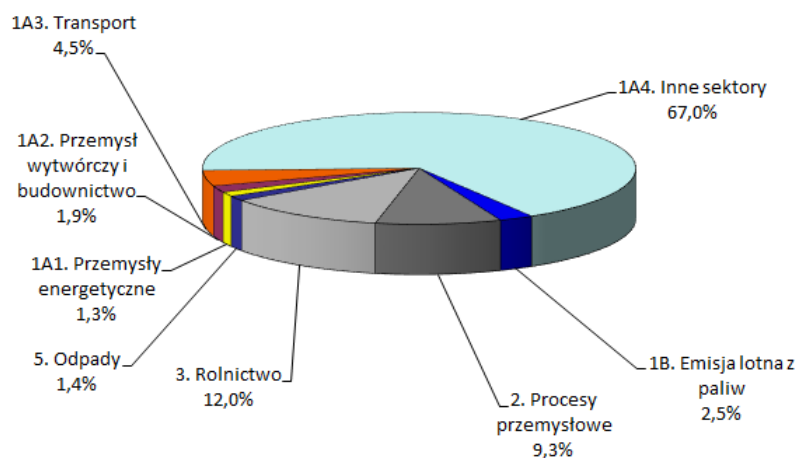
Źródła emisji	PM10	PM2,5
	[Gg]	[Gg]
1. Energia	248,08	217,26
A. Spalanie paliw	239,89	215,91
1. Przemysły energetyczne	4,11	2,09
2. Przemysł wytwórczy i budownictwo	6,16	5,81
3. Transport	14,49	9,54
4. Inne sektory	215,14	198,47
B. Emisja lotna z paliw	8,19	1,35
1. Lotna emisja z paliw stałych	8,07	1,30
2. Lotna emisja z systemu gazu ziemnego i ropy naftowej	0,12	0,05
2. Procesy przemysłowe	30,03	7,76
A. Produkty mineralne	19,41	2,90
B. Przemysł chemiczny	2,31	1,72
C. Produkcja metali	1,55	0,88
D. Stosowanie rozpuszczalników i innych produktów	4,00	0,54
G. – L. Inne	2,75	1,72
3. Rolnictwo	38,57	3,97
B. Nawozy naturalne	11,11	2,37
D. Gleby rolne	27,40	1,55
F. Spalanie resztek roślinnych	0,05	0,05
5. Odpady	4,58	4,45
A. Składowiska odpadów stałych	0,00	0,00
C. Spopielanie i otwarte spalanie odpadów	1,72	1,60
D. Gospodarka ściekami	0,00	0,00
E. Inne	2,85	2,85
Suma	321,26	233,44

Udział emisji z poszczególnych sektorów w emisji pyłu zawieszonego dla frakcji PM2,5 i PM10 zaprezentowano na rysunku 3.1.

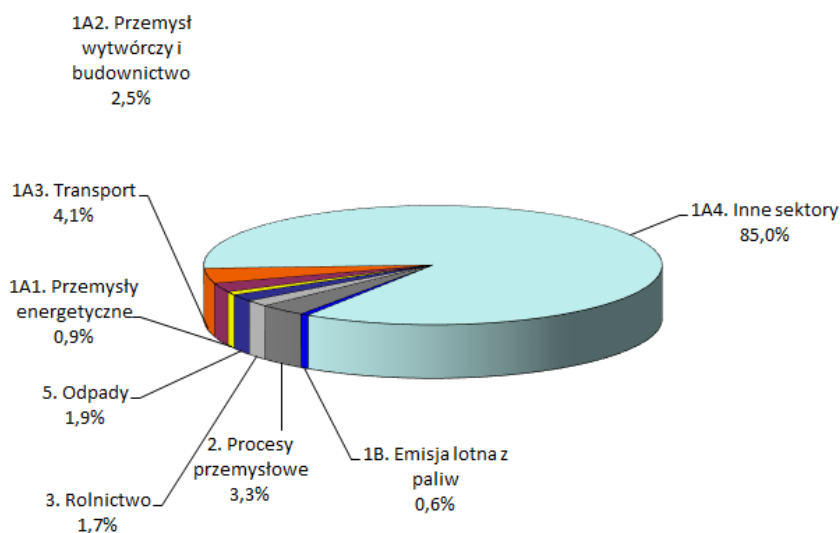
Dominującym sektorem w krajowej emisji pierwotnej pyłu zawieszonego są źródła należące do kategorii *1 Energia*. W roku 2023 z tego sektora pochodziło 77% pyłu zawieszonego PM10 i 93% pyłu drobnego PM2,5. W kategorii 1 najistotniejszą rolę odgrywa sektor *1.A Spalanie paliw* z udziałami w całości emisji odpowiednio 75% dla pyłu zawieszonego PM10 i 92% dla pyłu zawieszonego PM2,5. Większość emisji pyłu PM10 pochodziła w 2023 roku z kategorii *1A4. Inne sektory* – 67%, drugie i trzecie miejsca zajmowały *3. Rolnictwo* (ok. 12%) i *2. Procesy przemysłowe* (9%). Największa część emisji pyłu zawieszonego PM2,5 pochodziła w 2023 roku z kategorii *1A4. Inne sektory* (85%) i była związana głównie ze spalaniem węgla kamiennego i biomasy w gospodarstwach domowych. Na kolejnych miejscach – ze znacznie mniejszym udziałem w całkowitej emisji pyłu zawieszonego PM2,5 – znalazły się sektory: *1A3. Transport* (4%) i *2. Procesy przemysłowe* (3%).

Po uwzględnieniu frakcji kondensującej znacząco wzrósł udział sektora *1A4.* w całkowitej emisji pyłu zawieszonego.

**pył
zawieszony
PM10**



**pył
zawieszony
PM2,5**



Rys. 3.1. Główne sektory emisji pierwotnej pyłu zawieszonego PM10 i PM2,5 w Polsce w 2023 roku
(źródło danych: KOBIZE)

Biorąc pod uwagę emisję pyłu zawieszonego w roku 2023 z zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza należy stwierdzić, że 19,4% emisji krajowej z tego typu zakładów miało źródło w województwie śląskim⁹. Na kolejnych miejscach znalazły się województwa kujawsko-pomorskie i mazowieckie (z udziałami w emisji krajowej wynoszącymi odpowiednio 10,0% i 9,4%), a na następnych: łódzkie i zachodniopomorskie (po 6,9%) oraz dolnośląskie i wielkopolskie (po 6,3%). Listę zamykają województwa lubuskie, podlaskie

⁹ Ochrona środowiska 2024. Informacje i opracowania statystyczne. GUS 2024

i warmińsko-mazurskie (po 2,5% emisji pyłu z zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza w Polsce).

Główne źródła prekursorów pyłu zawieszonego są różne dla poszczególnych związków. Dane o wielkościach emisji poszczególnych prekursorów zamieszczono w tabeli 3.2.

Dla tlenków siarki jest to energetyczne spalanie paliw (głównie węgla) w źródłach stacjonarnych (sektor A.); sektor ten w roku 2023 odpowiadał za 97% krajowej emisji SO₂. 45% emisji pochodziło z 1A4. *Inne sektory*, 38% z kategorii 1A1. *Przemysły energetyczne*, a 12% z sektora 1A2. *Przemysł wytwórczy i budownictwo*. Emisja SO₂ w roku 2023 była o 13% mniejsza niż w roku 2022.

Największym źródłem tlenków azotu wyemitowanych w Polsce było spalanie paliw w sektorach: 1A3. *Transport* (32%, z czego większość stanowił transport drogowy), 1A4. *Inne sektory* (22%) i 1A1. *Przemysły energetyczne* (19%). Emisja NO_x zmniejszyła się o 5% w stosunku do wartości z roku poprzedniego.

Tab. 3.2. Emisja prekursorów pyłu zawieszonego w Polsce z głównych sektorów w 2023 roku
(źródło danych: KOBiZE)

Źródła emisji	SO ₂ [Gg]	NO _x [Gg]	NH ₃ [Gg]	NMLZO* [Gg]
1. Energia	265,82	406,07	3,97	268,97
A. Spalanie paliw	259,74	402,96	3,94	198,04
1. Przemysły energetyczne	103,69	92,92	0,03	3,01
2. Przemysł wytwórczy i budownictwo	32,70	44,24	0,08	20,33
3. Transport	0,77	158,77	3,48	42,60
4. Inne sektory	122,58	108,02	0,36	132,10
B. Emisja lotna z paliw	6,08	3,12	0,03	70,93
1. Lotna emisja z paliw stałych	0,01	0,01	0,03	46,76
2. Lotna emisja z systemu gazu ziemnego i ropy naftowej	6,07	3,11	0,00	24,17
2. Procesy przemysłowe	7,40	13,39	3,01	184,63
A. Produkty mineralne	0,00	0,00	0,00	0,00
B. Przemysł chemiczny	3,50	9,99	2,82	4,86
C. Produkcja metali	1,45	2,43	0,00	0,67
D. Stosowanie rozpuszczalników i innych produktów	0,00	0,00	0,01	170,89
G. – L. Inne	2,45	0,97	0,18	8,20
3. Rolnictwo	0,00	70,79	298,13	185,66
B. Nawozy naturalne	0,00	4,96	122,09	177,20
D. Gleby rolne	0,00	65,82	176,01	8,46
F. Spalanie resztek roślinnych	0,00	0,02	0,02	0,00
5. Odpady	0,06	1,71	5,40	0,91
A. Składowiska odpadów stałych	0,00	0,00	0,00	0,41
B. Biogazownie rolnicze	-	-	2,51	-
C. Spopielanie i otwarte spalanie odpadów	0,03	1,71	0,00	0,47
D. Gospodarka ściekami	0,00	0,00	2,89	0,03
E. Inne	0,00	0,00	0,00	0,00
Suma	273,28	491,96	310,51	640,17

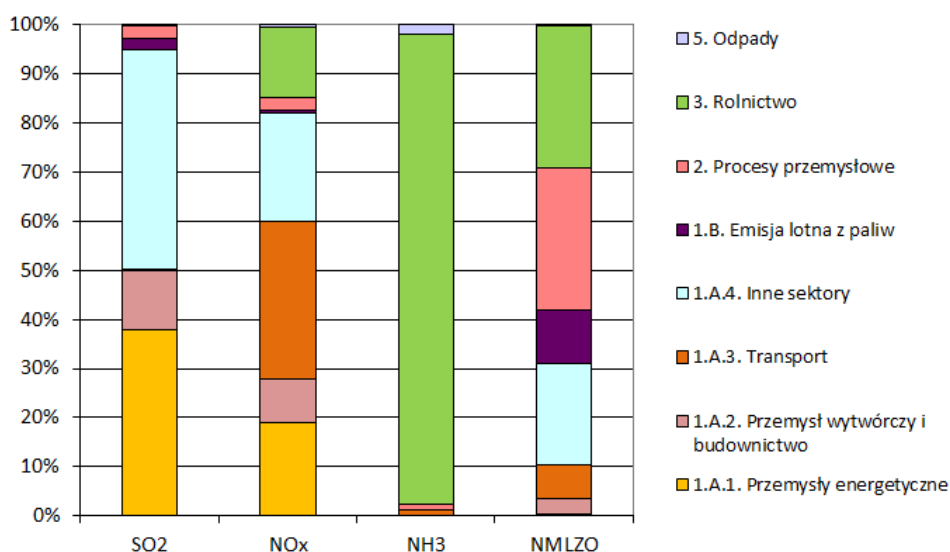
*NMLZO – 277,56 Gg ze źródeł naturalnych, nie wliczane do sumy krajowej

Zasadniczym źródłem emisji amoniaku są źródła należące do kategorii 3. *Rolnictwo*, które odpowiada za blisko 96% emisji NH₃ (dominują kategorie związane ze stosowaniem nawozów naturalnych i mineralnych). Całkowita emisja amoniaku w roku 2023 była o 6% wyższa od notowanej w roku 2022.

Największy udział w emisji niemetanowych lotnych związków organicznych (NMLZO) mają sektory 3. *Rolnictwo* i 2. *Procesy przemysłowe* (po 29% emisji antropogenicznej); w procesach

przemysłowych emisja pochodzi głównie z kategorii 2D. *Stosowanie rozpuszczalników i innych produktów*. Kolejnymi kategoriami źródeł emisji NMLZO są kategorie 1A4. *Inne sektory* z udziałem ponad 20% i 1B. *Emisja lotna z paliw* (blisko 11%). Emisję NMLZO ze źródeł naturalnych (lasów) szacuje się w 2023 roku na 277,6 Gg. Emisja ta jednak nie jest uwzględniana w sumie krajowej, do której wliczane są tylko NMLZO pochodzenia antropogenicznego. W stosunku do wartości z poprzedniego roku odnotowano o 4% mniejszą wartość emisji ze źródeł antropogenicznych.

Udział poszczególnych kategorii źródeł w krajowej emisji prekursorów pyłu zawieszonego w 2023 roku pokazano na rysunku 3.2.



Rys. 3.2. Główne sektory emisji prekursorów pyłu wtórnego w Polsce w 2023 roku (źródło danych: KOBiZE)

Pył zawieszony może być nośnikiem zanieczyszczeń szkodliwych dla zdrowia – metali ciężkich i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA). W tabeli 3.3 przedstawiono wielkości emisji metali ciężkich i WWA z głównych sektorów w Polsce w 2023 roku.

Dominującym źródłem emisji niklu, arsenu i kadmu jest spalanie paliw, szczególnie w sektorze 1A1. *Przemysły energetyczne*, którego udział w całkowitej emisji w 2023 roku stanowił w przypadku Ni 54%, a w przypadku As 44% oraz w sektorze 1A4. *Inne*, którego udział w całkowitej emisji Cd stanowił 33%. W przypadku ołowiu największym źródłem jest sektor 2. *Procesy przemysłowe*, z którego pochodziło w 2023 roku 54% emisji Pb (szczególnie istotna była kategoria 2C. *Produkcja metali*). Również emisja kadmu i arsenu z tego sektora jest na znacznym poziomie – odpowiednio 38% i 24% emisji całkowitej.

W tym miejscu warto wspomnieć, że w roku 2023 najwięcej kadmu i ołowiu emitowały zakłady szczególnie uciążliwe dla czystości powietrza w województwie śląskim, arsenu w dolnośląskim, a niklu w mazowieckim¹⁰. W emisji arsenu na trzech pierwszych miejscach plasowały się województwa dolnośląskie, śląskie i podkarpackie, a w przypadku kadmu: śląskie, mazowieckie i pomorskie. W przypadku emisji niklu z zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza na trzech pierwszych miejscach znalazły się mazowieckie, łódzkie i śląskie, a w przypadku ołowiu śląskie, dolnośląskie i łódzkie. Na trzech ostatnich miejscach,

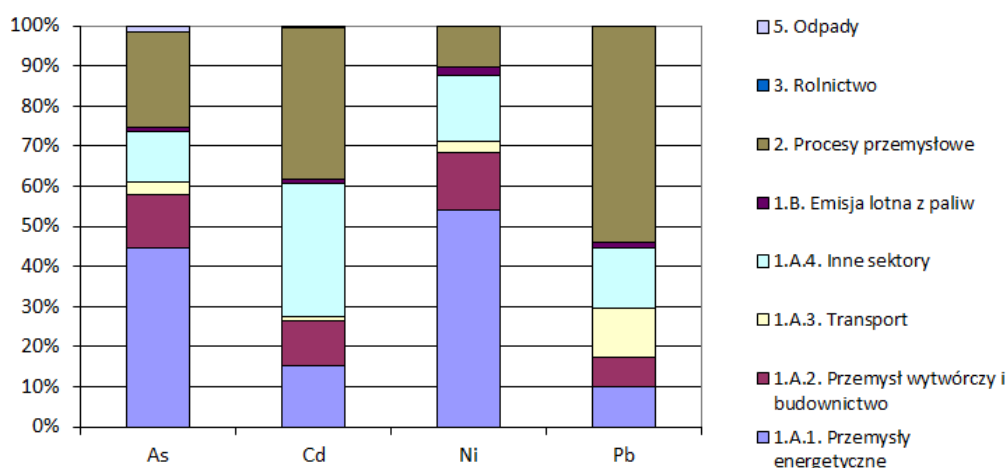
¹⁰ Ochrona środowiska 2024. Informacje i opracowania statystyczne. GUS 2024

z najmniejszym udziałem w całkowitej emisji znalazły się zakłady zlokalizowane w województwach lubuskim, podlaskim, zachodniopomorskim i warmińsko-mazurskim.

Tab. 3.3. Emisja metali ciężkich i WWA w Polsce z głównych sektorów w 2023 roku (źródło danych: KOBiZE)

Źródła emisji	As	Cd	Ni	Pb	WWA
	[Mg]	[Mg]	[Mg]	[Mg]	[Mg]
1. Energia	7,66	5,70	53,76	101,94	194,69
A. Spalanie paliw	7,55	5,63	52,67	98,85	190,45
1. Przemysły energetyczne	4,57	1,41	32,42	22,22	0,27
2. Przemysł wytwórczy i budownictwo	1,37	1,02	8,70	15,79	0,39
3. Transport	0,32	0,12	1,61	27,73	1,41
4. Inne sektory	1,29	3,08	9,93	33,09	188,38
B. Emisja lotna z paliw	0,11	0,07	1,09	3,12	4,24
1. Lotna emisja z paliw stałych	0,10	0,06	0,96	3,04	4,24
2. Lotna emisja z systemu gazu ziemnego i ropy naftowej	0,00	0,01	0,13	0,07	0,00
2. Procesy przemysłowe	2,44	3,51	6,29	119,09	3,91
A. Produkty mineralne	0,72	0,35	1,57	6,64	0,00
B. Przemysł chemiczny	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00
C. Produkcja metali	1,71	2,57	3,10	106,21	2,68
D. Stosowanie rozpuszczalników i innych produktów	0,00	0,00	0,02	0,00	1,21
G. – L. Inne	0,01	0,43	1,60	6,24	0,01
3. Rolnictwo	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02
B. Nawozy naturalne	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D. Gleby rolne	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F. Spalanie resztek roślinnych	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02
5. Odpady	0,16	0,04	0,00	0,19	4,80
A. Składowiska odpadów stałych	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C. Spopielanie i otwarte spalanie odpadów	0,16	0,04	0,00	0,02	4,80
D. Gospodarka ściekami	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
E. Inne	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Suma	10,26	9,26	60,05	221,22	203,42

Strukturę źródeł emisji metali ciężkich pokazano na rys. 3.3.



Rys. 3.3. Główne sektory emisji metali ciężkich w Polsce w 2023 roku (źródło danych: KOBiZE)

Emisja WWA do powietrza została oszacowana na podstawie oceny wielkości emisji czterech wskaźnikowych związków z tej grupy: benzo(a)pirenu, benzo(b)fluorantenu, benzo(k)fluorantenu i indeno(1,2,3-cd)pirenu. W strukturze emisji WWA w Polsce dominuje kategoria 1A4. *Inne sektory* – blisko 93% krajowej emisji w 2023 roku, a główną część tej emisji stanowiła emisja z gospodarstw domowych. Po około 2% krajowej emisji pochodziło z sektorów 5. *Odpady* i 2. *Procesy przemysłowe*. W stosunku do 2022 roku emisja WWA była o 8% mniejsza.

Oprócz omówionych źródeł antropogenicznych pyłu istnieją również źródła naturalne, dla których oszacowanie wielkości emisji i określenie wkładu ilościowego do stężenia pyłu w danym punkcie jest bardzo trudne i obciążone znaczną niepewnością. Do tego typu źródeł zalicza się:

- transport naturalnych cząstek pyłu pustynnego z regionów suchych,
- aerozol morski, stanowiący zespół rozpylonych w powietrzu kropeł wody morskiej oraz/lub cząstek uformowanych w wyniku procesów parowania wody morskiej, pod wpływem działania wiatru,
- wybuchy wulkanów,
- pożary, wynikające z przyczyn naturalnych lub antropogenicznych, obszarów naturalnych, bądź lasów gospodarczych oraz innej roślinności (z wyjątkiem np. rolniczego wypalania ściernisk, wypalania traw itp.),
- pierwotne cząstki aerozolu biologicznego (ang. Primary Biological Aerosol Particles PBAP), czyli zarodniki lub pyłek kwiatowy pochodzące z procesów biologicznych przedostające się do atmosfery bez zmian ich składu chemicznego,
- wtórny aerozol organiczny (biogeniczny) (ang. Secondary Organic Aerosol SOA) - organiczna frakcja aerozolu wtórnego, tworząca się w atmosferze w wyniku reakcji łańcuchowych lotnych związków organicznych emitowanych przez pokrywą glebową i rośliny oraz produkty ich rozkładu¹¹.

Znaczne ilości pyłu wprowadzane są do powietrza także w procesie resuspensji, czyli ponownego porywania cząstek pyłu, które wcześniej osiadły na powierzchni. Oszacowanie wielkości emisji dla tego procesu jest niezwykle trudne, gdyż jest ona kształtowana przez wiele czynników, wśród których najważniejsze są warunki meteorologiczne i rodzaj podłoża.

Drobny pył wyemitowany lub tworzący się w atmosferze może być przenoszony na dalekie odległości – setki, a nawet tysiące kilometrów od źródła emisji. Tym samym pył badany na stacjach tła regionalnego może pochodzić z różnych źródeł, często zlokalizowanych w znacznej odległości od nich. Badania składu pyłu PM_{2,5} mogą pomóc w identyfikacji źródeł emisji mających wpływ na kształtowanie zarówno stężenia, jak i składu pyłu w rejonach reprezentowanych przez te stacje. Podobne znaczenie mogą mieć badania depozycji zanieczyszczeń docierających do podłoża w wyniku suchego osiadania i wymywania przez opady atmosferyczne.

¹¹ *Commission Staff Working Paper establishing guidelines for demonstration and subtraction of exceedances attributable to natural sources under the Directive 2008/50/EC on ambient air quality and cleaner air for Europe. SEC (2001) 208. European Commission, Brussels, 15.02.2011*

4. Opis stacji

Zgodnie z wymaganiami określonymi w aktualnym *Rozporządzeniu Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 11 grudnia 2020 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu*¹², które zastąpiło *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8 czerwca 2018 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu*¹³ (a to z kolei stanowiło nowelizację *Rozporządzenia z dnia 13 września 2012 r.*¹⁴) (transponującym zapisy *Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy*¹⁵ 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*¹⁶ 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*¹⁷) pomiary składu chemicznego pyłu zawieszonego i depozycji całkowitej metali ciężkich i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, prowadzi się w Polsce w co najmniej trzech punktach pomiarowych tła regionalnego. Obowiązek ten, jako odrębne zadanie, został również uwzględniony w obowiązującym w danym roku Programie Państwowego Monitoringu Środowiska i Wykonawczym Programie Państwowego Monitoringu Środowiska – Monitoring jakości powietrza. Podstawowymi celami wykonywania tych pomiarów jest monitorowanie transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń pyłowych oraz opracowywanie ocen jakości powietrza na obszarach tła regionalnego.

Do realizacji programu określonego, dla stacji tła regionalnego, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska wytypował trzy stacje z pełnym programem pomiarowym (obejmującym badania pyłu zawieszonego PM₁₀, pyłu PM_{2,5} oraz depozycji metali ciężkich i WWA) - stacje tła regionalnego:

- **Osieczów** (województwo dolnośląskie), taka sama nazwa jest stosowana w niniejszym opracowaniu,
- **KMŚ Puszca Borecka** (województwo warmińsko-mazurskie) - stosowana nazwa w niniejszym opracowaniu - **Puszca Borecka**,

¹² *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; t.j. Dz.U. z 2024 r. poz. 870)

¹³ *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8 czerwca 2018 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu* (Dz. U. z 2018 r. poz. 1119)

¹⁴ *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 września 2012 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu* (Dz. U. z 2012 r. poz. 1032)

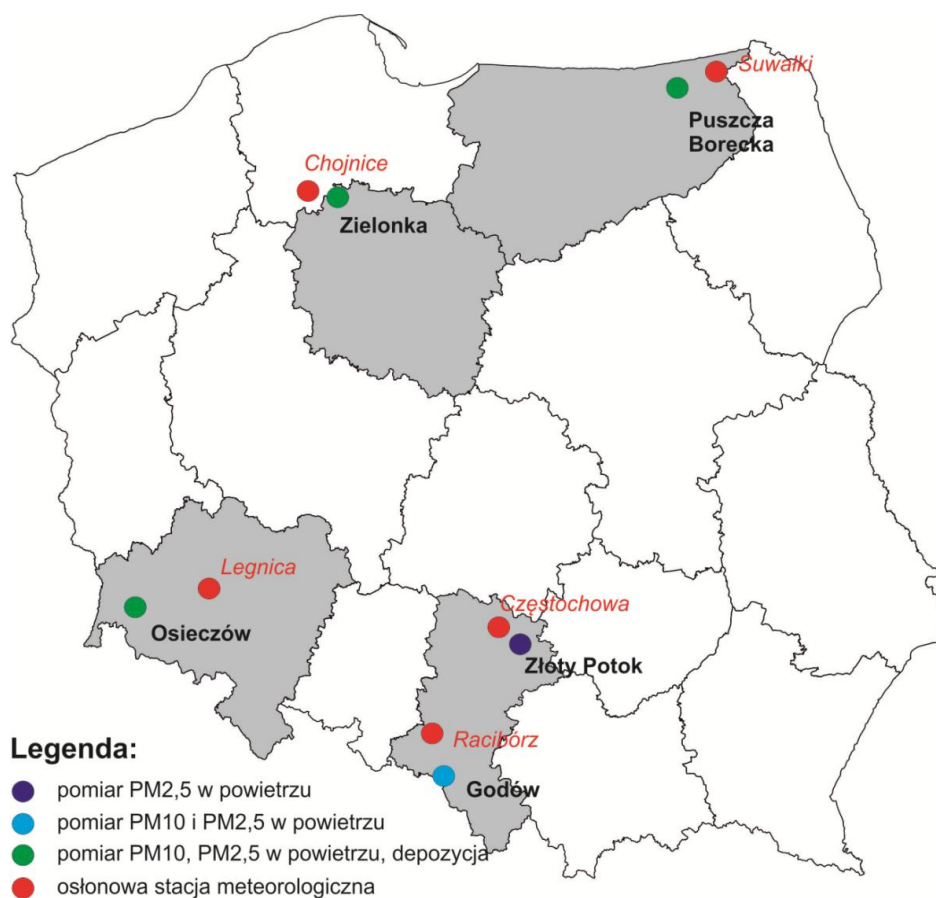
¹⁵ *Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 roku w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy* (Dz. Urz. UE L 152 z 11.06.2008, str. 1 oraz Dz. Urz. UE L 226 z 29.08.2015, str. 4)

¹⁶ *Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2004/107/WE z dnia 15 grudnia 2004 r. w sprawie arsenu, kadmu, niklu, rtęci i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w otaczającym powietrzu* (Dz. Urz. UE L 23 z 26.01.2005, str. 3, Dz. Urz. UE L 87 z 31.03.2009, str. 109 oraz Dz. Urz. UE L 226 z 29.08.2015, str. 4)

¹⁷ *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)

- **Bory Tucholskie** (województwo kujawsko-pomorskie) - stosowana nazwa w niniejszym opracowaniu – **Zielonka**,
- oraz dwie dodatkowe stacje (zlokalizowane w województwie śląskim), na których badane są zanieczyszczenia pyłowe:
- **Godów, ul. Gliniki** (stacja monitorująca transgraniczny napływ zanieczyszczeń) - stosowana nazwa w niniejszym opracowaniu – **Godów**,
 - **Złoty Potok, Leśniczówka** (stacja tła pozamiejskiego dla województwa śląskiego) - stosowana nazwa w niniejszym opracowaniu – **Złoty Potok**.

W dalszej części, w analizach prowadzonych dla wszystkich stacji, używa się określenia "stacje tła". Lokalizację stacji tła regionalnego w Polsce oraz stacji monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń w Godowie wraz ze stacjami osłonowymi pokazano na mapie (Rys. 4.1).



Rys. 4.1. Lokalizacja stacji tła regionalnego i stacji monitorującej transgraniczny napływ zanieczyszczeń oraz osłonowych stacji meteorologicznych (źródło danych: PMŚ/IMGW-PIB/IOŚ-PIB)

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

Dla każdej stacji oddzielnie, przedstawiono szczegółowe informacje o jednostkach prowadzących pomiary oraz o laboratoriach wykonujących analizy z uwzględnieniem zakresu pomiarowego.

GODÓW

Jednostka prowadząca pomiary/analizy:

Główny Inspektorat Ochrony Środowiska:

Centralne Laboratorium Badawcze Oddział w Katowicach, Pracownia w Częstochowie

Laboratoria wykonujące pomiary i analizy:

- *Centralne Laboratorium Badawcze Oddział w Katowicach, Pracownia w Częstochowie*
- *Centralne Laboratorium Badawcze Oddział we Wrocławiu, Pracownia w Jeleniej Górze (EC i OC w pyłe zawieszonym PM_{2,5})*

Zakres analiz/pomiarów:

- ✓ pył zawieszony PM₁₀:
 - pomiary stężenia pyłu,
 - oznaczanie stężeń Cd, Pb, Ni, As,
 - oznaczanie stężeń B(a)P,
- ✓ pył zawieszony PM_{2,5}:
 - pomiary stężenia pyłu,
 - oznaczanie stężeń jonów: SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻, NH₄⁺, Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺,
 - oznaczanie stężeń węgla elementarnego (EC) i organicznego (OC) (*Jelenia Góra*)

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

Informacja	Nazwy stacji stosowane w raporcie				
	Godów	Osieczów	Puszcza Borecka	Zielonka	Złoty Potok
Województwo	śląskie	dolnośląskie	warmińsko-mazurskie	kujawsko-pomorskie	śląskie
Współrzędne	18°28'17" E	15°25'54" E	22°02'17" E	17°56'00" E	19°27'29" E
	49°55'19" N	51°19'04" N	54°07'30" N	53°39'00" N	50°42'38" N
Właściciel stacji	GIOŚ CLB Oddział w Katowicach	GIOŚ CLB Oddział we Wrocławiu	IOŚ-PIB w Warszawie	GIOŚ CLB Oddział w Bydgoszczy	GIOŚ CLB Oddział w Katowicach
Kod w SI Ekoinfonet (od 2015 roku)	SlGodGlinki	DsOsieczow21	WmPuszczaBor	KpZielBoryTu	SlZlotPotLes
Nazwa w SI Ekoinfonet	Godów, ul. Gliniki	Osieczów	KMŚ Puszcza Borecka	Bory Tucholskie	Złoty Potok, Leśniczówka
Kod w EIONET	PL0527A	PL0505A	PL0005R	PL0077A	PL0243A
Stacja osłonowa	Racibórz	Legnica	Suwałki	Chojnice	Częstochowa
Elementy realizowanego programu w roku 2024					
Pył PM10	PM10	+	+	+	
	Ni	+	+	+	
	As	+	+	+	
	Cd	+	+	+	
	Pb	+	+	+	
	B(a)P	+	+	+	
	B(a)A		+	+	
	B(b)F		+	+	
	B(j)F		+	+	
	B(k)F		+	+	
	I(1,2,3-cd)P		+	+	
	D(a,h)A		+	+	
Pył PM2,5	PM2,5	+	+	+	+
	SO ₄ ²⁻	+	+	+	+
	NO ₃ ⁻	+	+	+	+
	Cl ⁻	+	+	+	+
	Mg ²⁺	+	+	+	+
	Ca ²⁺	+	+	+	+
	Na ⁺	+	+	+	+
	K ⁺	+	+	+	+
	NH ₄ ⁺	+	+	+	+
	EC	+	+	+	+
	OC	+	+	+	+
Depozycja	Ni		+	+	
	As		+	+	
	Cd		+	+	
	B(a)P		+	+	
	B(a)A		+	+	
	B(b)F		+	+	
	B(j)F		+	+	
	B(k)F		+	+	
	I(1,2,3-cd)P		+	+	
	D(a,h)A		+	+	

CLB – Centralne Laboratorium Badawcze

* Godów – stacja podmiejska, monitorująca transgraniczne przenoszenie zanieczyszczeń

+ dane uwzględnione w opracowaniu

OSIECZÓW

Główny Inspektorat Ochrony Środowiska Centralne Laboratorium Badawcze Oddział we Wrocławiu

Laboratoria wykonujące pomiary i analizy:

- *Pracownia Pomiarów Powietrza w Jeleniej Górze (pobieranie próbek)*
- *Centralne Laboratorium Badawcze Oddział we Wrocławiu, Pracownia w Jeleniej Górze*
- *Centralne Laboratorium Badawcze Oddział we Wrocławiu, Pracownia w Legnicy*
- *Centralne Laboratorium Badawcze Oddział we Wrocławiu, Pracownia we Wrocławiu*

Zakres analiz/pomiarów:

- ✓ pył zawieszony PM10:
 - pomiary stężenia pyłu (*Legnica – kondycjonowanie i ważenie filtrów*),
 - oznaczanie stężeń Cd, Pb, Ni, As (*Jelenia Góra*),
 - oznaczanie stężeń B(a)P, B(A)a, B(b)F, B(j)F, B(k)F, I(1,2,3-cd)P, D(a,h)A (*Wrocław*),
- ✓ pył zawieszony PM2,5:
 - pomiary stężenia pyłu (*Legnica*),
 - oznaczanie stężeń jonów: SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} (*Jelenia Góra*),
 - oznaczanie stężeń węgla elementarnego (EC) i organicznego (OC) (*Jelenia Góra*),
- ✓ opady/depozycja:
 - oznaczanie stężeń Cd, Ni, As (*Jelenia Góra*),
 - oznaczanie stężeń B(a)P, B(A)a, B(b)F, B(j)F, B(k)F, I(1,2,3-cd)P, D(a,h)A (*Wrocław*).

PUSZCZA BORECKA

Jednostka prowadząca pomiary/analizy:

Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy

Laboratoria wykonujące pomiary i analizy:

- *Stacja Kompleksowego Monitoringu Środowiska Puszcza Borecka*
- *Centralne Laboratorium Analiz Środowiskowych CentLab IOŚ-PIB*
- *Centralne Laboratorium Badawcze GIOŚ Oddział w Warszawie*
 - *Warszawa (metale ciężkie w pyłe zawieszonym PM10)*
 - *Radom (WWA w pyłe zawieszonym PM10)*
- *Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN, Zabrze (EC i OC)*

Zakres analiz/pomiarów:

- ✓ pył zawieszony PM10:
 - pomiary stężenia pyłu (*CentLab IOŚ-PIB*),
 - oznaczanie stężeń Cd, Pb, Ni, As (*CLB Warszawa*),
 - oznaczanie stężeń B(a)P, B(A)a, B(b)F, B(j)F, B(k)F, I(1,2,3-cd)P, D(a,h)A (*CLB Radom*),
- ✓ pył zawieszony PM2,5:
 - pomiary stężenia pyłu (*CentLab IOŚ-PIB*),
 - oznaczanie stężeń jonów: SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} (*CentLab IOŚ-PIB*),
 - oznaczanie stężeń węgla elementarnego (EC) i organicznego (OC) (*IPiŚ PAN Zabrze*),
- ✓ opady/depozycja:
 - oznaczanie stężeń Cd, Ni, As (*CentLab IOŚ-PIB*),
 - oznaczanie stężeń B(a)P, B(A)a, B(b)F, B(j)F, B(k)F, I(1,2,3-cd)P, D(a,h)A (*CentLab IOŚ-PIB*).

ZIELONKA

Jednostka prowadząca pomiary/analizy:

Główny Inspektorat Ochrony Środowiska Centralne Laboratorium Badawcze Oddział w Bydgoszczy

Laboratoria wykonujące pomiary i analizy:

- *Pracownia Pomiarów Powietrza w Bydgoszczy (pobieranie próbek)*
- *Centralne Laboratorium Badawcze Oddział w Bydgoszczy*
- *Centralne Laboratorium Badawcze Oddział w Łodzi, Pracownia w Łodzi*
- *Centralne Laboratorium Badawcze Oddział we Wrocławiu, Pracownia w Jeleniej Górze (EC i OC)*

Zakres analiz/pomiarów:

- ✓ pył zawieszony PM₁₀:
 - pomiary stężenia pyłu (*Bydgoszcz*),
 - oznaczanie stężeń Cd, Pb, Ni, As (*Łódź*),
 - oznaczanie stężeń B(a)P, B(A)a, B(b)F, B(j)F, B(k)F, I(1,2,3-cd)P, D(a,h)A (*Łódź*),
- ✓ pył zawieszony PM_{2,5}:
 - pomiary stężenia pyłu (*Bydgoszcz*),
 - oznaczanie stężeń jonów: SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻, NH₄⁺, Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ (*Bydgoszcz*),
 - oznaczanie stężeń węgla elementarnego (EC) i organicznego (OC) (*Jelenia Góra*),
- ✓ opady/depozycja:
 - oznaczanie stężeń Cd, Ni, As (*Bydgoszcz*),
 - oznaczanie stężeń B(a)P, B(A)a, B(b)F, B(j)F, B(k)F, I(1,2,3-cd)P, D(a,h)A (*Bydgoszcz*).

ZŁOTY POTOK

Jednostka prowadząca pomiary/analizy:

Główny Inspektorat Ochrony Środowiska Centralne Laboratorium Badawcze Oddział w Katowicach, Pracownia w Częstochowie

Laboratoria wykonujące pomiary i analizy:

- *Pracownia Pomiarów Powietrza w Katowicach (pobieranie próbek)*
- *Centralne Laboratorium Badawcze Oddział w Katowicach, Pracownia w Częstochowie*
- *Centralne Laboratorium Badawcze Oddział we Wrocławiu, Pracownia w Jeleniej Górze (EC i OC)*

Zakres analiz/pomiarów:

- ✓ pył zawieszony PM_{2,5}:
 - pomiary stężenia pyłu (*Częstochowa*),
 - oznaczanie stężeń jonów: SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻, NH₄⁺, Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ (*Częstochowa*),
 - oznaczanie stężeń węgla elementarnego (EC) i organicznego (OC) (*Jelenia Góra*).

GODÓW

Jednostka prowadząca pomiary/analizy:

Główny Inspektorat Ochrony Środowiska Centralne Laboratorium Badawcze Oddział w Katowicach, Pracownia w Częstochowie

Laboratoria wykonujące pomiary i analizy:

- *Pracownia Pomiarów Powietrza w Katowicach (pobieranie próbek)*
- *Centralne Laboratorium Badawcze Oddział w Katowicach, Pracownia w Częstochowie*

- *Centralne Laboratorium Badawcze Oddział we Wrocławiu, Pracownia w Jeleniej Górze (EC i OC)*

Zakres analiz/pomiarów:

- ✓ pył zawieszony PM10:
 - pomiary stężenia pyłu (*Częstochowa*),
 - oznaczanie stężeń Cd, Pb, Ni, As (*Częstochowa*),
 - oznaczanie stężeń B(a)P (*Częstochowa*),
 - ✓ pył zawieszony PM2,5:
 - pomiary stężenia pyłu (*Częstochowa*),
 - oznaczanie stężeń jonów: SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} (*Częstochowa*),
- oznaczanie stężeń węgla elementarnego (EC) i organicznego (OC) (*Jelenia Góra*).

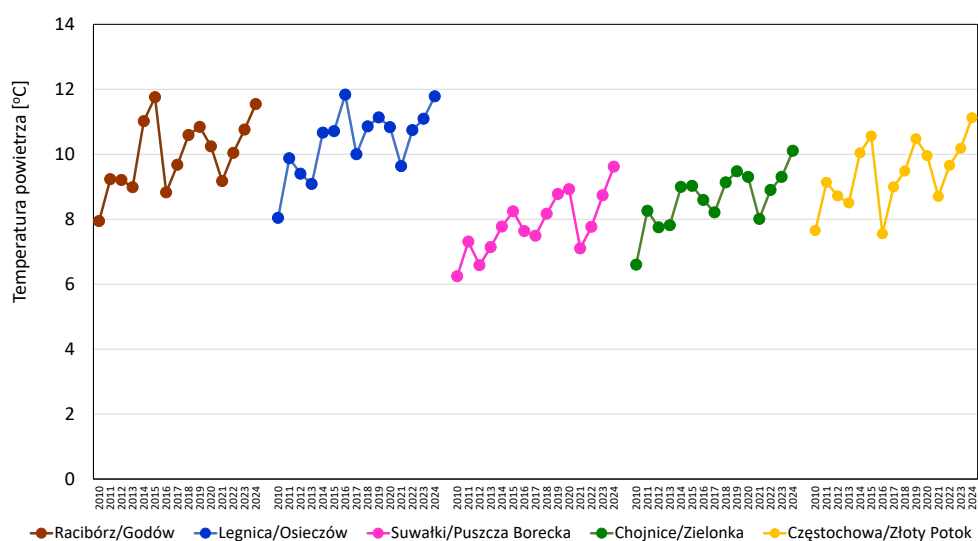
5. Charakterystyka warunków meteorologicznych

W niniejszym rozdziale przedstawiono podstawowe informacje dotyczące zmienności wybranych parametrów meteorologicznych w roku 2024 na tle okresu 2010-2023. W ocenie uwzględniono zmiany temperatury, wysokości opadu i kierunku napływu mas powietrza nad Polskę (wg kierunków cyrkulacji dobowych wyznaczonych przez IMGW-PIB). Analizę warunków meteorologicznych w rejonach stacji tła regionalnego oraz stacji monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń w Godowie przeprowadzono na podstawie danych IMGW-PIB, pochodzących z wybranych stacji osłonowych – reprezentatywnych dla analizowanych stacji (Tab. 4.1, rozdział 4).

Należy mieć na uwadze, że 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 zanieczyszczeń do podłoża, prezentowanej w rozdziale 6.5, obliczono z uwzględnieniem wyników pomiarów wysokości opadu atmosferycznego, pochodzących z kolektorów zlokalizowanych na poszczególnych stacjach tła regionalnego.

Temperatura powietrza

Temperatura powietrza jest kluczowym czynnikiem meteorologicznym, mającym znaczący wpływ na obserwowane wysokości stężeń wielu zanieczyszczeń powietrza. W sezonie chłodnym, przy niskich temperaturach powietrza, zwiększa się zapotrzebowanie na ciepło i tym samym wzrasta emisja zanieczyszczeń w wyniku produkcji energii pochodzącej ze spalania paliw kopalnych (w tym przede wszystkim węgla) i biomasy. W sezonie ciepłym, wysoka temperatura sprzyja reakcjom zachodzącym w atmosferze i tworzeniu się wtórnego aerozolu, natomiast przy bardzo wysokich temperaturach zwiększa się produkcja energii (i tym samym emisja zanieczyszczeń) potrzebnej do zasilania urządzeń chłodzących. Ponadto, obok wysokich emisji, niesprzyjające warunki rozpraszania zanieczyszczeń (powolny ruch mas powietrza lub cisze wiatrowe, czy zalegające układy wysokiego ciśnienia) przyczyniają się do powstawania epizodów podwyższonych stężeń.



Rys. 5.1. Średnie roczne wartości temperatury powietrza w latach 2010-2024 w rejonach stacji tła regionalnego oraz stacji Godów (źródło danych: IMGW-PIB)

W roku 2024 średnie temperatury powietrza w większości rejonów stacji tła regionalnego były najwyższe w analizowanym okresie 2010-2024 (Rys. 5.1). Średnia temperatura dla 5 stacji była wyższa od wartości przeciętnej dla wielolecia o 1,9°C i wyższa niż w roku poprzednim o 0,8°C. W stosunku do poprzedniego okresu największy wzrost temperatury zanotowano, jak zwykle, dla rejonu stacji Godów, a najmniejszy wzrost – w rejonie stacji Zielonka. Podobnie, jak w latach ubiegłych najwyższe temperatury w 2024 roku zanotowano w rejonie stacji Osieczów, a najniższe – w rejonie stacji Puszcza Borecka. W analizowanym okresie 2010-2024 w większości rejonów stacji najchłodniejszym był rok 2010, natomiast najcieplejszym – 2024. Różnice w średnich rocznych wartościach temperatury pomiędzy tymi skrajnymi latami dochodziły do 3,5°C.

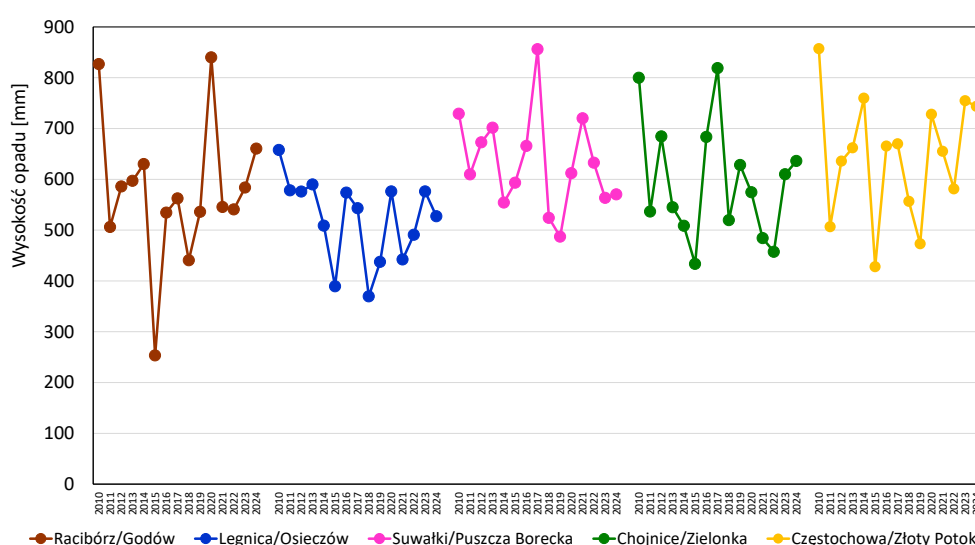
Cechą charakterystyczną warunków termicznych, obserwowanych na większości stacji oślonowych w roku 2024, była ciepła i krótka zima oraz upalne lato, podobnie jak w roku poprzednim. W sezonie chłodnym na wyróżnienie zasługują wyjątkowo ciepłe luty i marzec. Na wielu stacjach luty był rekordowo ciepłym miesiącem w analizowanym okresie. W sezonie ciepłym – obok upalnego lipca – na szczególną uwagę zasługuje względnie ciepły, a na wielu stacjach rekordowo ciepły – wrzesień.

Opad atmosferyczny

Poza temperaturą, istotnym czynnikiem meteorologicznym, mającym wpływ na jakość powietrza atmosferycznego oraz wielkość deponowanych ładunków do podłoża, jest opad atmosferyczny, który poprzez wymywanie przyczynia się do spadku stężeń niektórych zanieczyszczeń w atmosferze.

W 2024 roku sumy wysokości opadów w rejonach stacji tła regionalnego były na przeciętnym poziomie - nieco wyższym w stosunku do roku poprzedniego i niższym względem średniego dla wielolecia 2010-2023 (po kilka procent). Najwyższe opady w roku 2024 wystąpiły w rejonie stacji Żłoty Potok, a najniższe w rejonie stacji Osieczów (Rys. 5.2).

W ciągu roku 2024 opady były, jak zwykle, zróżnicowane w czasie i przestrzeni. Należy zaznaczyć, że na większości stacji zanotowano niskie opady na wiosnę i latem, co stwarzało generalnie zagrożenie suszą w Polsce.

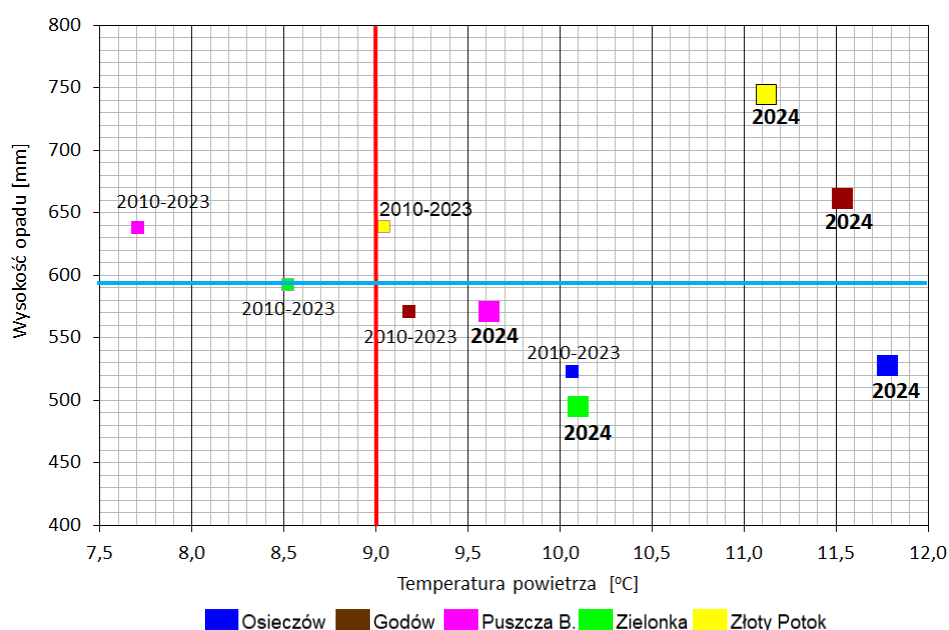


Rys. 5.2. Sumy roczne wysokości opadu w latach 2010-2024 w rejonach stacji tła regionalnego oraz stacji Godów (źródło danych: IMGW-PIB)

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

Warunki termiczno-opadowe

Charakterystykę warunków termiczno-opadowych dla rejonów każdej z analizowanych w stacji tła regionalnego w roku 2024, w porównaniu ze średnimi warunkami dla okresu 2010-2023 przedstawiono na rysunku 5.3. Linie pionową i poziomą wyznaczono na podstawie wartości średnich, obliczonych dla wszystkich stacji osłonowych z analizowanych lat, odpowiednio dla temperatury powietrza (kolor czerwony) i wysokości sumarycznych opadów (kolor niebieski). Punkt przecięcia się tych linii wyznacza przeciętne warunki termiczne i opadowe w rozważanym okresie.



Rys. 5.3. Charakterystyka warunków termiczno-opadowych w latach 2010-2024 dla uśrednionych wartości temperatury i wysokości opadu dla 5 stacji tła (źródło danych: IMGW-PIB)

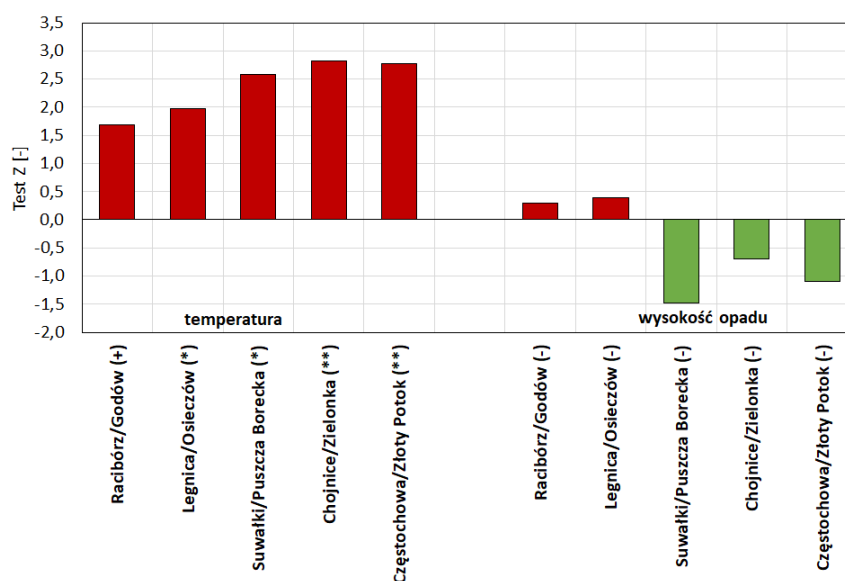
Należy zaznaczyć, że o ile reprezentatywność przestrzenna wybranych stacji osłonowych pod względem temperatury powietrza jest bardzo dobra (różnice w stosunku do wyników pomiarów prowadzonych na wybranych stacjach PMŚ z reguły nie przekraczają poziomu niepewności pomiarów), o tyle reprezentatywność wysokości opadów jest dużo mniejsza, gdyż opady należą do najbardziej zmiennych w czasie i przestrzeni elementów meteorologicznych. Stąd też wysokości opadów na stacjach osłonowych i na stacjach tła mogą się różnić. Te różnice mogą być pogłębione z powodu stosowania innych metod pomiaru. Na stacjach meteorologicznych IMGW-PIB stosowane są deszczomierze, umieszczone na wysokości 1 m n.p.g., natomiast na stacjach tła - kolektory opadu o większej średnicy komory wlotu opadu, zainstalowane na wysokości 1,5 m n.p.g.

W roku 2024, podobnie jak w całym analizowanym wieloleciu, najcieplejszym obszarem był rejon stacji Osieczów, natomiast najchłodniejszym - rejon stacji Puszcza Borecka. Można zauważyć, że temperatura w roku 2024 najbardziej wzrosła względem przeciętnej wieloletniej wartości w rejonie stacji Godów, a najmniej w rejonie stacji Zielonka. Największy wzrost

opadów względem średniej wartości z wielolecia zanotowano dla rejonu stacji Godów, a znaczący spadek – dla rejonu stacji Puszcza Borecka, czyli podobnie jak w roku ubiegłym.

W roku 2024 najbardziej zbliżonym do przeciętnych warunków meteorologicznych w wieloleciu pod względem temperatury powietrza i opadów atmosferycznych był (podobnie jak w roku poprzednim) rejon stacji Puszcza Borecka.

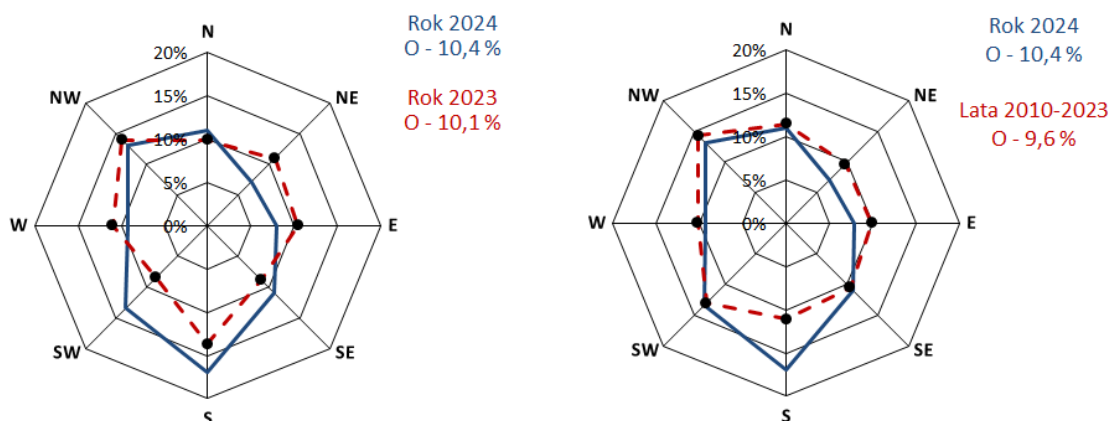
Dla średnich rocznych wartości temperatury powietrza i sumarycznych wysokości opadów przeprowadzono analizę trendów. Wykazała ona istnienie trendów rosnących o różnym stopniu istotności dla temperatury w rejonach wszystkich stacji tła, najbardziej istotnych w rejonie stacji Zielonka i Złoty Potok, a najmniej – w rejonie stacji Godów (Rys. 5.4). W przypadku opadów nie stwierdzono trendów, a jedynie tendencję – rosnącą w rejonie stacji Godów i Osieczów, a malejącą w rejonie stacji Puszcza Borecka, Zielona i Złoty Potok.



Rys. 5.4. Trendy i tendencje zmian średnich rocznych temperatur i sum wysokości opadów w rejonach stacjach tła regionalnego i stacji w Godowie w latach 2010-2024 (źródło danych: IMGW-PIB)

Kierunek napływu mas powietrza

Przedstawione poniżej cyrkulacje powietrza charakteryzują przeciętne kierunki napływu mas powietrza dla obszaru Polski i częstości występowania typu cyrkulacji tzw. zerowej (O), charakteryzującej się niekreślonym kierunkiem napływu mas powietrza. Cyrkulacja atmosferyczna, jako element wielkoskalowy, może lepiej odzwierciedlać przemieszczanie się mas powietrza niż kierunki wiatru zmierzone na stacjach, które są uwarunkowane orografią terenu i różnorodną szatą roślinną.



Rys. 5.5. Częstość występowania kierunków cyrkulacji atmosferycznej w roku 2024 na tle roku 2023 i okresu 2010-2023 (źródło danych: IMGW-PIB)

W roku 2024 nad Polskę najczęściej napływały masy powietrza z kierunku południowego i południowo-zachodniego (odpowiednio około 17% i 13%), a najrzadziej - z północno-wschodniego i wschodniego (odpowiednio około 7% i 8%)(Rys. 5.5). W stosunku do roku poprzedniego zyskały na znaczeniu kierunki południowe i południowo-zachodnie, kosztem kierunków północno-wschodnich i wschodnich. W latach poprzednich (2010-2023) masy powietrza napływały najczęściej z sektora zachodniego (SW-W-NW, w sumie 38%), natomiast rzadziej obserwowano napływy mas powietrza z sektora wschodniego (NE-E-SE, w sumie 30%).

Sytuacje braku wyróżnionego kierunku napływu mas powietrza (O) w 2024 roku trwały przez 10,4% czasu, czyli podobnie jak w roku poprzednim, ale dłużej niż średnio w wieloleciu (9,6%). Należy zaznaczyć, że o ile cyrkulacji zerowej przypisujemy najczęściej słabe i nieokreślone wiatry, to jednak nie można zawsze utożsamiać jej z pogodą bezwietrzną, ponieważ notowano w tych okresach porywy wiatru rzędu 10 m/s, podobnie jak przy cyrkulacji antycyklonalnej.

Cechą charakterystyczną cyrkulacji w roku 2024 nad stacje tła w stosunku do lat ubiegłych była ponad przeciętna częstość występowania napływu mas powietrza z kierunków sektora południowego, która miała miejsce kosztem napływu z sektora wschodniego. Ponad przeciętna była też częstość występowania cyrkulacji (O).

6. Ocena zanieczyszczenia powietrza na stacjach tła

6.1.

6.1.1. Pył zawieszony PM10

Zgodnie z wymaganiami *Rozporządzenia Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 11 grudnia 2020 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu*¹⁸, na stacjach tła pozamiejskiego w próbkach zebranego pyłu zawieszonego PM10 oznaczane są metale ciężkie (nikiel, arsen, kadm i ołów) oraz wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (benzo(a)piren, benzo(a)antracen, benzo(b)fluoranten, benzo(j)fluoranten, benzo(k)fluoranten, indeno(1,2,3-cd)piren i dibenzo(a,h)antracen).

Pełen program pomiarowy dla pyłu zawieszonego PM10 w latach 2010-2023 realizowany był na trzech stacjach: Osieczów, Puszcza Borecka i Zielonka. Na stacji Godów oznaczano wymagane metale, a spośród WWA - jedynie benzo(a)piren.

Zgodnie z wymaganiami *Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 13 września 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu*¹⁹, pył zawieszony PM10 i oznaczane w nim metale: Pb, As, Ni i Cd oraz przedstawiciel WWA - B(a)P są zanieczyszczeniami normowanymi dla kryterium ochrona zdrowia (Tab. 6.1.1). Stężenie pyłu zawieszonego PM10 normowane jest dla dwóch czasów uśredniania: doby i roku kalendarzowego, natomiast stężenia metali ciężkich oraz benzo(a)pirenu dla roku kalendarzowego.

Tab. 6.1.1. Poziomy dopuszczalne i docelowe dla stężenia pyłu zawieszonego PM10 oraz zawartych w nim metali ciężkich i WWA dla kryterium ochrony zdrowia

Kryterium	Zanieczyszczenie	Czas uśredniania	Wartość
Poziom dopuszczalny	Pył zawieszony PM10	Rok kalendarzowy	40 µg/m ³
		24 godziny ^{*)}	50 µg/m ³
	Ołów (Pb) w pyłe zawieszonym	Rok kalendarzowy	0,5 µg/m ³
Poziom docelowy	Arsen (As) w pyłe zawieszonym	Rok kalendarzowy	6 ng/m ³
	Kadm (Cd) w pyłe zawieszonym	Rok kalendarzowy	5 ng/m ³
	Nikiel (Ni) w pyłe zawieszonym	Rok kalendarzowy	20 ng/m ³
	Benzo(a)piren (B(a)P) w pyłe zawieszonym	Rok kalendarzowy	1 ng/m ³

^{*)} dopuszczalna częstość przekroczeń – 35 razy

Wyniki analiz w zakresie objętym tabelą 6.1.1 zawarto w poniższych rozdziałach – dla pyłu zawieszonego PM10 w rozdziale 6.1.1, dla metali ciężkich w 6.1.2 a dla WWA w 6.1.3.

¹⁸ Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 11 grudnia 2020 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz. U. z 2024 r. poz. 870)

¹⁹ Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 września 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. z 2021 r. poz. 845)

W tabeli 6.1.2 przedstawiono wyniki pomiarów stężenia pyłu zawieszonego PM10 prowadzonych na czterech stacjach: Godów, Osieczów, Puszcza Borecka i Zielonka w latach 2010-2024, jako wartości stężeń średnich rocznych, w odniesieniu do poziomu dopuszczalnego oraz liczby dni z przekroczeniem dobowego poziomu dopuszczalnego (kolorem czerwonym zaznaczono wartości przekraczające standard jakości powietrza). W roku 2024 na żadnej ze stacji tła regionalnego i - po raz szósty (od roku 2019) - na stacji monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń w Godowie nie odnotowano przekroczenia poziomu dopuszczalnego stężenia pyłu zawieszonego PM10 dla wartości średniej rocznej.

Tab. 6.1.2. Stężenia średnie roczne pyłu zawieszonego PM10 i ich odniesienia do norm jakości powietrza na stacjach tła regionalnego oraz na stacji Godów w latach 2010-2024.

Kolorem czerwonym zaznaczono wartości przekraczające normę (źródło danych: PMS)

Godów – stacja monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń

Rok	Stacja	Stężenie średnie roczne pyłu zawieszonego PM10	Stężenie w stosunku do poziomu dopuszczalnego (śr. rocznego)	Częstość przekroczeń poziomu dopuszczalnego dla wartości 24-godzinnych
		[µg/m ³]	[%]	[Liczba dni]
2010	Godów	59,2	148	148
	Osieczów	26,0	65	37
	Puszcza Borecka	18,8	47	9
	Zielonka	24,0	60	31
2011	Godów	52,4	131	122
	Osieczów	24,8	62	42
	Puszcza Borecka	17,0	43	6
	Zielonka	23,8	59	28
2012	Godów	45,4	114	85
	Osieczów	22,3	56	35
	Puszcza Borecka	16,0	40	4
	Zielonka	19,1	48	15
2013	Godów	51,0	127	123
	Osieczów	22,5	56	27
	Puszcza Borecka	15,7	39	6
	Zielonka	17,6	44	7
2014	Godów	50,2	125	125
	Osieczów	20,4	51	17
	Puszcza Borecka	20,0	50	8
	Zielonka	19,3	48	12
2015	Godów	44,1	110	99
	Osieczów	18,7	47	13
	Puszcza Borecka	17,3	43	8
	Zielonka	17,5	44	10
2016	Godów	42,3	106	95
	Osieczów	19,6	49	19
	Puszcza Borecka	15,7	39	5
	Zielonka	15,6	39	3
2017	Godów	39,1	98	66
	Osieczów	19,6	49	23
	Puszcza Borecka	15,5	39	4
	Zielonka	16,0	40	13
2018	Godów	45,6	114	94
	Osieczów	22,1	55	15
	Puszcza Borecka	16,8	42	3
	Zielonka	19,8	50	11
2019	Godów	38,0	95	80
	Osieczów	18,4	46	10
	Puszcza Borecka	16,1	40	3
	Zielonka	15,4	38	2

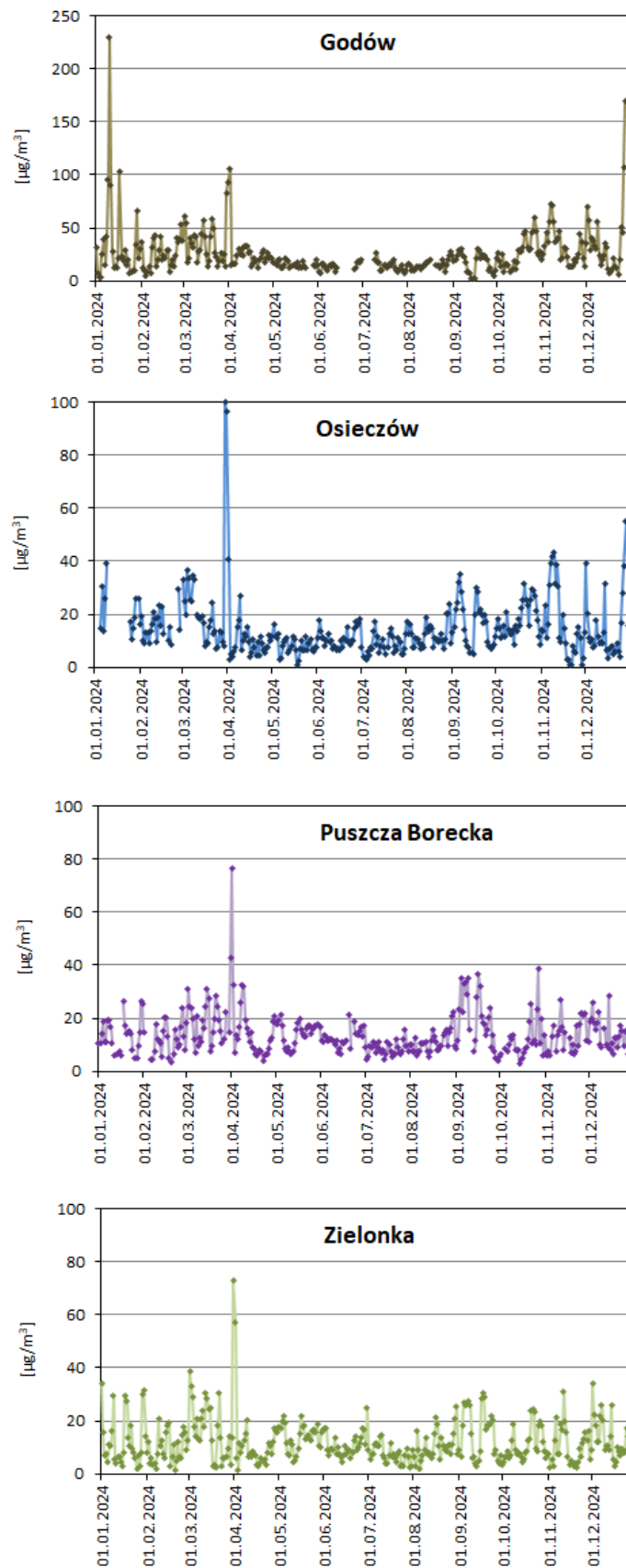
Rok	Stacja	Stężenie średnie roczne pyłu zawieszonego PM10	Stężenie w stosunku do poziomu dopuszczalnego (śr. rocznego)	Częstość przekroczeń poziomu dopuszczalnego dla wartości 24-godzinnych
		[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	[%]	[Liczba dni]
2020	Godów	31,2	78	45
	Osieczów	15,9	40	3
	Puszcza Borecka	12,9	32	2
	Zielonka	14,7	37	1
2021	Godów	35,7	89	69
	Osieczów	16,9	42	6
	Puszcza Borecka	13,6	34	1
	Zielonka	15,7	39	7
2022	Godów	28,9	72	47
	Osieczów	17,4	43	4
	Puszcza Borecka	13,3	33	0
	Zielonka	13,7	34	1
2023	Godów	22,3	56	23
	Osieczów	16,0	40	3
	Puszcza Borecka	11,8	30	0
	Zielonka	12,1	30	0
2024	Godów	25,8	64	26
	Osieczów	14,3	36	3
	Puszcza Borecka	13,7	34	1
	Zielonka	11,9	30	2

Omówienie zmian stężenia pyłu zawieszonego PM10 oraz oznaczanych w nim zanieczyszczeń przedstawiono, wraz z trendami i tendencjami stężeń w analizowanym wieloleciu, w kolejnych podrozdziałach.

Przebiegi dobowych wartości stężenia pyłu zawieszonego PM10 na stacjach tła regionalnego oraz na stacji monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń (podmiejskiej) pokazano na Rys. 6.1.1. Charakterystyczny przebieg, w którym w chłodnej połowie roku są notowane wyższe wartości niż w cieplej, widoczny jest na wszystkich stacjach tła regionalnego, a szczególnie na stacji w Godowie.

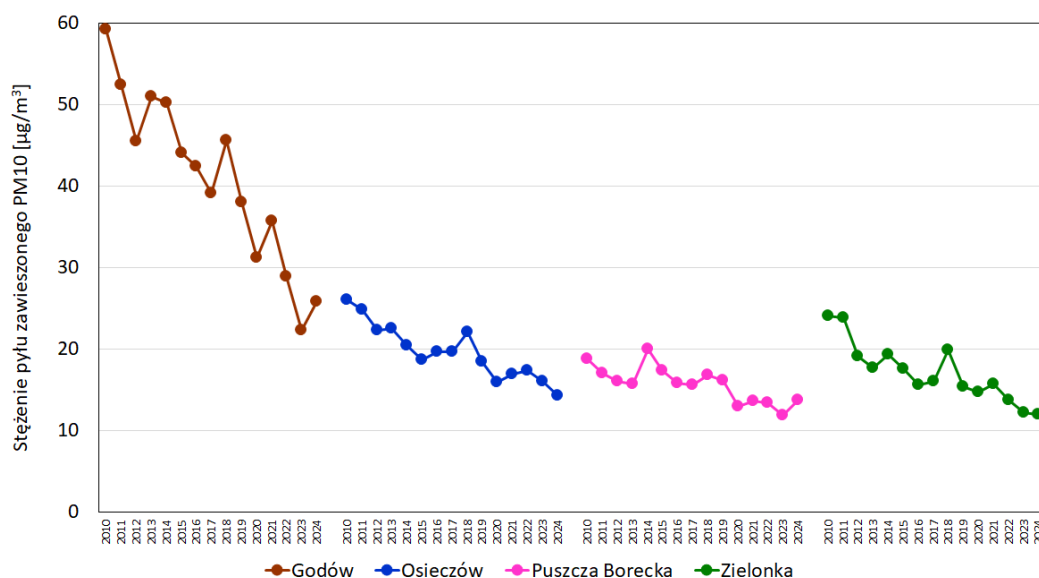
Obserwowane na stacji podmiejskiej w Godowie przekroczenia poziomu dopuszczalnego pyłu zawieszonego PM10 dla wartości dobowych z każdym rokiem były mniejsze i rzadziej występowały, ale zwykle miały miejsce w większej niż dopuszczalna (35) liczbie dni. Dopiero w latach 2023 i 2024 liczba dni z przekroczeniami poziomu dopuszczalnego była mniejsza niż dopuszczalna i wyniosła odpowiednio 23 i 26. W latach 2010 i 2011 na stacji Osieczów odnotowano większą niż dopuszczalna liczbę dni z przekroczeniami dobowego poziomu dopuszczalnego stężenia pyłu zawieszonego PM10, co się nie powtórzyło w kolejnych latach. Taka sytuacja nie miała miejsca nigdy na stacjach w Zielonce i Puszczy Boreckiej.

Przebieg dobowych wartości stężenia pyłu zawieszonego PM10 był typowy - na wszystkich stacjach zaznaczyły się wyższe stężenia w chłodnej połowie roku 2024. Na stacjach tła regionalnego w pierwszej części sezonu grzewczego, w okresie styczeń – marzec, stężenia pyłu zawieszonego PM10 były wyższe o kilka procent od notowanych w drugiej części sezonu grzewczego – w czwartym kwartale. Na stacji monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń w Godowie było odwrotnie. Na wszystkich stacjach zaznaczył się epizod podwyższonych stężeń na przełomie marca i kwietnia, a w Godowie dodatkowo w styczniu i grudniu.



Rys. 6.1.1. Przebieg średnich dobowych stężeń pyłu zawieszonego PM10 na stacjach tła regionalnego oraz na stacji Godów w 2024 roku (źródło danych: PMŚ) [Dla Godowa inna skala]

W roku 2024 zanotowano spadek wartości średnich rocznych stężeń pyłu zawieszonego PM10 w stosunku do roku poprzedniego na dwóch stacjach: Osieczów i Zielonka, a wzrost na stacjach Puszcza Borecka i Godów (Rys. 6.1.2). Najwyższe stężenia we wszystkich latach, znacznie wyższe niż na stacjach tła regionalnego, obserwowano na stacji podmiejskiej w Godowie. Najniższą wartość średnią roczną stężenia pyłu zawieszonego PM10 odnotowano w roku 2024 na stacji Zielonka, jak we wcześniejszych latach – na ogół miało to miejsce na stacji Puszcza Borecka, a czasami na stacji Zielonka.



Rys. 6.1.2. Stężenie średnie roczne pyłu zawieszonego PM10 na stacjach tła regionalnego oraz na stacji monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń Godów w latach 2010-2024 (źródło danych: PMŚ)

Maksymalne i minimalne wartości średniego dobowego stężenia pyłu zawieszonego PM10 w roku 2024 zestawiono w tabeli 6.1.3. Najwyższe stężenia dobowe zaobserwowano na stacji podmiejskiej w Godowie i na stacji tła regionalnego w Osieczowie (podobnie, jak w poprzednich latach). Maksymalne stężenie wystąpiło na stacjach tła regionalnego maksimum odnotowano na przełomie marca i kwietnia, a w Godowie w grudniu.

Tab. 6.1.3. Ekstremalne stężenia średnie dobowe pyłu zawieszonego PM10 na stacjach tła regionalnego oraz na stacji Godów w 2024 roku (źródło danych: PMŚ)

PM10	Godów	Osieczów	Puszcza Borecka	Zielonka
S24 _{max} [µg/m³]	230,4	100,0	76,4	72,9
Data S24 _{max}	10.01.2024	30.03.2024	01.04.2024	31.03.2024
S24 _{min} [µg/m³]	2,1	1,0	3,0	1,1
S24 _{max} – S24 _{min} [µg/m³]	228,3	99,0	73,4	71,8

Godów – stacja monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń

6.1.2. Metale ciężkie w pyłe zawieszonym PM10

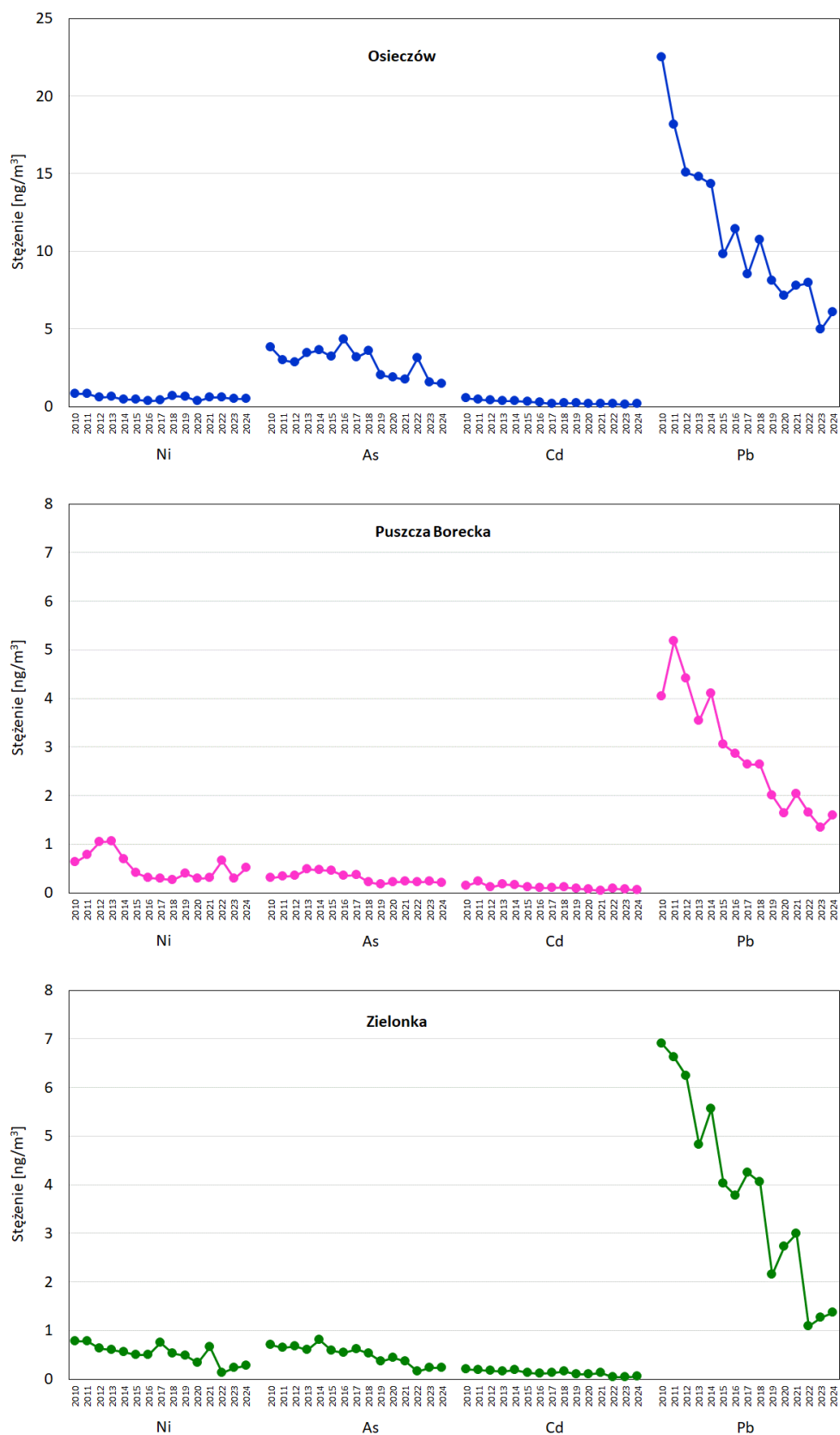
Wartości średnie roczne stężenia metali ciężkich zawartych w pyłe zawieszonym PM10 w latach 2010-2024 zamieszczono w tabeli 6.1.4. W analizowanym okresie na żadnej stacji nie zanotowano przekroczeń wartości normowanych ustanowionych dla metali ciężkich ze względu na ochronę zdrowia (poziomu dopuszczalnego dla Pb i poziomów docelowych dla As, Cd i Ni). Stężenia średnie roczne wyniosły na ogół kilka procent poziomu docelowego/dopuszczalnego. Jedynie w Osieczowie stężenie arsenu osiągnęło kilkadziesiąt procent poziomu docelowego (24%, co było porównywalną wartością do notowanych we wcześniejszych latach, poza 2022, gdy wyniosło aż 52% poziomu docelowego); w Godowie stężenia arsenu i kadmu osiągnęły w 2024 roku po 11% poziomu docelowego, a niklu 4%. Dla wszystkich metali ciężkich, za wyjątkiem arsenu, najwyższe wartości średnie roczne odnotowano w roku 2024 na stacji w Godowie. Jest to sytuacja podobna do obserwowanej we wcześniejszych latach, która została zachwiana w latach 2017-2019, gdy najwyższe wartości stężeń większości metali ciężkich notowano na stacji w Osieczowie. Najmniejsze stężenia metali ciężkich występowały na ogół w Zielonce i w Puszczy Boreckiej. Prawidłowości te znajdują odzwierciedlenie w wartościach średnich dla wielolecia 2010-2023 – najwyższe stężenie arsenu w Osieczowie, a niklu, kadmu i ołowiu w Godowie, zaś najniższe w Puszczy Boreckiej (Tab. 6.1.4).

Tab. 6.1.4. Stężenia średnie roczne metali ciężkich w pyłe zawieszonym PM10 na stacjach tła regionalnego oraz na stacji Godów w latach 2010-2024 (źródło danych: PMŚ)
Godów – stacja monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń

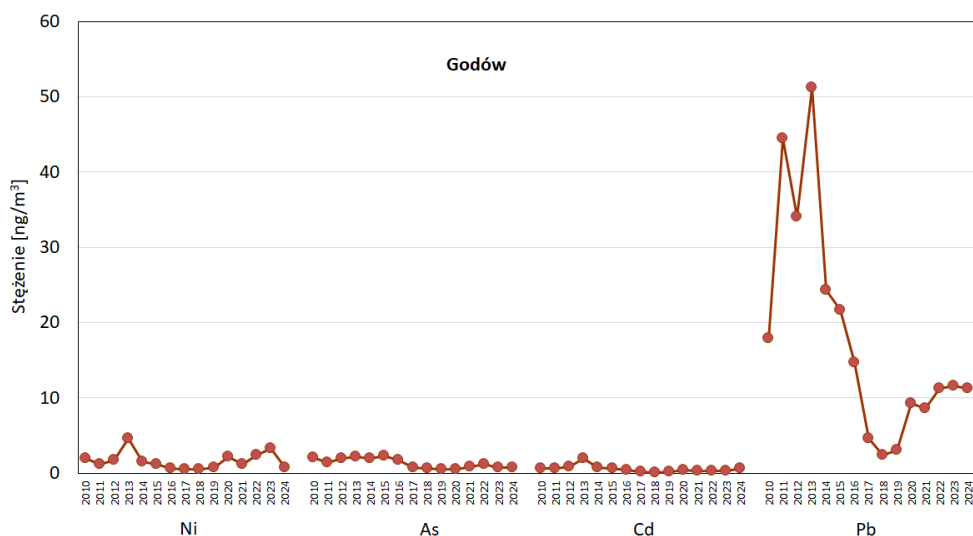
Rok	Stacja	Metale ciężkie w pyłe zawieszonym PM10			
		[ng/m ³]			
		Ni	As	Cd	Pb
2010	Godów	1,99	2,05	0,61	17,84
	Osieczów	0,82	3,79	0,54	22,49
	Puszcza Borecka	0,62	0,31	0,14	4,03
	Zielonka	0,77	0,70	0,20	6,90
2011	Godów	1,13	1,34	0,64	44,42
	Osieczów	0,79	2,99	0,46	18,15
	Puszcza Borecka	0,77	0,33	0,23	5,17
	Zielonka	0,77	0,64	0,19	6,62
2012	Godów	1,74	1,98	0,81	34,08
	Osieczów	0,57	2,86	0,39	15,08
	Puszcza Borecka	1,03	0,34	0,11	4,41
	Zielonka	0,62	0,67	0,17	6,23
2013	Godów	4,61	2,21	1,97	51,17
	Osieczów	0,64	3,43	0,36	14,79
	Puszcza Borecka	1,05	0,48	0,17	3,54
	Zielonka	0,60	0,60	0,15	4,82
2014	Godów	1,52	1,96	0,67	24,32
	Osieczów	0,46	3,64	0,35	14,34
	Puszcza Borecka	0,69	0,47	0,15	4,10
	Zielonka	0,56	0,81	0,19	5,56
2015	Godów	1,21	2,30	0,62	21,66
	Osieczów	0,43	3,19	0,28	9,81
	Puszcza Borecka	0,40	0,45	0,11	3,05
	Zielonka	0,49	0,58	0,12	4,02
2016	Godów	0,61	1,72	0,39	14,67
	Osieczów	0,35	4,33	0,26	11,42
	Puszcza Borecka	0,31	0,35	0,09	2,85
	Zielonka	0,49	0,53	0,12	3,77

Rok	Stacja	Metale ciężkie w pyłe zawieszonym PM10			
		[ng/m ³]			
		Ni	As	Cd	Pb
2017	Godów	0,52	0,75	0,15	4,62
	Osieczów	0,39	3,16	0,18	8,50
	Puszcza Borecka	0,29	0,36	0,09	2,63
	Zielonka	0,75	0,62	0,12	4,24
2018	Godów	0,53	0,57	0,10	2,43
	Osieczów	0,69	3,56	0,20	10,71
	Puszcza Borecka	0,25	0,22	0,10	2,64
	Zielonka	0,52	0,52	0,15	4,06
2019	Godów	0,70	0,53	0,14	3,09
	Osieczów	0,63	1,99	0,19	8,08
	Puszcza Borecka	0,40	0,17	0,08	2,00
	Zielonka	0,47	0,36	0,09	2,15
2020	Godów	2,19	0,55	0,40	9,24
	Osieczów	0,37	1,85	0,15	7,13
	Puszcza Borecka	0,29	0,21	0,06	1,64
	Zielonka	0,34	0,43	0,10	2,72
2021	Godów	1,15	0,88	0,31	8,62
	Osieczów	0,57	1,73	0,15	7,78
	Puszcza Borecka	0,31	0,23	0,04	2,04
	Zielonka	0,66	0,37	0,12	3,00
2022	Godów	2,37	1,12	0,33	11,21
	Osieczów	0,59	3,10	0,17	7,98
	Puszcza Borecka	0,66	0,22	0,09	1,64
	Zielonka	0,12	0,16	0,03	1,08
2023	Godów	3,26	0,77	0,26	11,60
	Osieczów	0,50	1,53	0,12	4,94
	Puszcza Borecka	0,29	0,23	0,06	1,34
	Zielonka	0,23	0,23	0,04	1,26
2024	Godów	0,77	0,68	0,57	11,29
	Osieczów	0,50	1,47	0,14	6,05
	Puszcza Borecka	0,50	0,21	0,06	1,58
	Zielonka	0,28	0,23	0,05	1,37
średnia 2010-2023	Godów	1,68	1,34	0,53	18,50
	Osieczów	0,56	2,94	0,27	11,51
	Puszcza Borecka	0,53	0,31	0,11	2,93
	Zielonka	0,53	0,52	0,13	4,03

Przebiegi średnich rocznych wartości stężeń metali ciężkich w okresie 2010-2024 na stacjach tła regionalnego oraz na stacji w Godowie wykazują podobne tendencje zmian, jednak zaznaczają się różnice pomiędzy stacjami (Rys. 6.1.3a i 6.1.3b).



Rys. 6.1.3a. Stężenia średnie roczne metali ciężkich na stacjach tła regionalnego w latach 2010-2024 [Dla Osieczowa inna skala] (źródło danych: PMŚ)



Rys. 6.1.3 b. Stężenia średnie roczne metali ciężkich na stacji monitoringu transgranicznego (Godów) w latach 2010-2024 (źródło danych: PMŚ)

W tabeli 6.1.5 przedstawiono wyniki obliczeń względnych zmian stężenia pyłu zawieszonego PM10 i oznaczanych w nim metali ciężkich w roku 2024 w stosunku do wartości z roku 2023. W przypadku średniego rocznego stężenia pyłu zawieszonego PM10, na dwóch stacjach wystąpił spadek, a na dwóch wzrost. Jednak zmiany stężeń metali ciężkich nie we wszystkich przypadkach korespondowały ze zmianami stężeń pyłu zawieszonego. Dla niklu wyższe wartości niż rok wcześniej wystąpiły w Puszczy Boreckiej i Zielonce, a wzrosty sięgnęły odpowiednio 75% i 20%; niższą wartość odnotowano w Godowie – o 76%, natomiast w Osieczowie stężenie niklu pozostało na poziomie z ubiegłego roku. Stężenie arsenu spadło w Godowie, Puszczy Boreckiej i Osieczowie, a zmiany wyniosły od kilku do kilkunastu procent; w Zielonce nie odnotowano zmiany. Stężenie kadmu wzrosło o ponad 116% w Godowie, o ok. 17% w Osieczowie i o 14% w Zielonce, a zmalało w Puszczy Boreckiej – o blisko 5%. Stężenie ołowiu w pyłe zawieszonym PM10 było wyższe niż rok wcześniej w Osieczowie o blisko 23%, w Puszczy Boreckiej o niemal 19%, a w Zielonce o ponad 8%, natomiast w Godowie osiągnęło wartość o blisko 3% niższą od notowanej w 2023 roku. Niemal na każdej z opisywanych stacji stwierdzono zarówno spadki, jak i wzrosty stężeń poszczególnych metali ciężkich; jedynie w Zielonce odnotowano wzrosty, bądź utrzymanie stężeń w stosunku do wartości z poprzedniego roku.

Tab. 6.1.5. Zmiany względne stężeń średnich rocznych pyłu zawieszonego PM10 i oznaczanych w nim metali ciężkich w roku 2024 względem roku 2023 (źródło danych: PMŚ)

Stacja	PM10	Ni	As	Cd	Pb
	[%]				
Godów	15,5	-76,2	-12,3	116,5	-2,7
Osieczów	-10,7	-0,1	-3,8	17,3	22,6
Puszcza Borecka	16,0	75,4	-10,1	-4,6	18,7
Zielonka	-1,7	20,0	0,0	13,7	8,2

Godów - stacja monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń

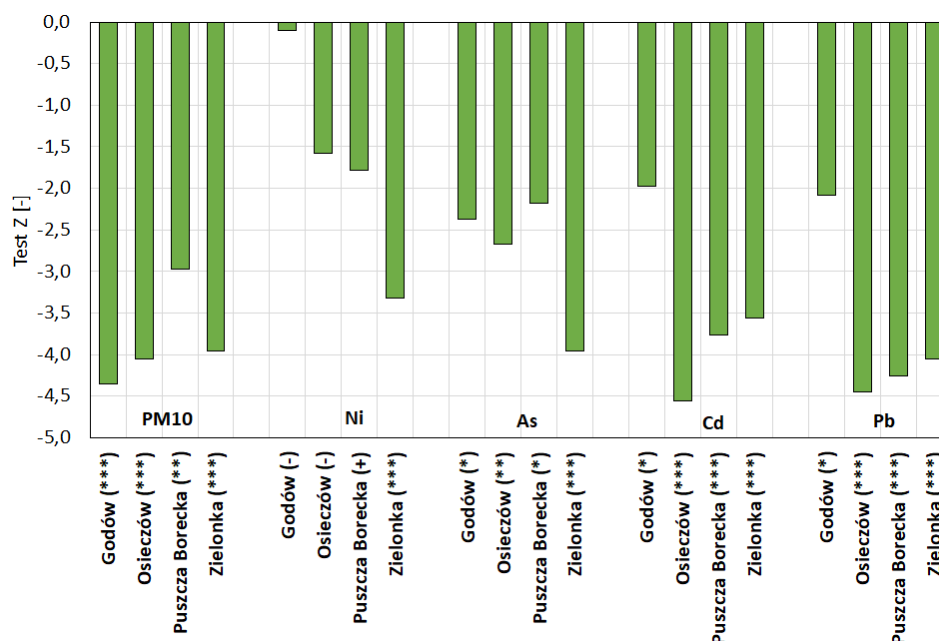
Podobną analizę zmian stężeń notowanych w roku 2024 przedstawiono w stosunku do wartości średnich z lat 2010-2023 (Tab. 6.1.6). W niemal wszystkich przypadkach – poza kadmem w Godowie – odnotowano spadki stężeń badanych metali ciężkich w 2024 roku w stosunku do wartości średnich z wielolecia i zmiany te były często bardziej znaczące niż zmiany stężeń pyłu zawieszonego PM10, osiągając na ogół po kilkadziesiąt procent. Spadki stężeń niklu na stacjach tła regionalnego wyniosły od 4% w Puszczy Boreckiej, przez 10% w Osieczowie do blisko 48% w Zielonce, a na stacji monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń w Godowie osiągnął niemal 54%. Dla arsenu spadki wyniosły od blisko 34% w Puszczy Boreckiej, przez 49-50% w Osieczowie i Godowie, po ok. 56% w Zielonce. Dla kadmu spadki osiągnęły od 46% w Puszczy Boreckiej do 63% w Zielonce, a wzrost w Godowie był na poziomie ok. 8%. W przypadku ołowiu stężenie było niższe od średniego w wieloleciu o 39% w Godowie, o 46-47% w Puszczy Boreckiej i Osieczowie i o ponad 66% w Zielonce. Spadki stężeń wszystkich metali ciężkich były największe na stacji w Zielonce.

Tab. 6.1.6. Zmiany względne stężeń średnich rocznych pyłu zawieszonego PM10 i oznaczanych w nim metali ciężkich w roku 2024 względem wartości średnich z lat 2010-2023 (źródło danych: PMŚ)

Stacja	PM10	Ni	As	Cd	Pb
	[%]				
Godów	-38,4	-53,9	-49,3	7,7	-39,0
Osieczów	-28,7	-10,5	-50,0	-47,9	-47,4
Puszcza Borecka	-13,1	-4,2	-33,9	-46,4	-46,0
Zielonka	-31,6	-47,6	-55,7	-62,8	-66,1

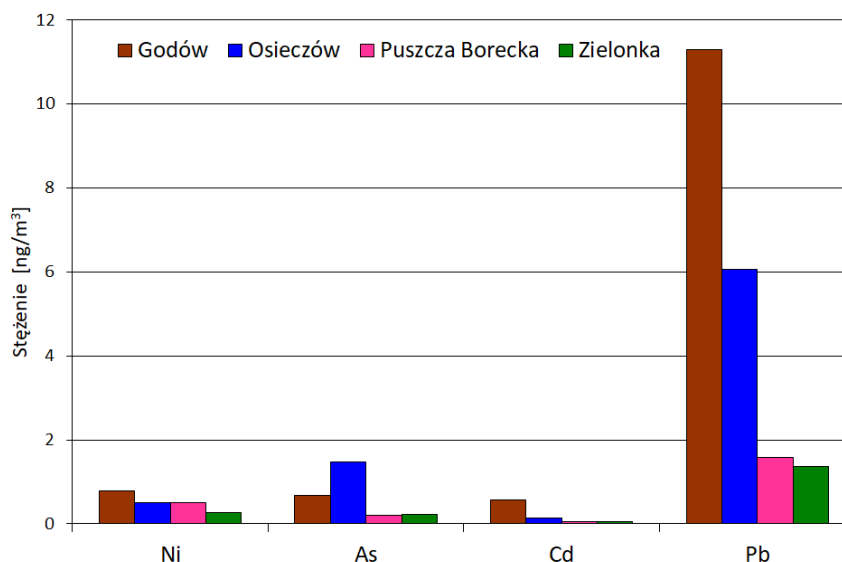
Godów - stacja monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń

Dane uzyskane w latach 2010-2024 poddano analizie statystycznej w celu wykrycia trendów. Na wszystkich stacjach odnotowano trend malejący stężenia pyłu zawieszonego PM10 (o czym świadczy ujemna wartość Z), był to trend istotny statystycznie, przy czym na stacjach Godów, Osieczów i Zielonka istotność była większa (***) niż w Puszczy Boreckiej (**). W przypadku niklu odnotowano trend malejący w Zielonce, a także w Puszczy Boreckiej (słabiej zaznaczony) oraz brak trendu w Godowie i Osieczowie, dla których wystąpiła tendencja malejąca. Dla arsenu trend o różnym stopniu istotności stwierdzono na wszystkich stacjach, najbardziej istotny statystycznie w Zielonce. Istotny statystycznie trend (o największej istotności) odzwierciedlał zmiany stężeń kadmu w pyłe zawieszonym PM10 na stacjach Osieczów, Puszcza Borecka i Zielonka, a mniej istotny był w Godowie. Na wszystkich stacjach odnotowano spadkowy trend stężenia ołowiu, przy czym na stacjach tła regionalnego był on najbardziej istotny (***), a w Godowie mniej istotny (*) (Rys. 6.1.4).



Rys. 6.1.4. Trendy i tendencje zmian stężeń średnich rocznych pyłu zawieszonego PM10 i zawartych w nim metali ciężkich na stacjach tła regionalnego i stacji monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń w Godowie w latach 2010-2024 (źródło danych: PMŚ)

Wartości średnich stężeń metali ciężkich w roku 2024 na stacjach tła regionalnego i stacji monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń (podmiejskiej) przedstawiono na rysunku 6.1.5.

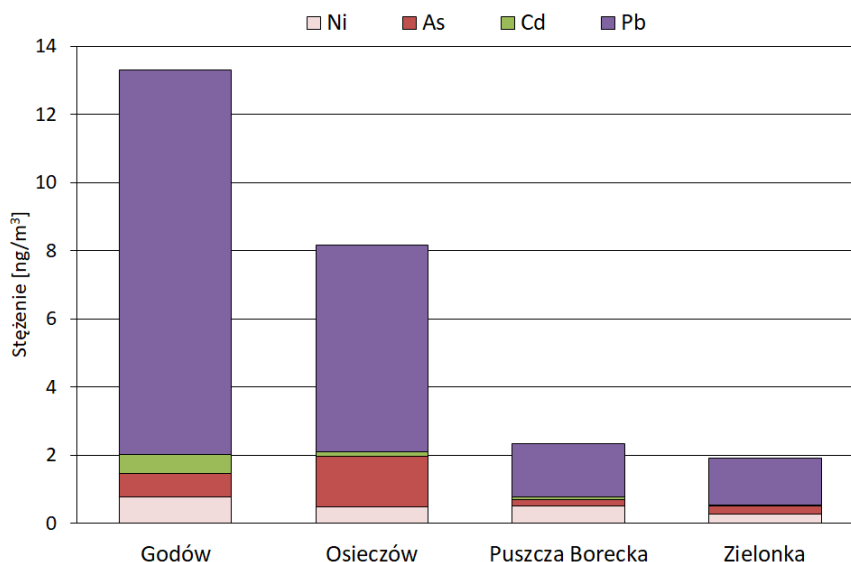


Rys. 6.1.5. Stężenia średnie roczne metali ciężkich na stacjach tła regionalnego oraz na stacji monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń (Godów) w 2024 roku (źródło danych: PMŚ)

W 2024 roku, podobnie jak w latach poprzednich, spośród analizowanych czterech metali ciężkich, najwyższe stężenia zaobserwowano dla ołowiu. Szczególnie wysokie wartości odnotowano na stacji podmiejskiej w Godowie, gdzie przypadało maksimum stężeń tego metalu wśród omawianych stacji. W przypadku arsenu, najwyższe stężenia wystąpiły w Osieczowie, co potwierdza najgorszą sytuację w tym rejonie kraju, obserwowaną od lat. Najniższe wartości spośród analizowanych metali ciężkich oznaczanych w pyłe zawieszonym

PM10 odnotowano na wszystkich czterech stacjach dla kadmu (najniższe w Zielonce). Najmniejsze zróżnicowanie średnich rocznych stężeń pomiędzy stacjami w okresie 2010-2024 obserwowano właśnie dla kadmu.

Na wszystkich stacjach spośród analizowanych metali ciężkich, najwyższy udział procentowy obserwuje się dla ołowiu, a najniższy dla kadmu (Rys. 6.1.6).



Rys. 6.1.6. Udział metali ciężkich zawartych w pyłe zawieszonym PM10 na stacjach tła regionalnego oraz na stacji monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń w 2024 roku (źródło danych: PMŚ)

W 2024 roku na drugim miejscu (podobnie, jak we wcześniejszych latach) na większości stacji wystąpił nikiel, a na trzecim arsen, natomiast w Osieczowie było odwrotnie – na drugim miejscu arsen, a na trzecim nikiel (Tab. 6.1.7).

Tab. 6.1.7. Kolejność występowania metali ciężkich w pyłe zawieszonym PM10 ze względu na stężenie średnie roczne w 2024 (źródło danych: PMŚ)

Godów	Pb	Ni	As	Cd
Osieczów	Pb	As	Ni	Cd
Puszcza Borecka	Pb	Ni	As	Cd
Zielonka	Pb	Ni	As	Cd

Godów - stacja monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń

6.1.3. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w pyłe zawieszonym PM10

Wartości stężeń średnich rocznych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych zawartych w pyłe zawieszonym PM10 w latach 2010-2024 przedstawiono w tabeli 6.1.8 (kolorem czerwonym oznaczono przekroczenia wartości docelowej benzo(a)pirenu). Zmiany stężeń rocznych na analizowanych stacjach w roku 2024 pokazano na rysunku 6.1.7.

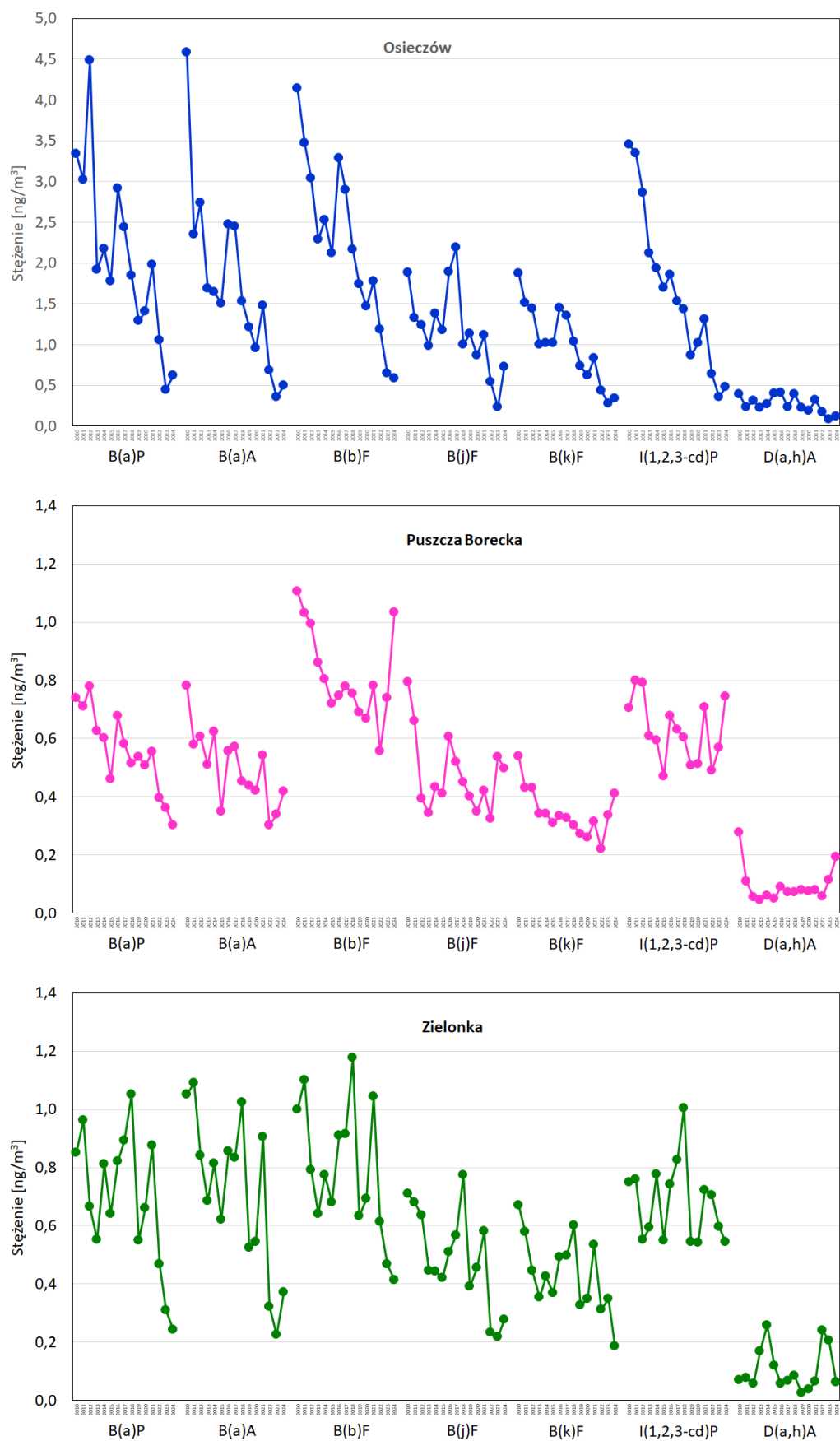
W roku 2024 stężenia średnie roczne benzo(a)pirenu na omawianych stacjach były wyższe od poziomu docelowego tylko na stacji podmiejskiej w Godowie, gdzie osiągnęło wartość 3,5 ng/m³. W latach 2010-2018 oraz 2021 przekroczenia notowano na stacjach w Godowie i Osieczowie (w Godowie także w kolejnych latach 2019 i 2020). W roku 2019 i 2020, jak również w 2022, biorąc pod uwagę zasadę, że przy ocenie, czy wystąpiło przekroczenie poziomu docelowego wyniki są zaokrąglane do całości, w Osieczowie nie odnotowano przekroczenia wartości docelowej (stężenie średnie roczne było niższe od 1,5 ng/m³). Na stacji Puszcza Borecka, która w wieloleciu należała do tych, gdzie obserwowano niskie wartości, średnie roczne stężenie w roku 2024 osiągnęło trzecią w kolejności wartość spośród notowanych na omawianych stacjach. Na stacji tej stężenie średnie w wieloleciu było najniższe. W ostatnim roku odnotowano najniższe średnie roczne stężenie na stacji w Zielonce; stanowiło ono 24% poziomu docelowego.

Tab. 6.1.8. Stężenia średnie roczne WWA na stacjach tła regionalnego oraz stacji Godów w latach 2010-2024. Kolorem czerwonym zaznaczono wartości przekraczające poziom docelowy dla B(a)P (źródło danych: PMŚ)

Rok	Stacja	WWA w pyłe zawieszonym PM10						
		[ng/m ³]						
		B(a)P	B(a)A	B(b)F	B(j)F	B(k)F	I(1,2,3 -cd)P	D(a,h)A
2010	Godów	14,00	-	-	-	-	-	-
	Osieczów	3,34	4,58	4,14	1,88	1,87	3,45	0,39
	Puszcza Borecka	0,74	0,78	1,10	0,79	0,54	0,71	0,28
	Zielonka	0,85	1,05	1,00	0,71	0,67	0,75	0,07
2011	Godów	14,18	-	-	-	-	-	-
	Osieczów	3,02	2,35	3,47	1,33	1,51	3,35	0,23
	Puszcza Borecka	0,71	0,58	1,03	0,66	0,43	0,80	0,11
	Zielonka	0,96	1,09	1,10	0,68	0,58	0,76	0,08
2012	Godów	10,54	-	-	-	-	-	-
	Osieczów	4,49	2,73	3,04	1,24	1,45	2,86	0,31
	Puszcza Borecka	0,78	0,61	0,99	0,39	0,43	0,79	0,06
	Zielonka	0,67	0,84	0,79	0,64	0,45	0,55	0,06
2013	Godów	10,51	-	-	-	-	-	-
	Osieczów	1,92	1,69	2,29	0,98	1,00	2,12	0,22
	Puszcza Borecka	0,63	0,51	0,86	0,34	0,34	0,61	0,05
	Zielonka	0,55	0,68	0,64	0,45	0,35	0,59	0,17
2014	Godów	9,63	-	-	-	-	-	-
	Osieczów	2,17	1,64	2,53	1,38	1,02	1,93	0,27
	Puszcza Borecka	0,60	0,62	0,80	0,43	0,34	0,59	0,06
	Zielonka	0,81	0,81	0,77	0,44	0,43	0,78	0,26
2015	Godów	8,77	-	-	-	-	-	-
	Osieczów	1,78	1,50	2,12	1,18	1,02	1,70	0,40
	Puszcza Borecka	0,46	0,35	0,72	0,41	0,31	0,47	0,05
	Zielonka	0,64	0,62	0,68	0,42	0,37	0,55	0,12
2016	Godów	7,88	-	-	-	-	-	-
	Osieczów	2,92	2,48	3,28	1,89	1,45	1,86	0,41
	Puszcza Borecka	0,68	0,56	0,75	0,61	0,33	0,68	0,09
	Zielonka	0,82	0,85	0,91	0,51	0,49	0,74	0,06

Rok	Stacja	WWA w pyłe zawieszonym PM10						
		[ng/m ³]						
		B(a)P	B(a)A	B(b)F	B(j)F	B(k)F	I(1,2,3-cd)P	D(a,h)A
2017	Godów	6,87	-	-	-	-	-	-
	Osieczów	2,44	2,45	2,89	2,19	1,35	1,53	0,23
	Puszcza Borecka	0,58	0,57	0,78	0,52	0,33	0,63	0,07
	Zielonka	0,89	0,83	0,91	0,57	0,50	0,83	0,07
2018	Godów	9,26	-	-	-	-	-	-
	Osieczów	1,85	1,53	2,16	1,00	1,04	1,43	0,39
	Puszcza Borecka	0,52	0,45	0,76	0,45	0,30	0,60	0,07
	Zielonka	1,05	1,02	1,18	0,77	0,60	1,00	0,09
2019	Godów	8,31	-	-	-	-	-	-
	Osieczów	1,29	1,21	1,74	1,13	0,74	0,87	0,22
	Puszcza Borecka	0,54	0,44	0,69	0,40	0,27	0,51	0,08
	Zielonka	0,55	0,52	0,63	0,39	0,33	0,54	0,03
2020	Godów	7,78	-	-	-	-	-	-
	Osieczów	1,41	0,95	1,47	0,87	0,62	1,02	0,19
	Puszcza Borecka	0,51	0,42	0,67	0,35	0,26	0,51	0,07
	Zielonka	0,66	0,55	0,69	0,46	0,35	0,54	0,04
2021	Godów	8,91	-	-	-	-	-	-
	Osieczów	1,98	1,48	1,78	1,12	0,83	1,31	0,32
	Puszcza Borecka	0,55	0,54	0,78	0,42	0,31	0,71	0,08
	Zielonka	0,88	0,91	1,04	0,58	0,53	0,72	0,06
2022	Godów	6,10						
	Osieczów	1,05	0,68	1,18	0,54	0,43	0,63	0,18
	Puszcza Borecka	0,40	0,30	0,56	0,32	0,22	0,49	0,06
	Zielonka	0,47	0,32	0,61	0,23	0,31	0,70	0,24
2023	Godów	4,16						
	Osieczów	0,44	0,35	0,65	0,24	0,28	0,35	0,09
	Puszcza Borecka	0,36	0,34	0,74	0,54	0,34	0,57	0,11
	Zielonka	0,31	0,23	0,47	0,22	0,35	0,60	0,21
2024	Godów	3,48						
	Osieczów	0,62	0,50	0,59	0,73	0,34	0,48	0,12
	Puszcza Borecka	0,30	0,42	1,03	0,50	0,41	0,75	0,19
	Zielonka	0,24	0,37	0,41	0,28	0,19	0,55	0,06
Średnia 2010-2023	Godów	9,06						
	Osieczów	2,15	1,83	2,34	1,21	1,04	1,74	0,28
	Puszcza Borecka	0,58	0,51	0,80	0,47	0,34	0,62	0,09
	Zielonka	0,72	0,74	0,82	0,50	0,45	0,69	0,11

Średnie roczne stężenia analizowanych WWA na stacji Osieczów w okresie 2010-2024 wykazują na ogół spadki z roku na rok, z wyraźnym zachwianiem w 2016 i 2021 roku, a dla niektórych związków także w 2024 roku (Rys. 6.1.7). Na stacji Zielonka przebieg średnich rocznych wartości stężeń poszczególnych WWA jest bardzo zmienny z roku na rok. W ostatnich trzech latach widać wyraźne spadki w stosunku do wartości z wcześniejszych lat dla większości WWA poza I(1,2,3-cd)P i D(a,h)A. Również na tej stacji w przypadku B(a)P, B(b)F i B(k)F stężenia spadły do wartości najmniejszych od 2010 roku, ale stężenia B(a)A i B(j)F wzrosły w stosunku do obserwowanych rok wcześniej.



Rys. 6.1.7. Stężenia średnie roczne WWA na stacjach tła regionalnego w latach 2010-2024
[Dla Osieczowa inna skala] (źródło danych: PMŚ)

Względne zmiany stężeń badanych WWA z roku na rok wskazują na spadek większości związków na stacjach tła regionalnego w Puszczy Boreckiej (poza I(1,2,3-cd)P i Zielonce (poza B(a)A i B(j)F) oraz B(b)F w Osieczowie (Tab. 6.1.9). Zmiany sięgały na ogół kilkudziesięciu procent, przy czym w Puszczy Boreckiej były większe niż w Zielonce. Największe spadki dotyczyły dibenzo(a,h)antracenu w Zielonce i benzo(j)fluorantenu w Puszczy Boreckiej (odpowiednio 69% i 54%). Najmniejsze spadki odnotowano dla benzo(b)fluorantenu w Zielonce i dibenzo(a,h)antracenu w Puszczy Boreckiej (odpowiednio o ok. 12% i 16%). Wzrosty stężeń sięgnęły od blisko 21% w przypadku benzo(k)fluorantenu do blisko 207% w przypadku benzo(j)fluorantenu w Osieczowie.

Tab. 6.1.9. Zmiany względne stężenia średniego rocznego pyłu zawieszonego PM10 i oznaczanych w nim WWA w 2024 roku względem roku 2023 (źródło danych: PMŚ)

Stacja	PM10	B(a)P	B(a)A	B(b)F	B(j)F	B(k)F	I(1,2,3-cd)P	D(a,h)A
	[%]							
Godów	15,5	-16,3						
Osieczów	-10,7	41,2	40,6	-9,4	206,9	20,9	35,9	33,5
Puszcza Borecka	16,0	-16,1	-38,6	-30,2	-53,6	-39,7	30,9	-15,7
Zielonka	-1,7	-22,0	64,8	-11,9	27,0	-47,0	-8,7	-69,0

Godów - stacja monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń (podmiejska)

Widoczny jest spadek stężeń większości badanych WWA na stacjach tła regionalnego w Puszczy Boreckiej i Zielonce, jak i benzo(a)pirenu mierzonego na stacji monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń – stacji w Godowie. Wzrost zaobserwowano w przypadku wszystkich WWA – poza benzo(b)fluorantem – na stacji w Osieczowie.

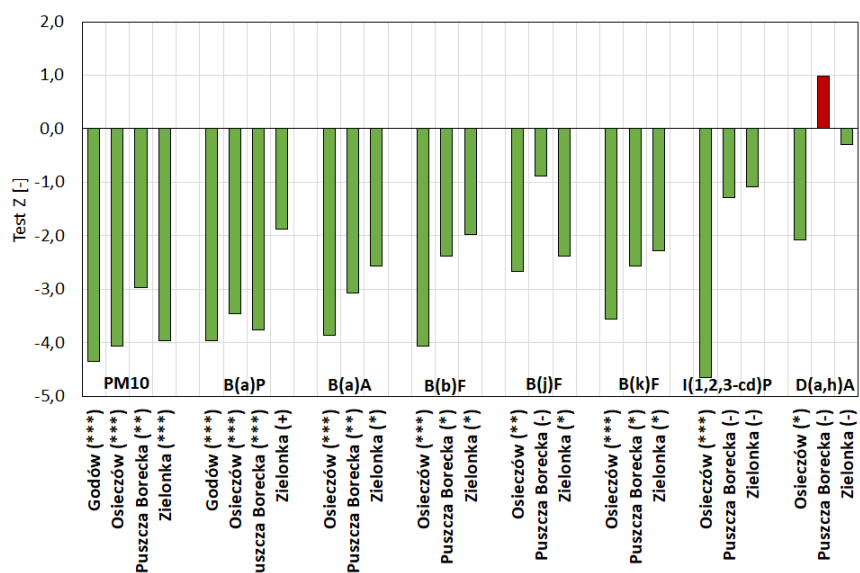
Podobną ocenę stężeń notowanych w roku 2024 przedstawiono w stosunku do wartości średnich z lat 2010-2023 (Tab. 6.1.10). Względne zmiany stężeń wskazują na spadki stężeń badanych węglowodorów na stacjach tła regionalnego Osieczów i Zielonka. Również stężenie benzo(a)pirenu na stacji w Godowie było mniejsze niż wartość średnia w okresie 2010-2023 o 62% – a spadek stężenia B(a)P był bardziej znaczący od spadku stężenia pyłu zawieszonego PM10. Spadki stężeń poszczególnych WWA na stacjach tła regionalnego wynosiły po kilkadziesiąt procent i osiągnęły 40-75% w Osieczowie i 13-66% w Zielonce. Na stacji Puszcza Borecka odnotowano wzrost stężeń większości badanych WWA, poza B(a)P i B(a)A, których stężenia średnie roczne były niższe od średnich w wieloleciu odpowiednio o ponad 47% i 17%.

Tabela 6.1.10. Zmiany względne stężeń średnich rocznych pyłu zawieszonego PM10 i oznaczanych w nim WWA w 2024 roku względem wartości średnich z lat 2010-2023 (źródło danych: PMŚ)

Stacja	PM10	B(a)P	B(a)A	B(b)F	B(j)F	B(k)F	I(1,2,3-cd)P	D(a,h)A
	[%]							
Godów	-38,4	-61,6						
Osieczów	-28,7	-70,9	-72,9	-74,9	-39,9	-67,6	-79,7	-58,1
Puszcza Borecka	-13,1	-47,4	-17,4	28,9	4,8	21,0	84,0	119,6
Zielonka	-31,6	-66,4	-49,6	-49,5	-45,0	-58,9	-13,5	-42,1

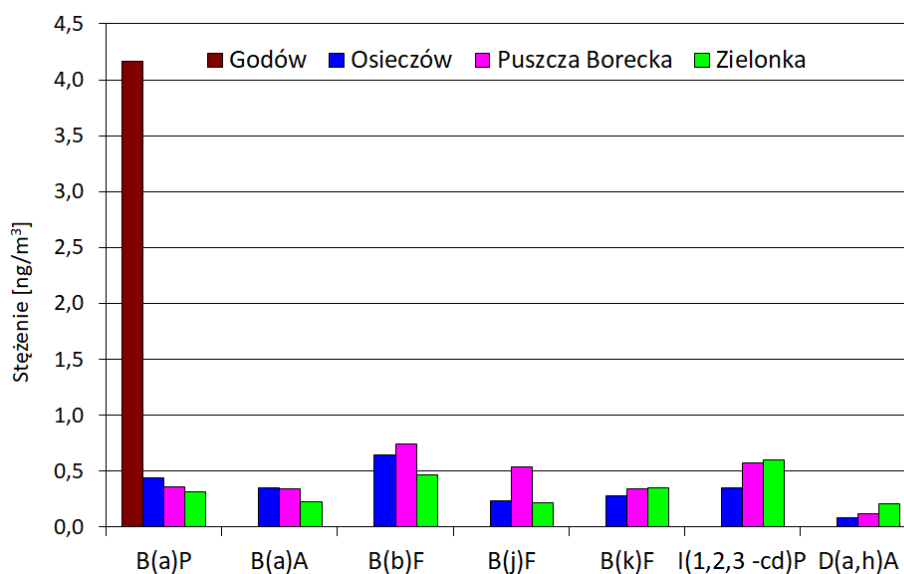
Godów - stacja monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń

Analiza zmian stężeń w latach 2010-2024 wykazała istnienie trendów i tendencji spadkowych dla poszczególnych WWA (poza D(a,h)A na stacji Puszcza Borecka) oraz pyłu zawieszonego PM10 na wszystkich stacjach (Rys. 6.1.8). Największe i najbardziej znaczące dotyczyły I(1,2,3- cd)P, B(b)F i B(a)A w Osieczowie oraz B(a)P w Puszczy Boreckiej. Również dla stacji monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń w Godowie odnotowano istotny statystycznie trend malejący stężenia B(a)P. Na stacji w Zielonce zarysował się najmniej istotny statystycznie trend malejący dla większości badanych WWA, poza I(1,2,3-cd)P i D(a,h)A.



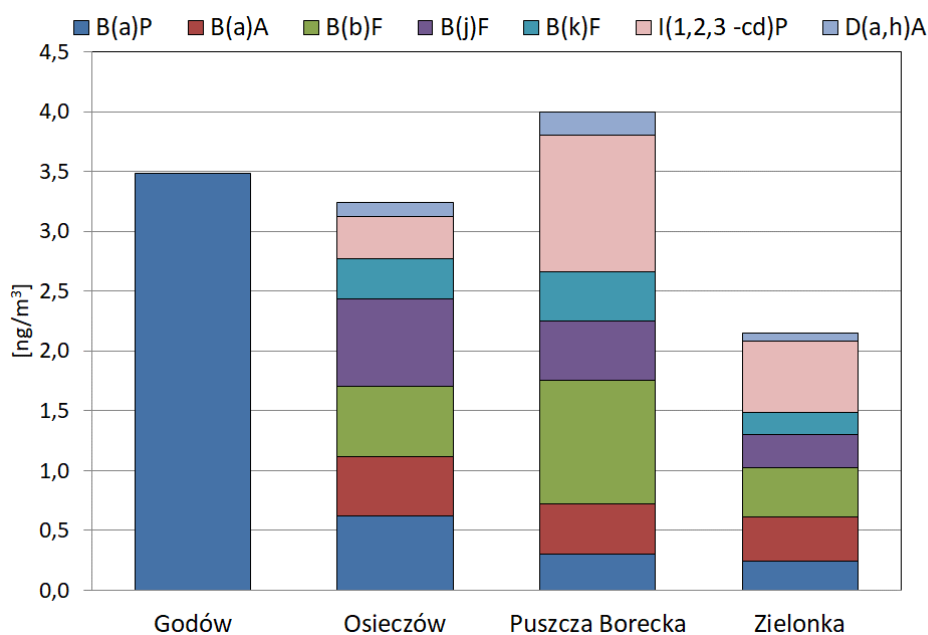
Rys. 6.1.8. Trendy i tendencje zmian stężeń średnich rocznych pyłu zawieszonego PM10 i zawartych w nim WWA na stacjach tła regionalnego i stacji monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń w Godowie (tylko B(a)P) w latach 2010-2024 (źródło danych: PMŚ)

W roku 2024 średnie stężenia benzo(b)fluorantenu i indeno(1,2,3-cd)pirenu na poszczególnych stacjach tła regionalnego osiągnęły najwyższe wartości, benzo(a)pirenu, benzo(a)antracenu, benzo(k)fluorantenu były na nieco niższym, zbliżonym do siebie poziomie, zaś najniższe były stężenia dibenzo(a,h)antracenu. Stężenie benzo(a)pirenu na stacji Godów (stacja podmiejska) było znacząco wyższe niż na pozostałych stacjach, ale dysproporcja była mniejsza niż w początkowych latach pomiarów. Na stacjach tła regionalnego największe stężenia dwóch spośród badanych WWA – B(b)F i B(j)F – odnotowano w Puszczy Boreckiej, w przypadku B(a)P stężenia na wszystkich stacjach były bardzo zbliżone do siebie, z niewielką przewagą wartości z Osieczowa. Duże podobieństwo wyników dla większości substancji, a w szczególności dla B(a)P, B(k)F i I(1,2,3-cd)P, widać dla stacji Puszcza Borecka i Zielonka, co potwierdza ich regionalny charakter. Dla B(a)A zauważono niemal identyczne wyniki w Osieczowie i Puszczy Boreckiej. W przypadku D(a,h)A i I(1,2,3-cd)P najwyższe średnie roczne stężenia zaobserwowano w Zielonce. Wcześniej dla wszystkich składników widać było prawidłowość, iż najwyższe wartości na stacjach tła regionalnego notowano w Osieczowie, niższe na ogół w Zielonce, a najniższe w Puszczy Boreckiej. Stężenie benzo(a)pirenu na stacji monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń Godów (na której nie wykonuje się pomiarów stężeń innych WWA) było najwyższe wśród analizowanych stacji.



Rys. 6.1.9. Stężenia średnie roczne WWA na stacjach tła oraz na stacji monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń (Godów) w roku 2024 (źródło danych: PMŚ)

Sumę stężeń węglowodorów oznaczanych w pyłe zawieszonym PM₁₀ w roku 2024 na omawianych stacjach przedstawiono na rysunku 6.1.10. Na stacji w Osieczowie przeważały B(j)F, B(a)P i B(b)F, stanowiąc razem blisko 58% sumy oznaczanych WWA. W Puszczy Boreckiej największy udział (ponad 28%) w sumie WWA miał B(b)F, a na kolejnych miejscach uplasowały się I(1,2,3-cd)P i B(j)F, których udziały w sumie oznaczanych związków wyniosły razem 63%. W Zielonce pierwsze trzy węglowodory: I(1,2,3-cd)P, B(b)F i B(a)A stanowiły razem ponad 63% sumy WWA. Udział D(a,h)A był najmniejszy na wszystkich stacjach, stanowiąc od 3% Osieczowie i Zielonce do ponad 5% w Puszczy Boreckiej.



Rys. 6.1.10. Stężenie WWA zawartych w pyłe zawieszonym PM₁₀ na stacjach tła regionalnego i na stacji w Godowie (tylko B(a)P) w 2024 roku (źródło danych: PMŚ)

W tabeli 6.1.11 przedstawiono kolejność występowania stężeń WWA zawartych w pyłe zawieszonym PM₁₀ w roku 2024 licząc od najwyższych do najniższych wartości stężeń. Uzyskane wyniki pokazują bardzo duże zróżnicowanie w kolejności występowania poszczególnych WWA na stacjach. Na stacjach Puszcza Borecka i Zielonka na dwóch pierwszych miejscach znajdują się B(b)F i I(1,2,3-cd)P, a w Osieczowie B(j)F i B(a)P, a na każdej ze stacji najmniej jest D(a,h)A.

Tab. 6.1.11. Kolejność występowania WWA w pyłe zawieszonym PM₁₀ ze względu na stężenie średnie roczne w 2024 r. (źródło danych: PMŚ)

Godów	B(a)P						
Osieczów	B(j)F	B(a)P	B(b)F	B(a)A	I(1,2,3 -cd)P	B(k)F	D(a,h)A
Puszcza Borecka	B(b)F	I(1,2,3 -cd)P	B(j)F	B(a)A	B(k)F	B(a)P	D(a,h)A
Zielonka	I(1,2,3 -cd)P	B(b)F	B(a)A	B(j)F	B(a)P	B(k)F	D(a,h)A

Godów - stacja monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń

6.2. Zanieczyszczenia zawarte w pyłe zawieszonym PM_{2,5}

W niniejszym rozdziale przedstawiono ocenę w zakresie zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym PM_{2,5} oraz oznaczanymi w nim jonami i węglem (elementarnym i organicznym) w latach 2010-2024 na stacjach tła regionalnego oraz na stacji monitoringu transgranicznego zanieczyszczania powietrza w Godowie.

6.2.1. Pył zawieszony PM_{2,5}

Wartość poziomu docelowego i poziomu dopuszczalnego dla pyłu zawieszonego PM_{2,5}, dla kryterium ochrony zdrowia przedstawiono w tabeli 6.2.1. Wartość poziomu docelowego 25 µg/m³ obowiązywała od 1 stycznia 2010 r. zaś wartość poziomu dopuszczalnego osiągnięta miała być w dwóch fazach:

- w fazie 1 kończącej się 1 stycznia 2015 r. obowiązywał margines tolerancji (w 2014 roku zastosowany po raz ostatni),
- w fazie 2 kończącej się 1 stycznia 2020 r. powinna zostać osiągnięta wartość poziomu dopuszczalnego równa 20 µg/m³.

A zatem w roku 2024 stężenia pyłu zawieszonego PM_{2,5} uzyskane na omawianych stacjach tła regionalnego oraz na stacji w Godowie odniesiono do poziomu dopuszczalnego równego 20 µg/m³. O poziomach dopuszczalnych, które już wygasły wspomniano ze względu na fakt, że w raporcie prezentowane są wyniki od 2010 roku i dane te były odnoszone do aktualnych wówczas poziomów dopuszczalnych powiększonych o margines tolerancji i poziomu docelowego.

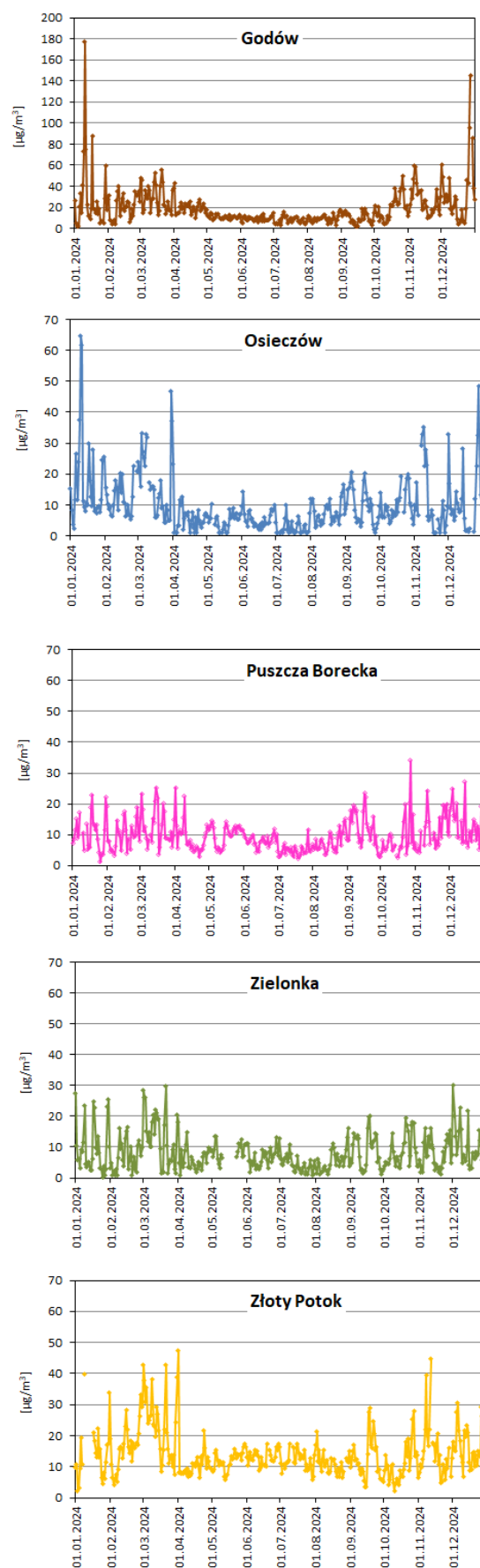
Tabela 6.2.1. Poziom docelowy i poziom dopuszczalny stężenia pyłu zawieszonego PM_{2,5} dla kryterium ochrony zdrowia²⁰

okres uśredniania wyników pomiarów	poziom dopuszczalny [µg/m³]	poziom dopuszczalny + margines tolerancji [µg/m³]						termin osiągnięcia poziomu dopuszczalnego
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	
FAZA 1								
rok kalendarzowy	25 ^{*)}	29	28	27	26	26	25	1 stycznia 2015 r.
FAZA 2								
rok kalendarzowy	20	brak marginesu tolerancji						1 stycznia 2020 r.

^{*)} również poziom docelowy z terminem osiągnięcia w 2010 roku

Przebiegi dobowych wartości stężenia pyłu zawieszonego PM_{2,5} na stacjach tła w 2024 roku przedstawiono na rys. 6.2.1. Charakterystyczny przebieg, w którym w chłodnej połowie roku są notowane wyższe wartości niż w ciepłej, widoczny jest na wszystkich stacjach tła regionalnego oraz w Godowie. W 2024 roku na stacjach w Osieczowie, Zielonce i Żłotym Potoku odnotowano wyższe wartości w I kwartale niż w IV kwartale, a na stacjach w Puszczy Boreckiej i Godowie średnie stężenia w I i IV kwartale były jednakowe. Różnice względne pomiędzy kwartałami wyniosły od 39% w Osieczowie przez 18% w Żłotym Potoku do 9% w Zielonce.

²⁰ Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. z 2021, poz. 845)



Rys. 6.2.1. Przebieg średnich dobowych stężeń pyłu zawieszonego PM_{2,5} na stacjach tła regionalnego oraz na stacji Godów w roku 2024 (źródło danych: PMŚ) [Dla Godowa inna skala]

W tabeli 6.2.2 przedstawiono stężenie średnie roczne pyłu zawieszonego PM_{2,5} na stacjach tła regionalnego oraz na stacji w Godowie w latach 2010-2024.

Tab. 6.2.2. Stężenie średnie roczne pyłu zawieszonego PM_{2,5} na stacjach tła regionalnego oraz na stacji Godów w latach 2010-2024. Kolorem czerwonym zaznaczono przekroczenia poziomu dopuszczalnego /docelowego (źródło danych: PMŚ)

Rok	Stacja	Stężenie średnie roczne pyłu PM _{2,5}	Stężenie w stosunku do poziomu docelowego z roku 2010	Stężenie w stosunku do poziomu dopuszczalnego w danym roku	Stężenie w stosunku do poziomu dopuszczalnego z roku 2020
		µg/m ³	%	%	%
2010	Godów	49,1	196,4	171,9	245,5
	Osieczów	17,0	68,0	59,5	85,0
	Puszcza Borecka	15,2	60,9	53,3	76,2
	Zielonka	19,5	78,0	68,3	97,5
	Złoty Potok	21,9	87,4	76,5	109,3
2011	Godów	41,9	167,6	150,4	209,5
	Osieczów	20,4	81,5	73,1	101,9
	Puszcza Borecka	12,8	51,2	45,9	64,0
	Zielonka	16,1	64,3	57,7	80,4
	Złoty Potok	21,3	85,2	76,5	106,6
2012	Godów	39,9	159,6	147,8	199,5
	Osieczów	17,0	68,1	63,0	85,1
	Puszcza Borecka	13,8	55,3	51,2	69,1
	Zielonka	15,5	62,0	57,4	77,5
	Złoty Potok	17,9	71,6	66,3	89,5
2013	Godów	38,4	153,8	147,9	192,2
	Osieczów	17,6	70,4	67,7	88,0
	Puszcza Borecka	12,8	51,4	49,4	64,2
	Zielonka	14,5	57,9	55,7	72,4
	Złoty Potok	23,0	91,9	88,3	114,8
2014	Godów	40,0	159,9	153,8	199,9
	Osieczów	16,0	64,1	61,6	80,1
	Puszcza Borecka	13,8	55,4	53,3	69,2
	Zielonka	14,6	58,5	56,2	73,1
	Złoty Potok	21,3	85,3	82,0	106,6
2015	Godów	34,9	139,5	139,5	174,4
	Osieczów	14,6	58,3	58,3	72,9
	Puszcza Borecka	12,5	49,9	49,9	62,4
	Zielonka	-	-	-	-
	Złoty Potok	18,6	74,6	74,6	93,2
2016	Godów	32,6	130,3	130,3	162,9
	Osieczów	16,8	67,4	67,4	84,2
	Puszcza Borecka	11,4	45,7	45,7	57,1
	Zielonka	12,2	48,7	48,7	60,9
	Złoty Potok	18,6	74,5	74,5	93,1
2017	Godów	29,7	118,6	118,6	148,3
	Osieczów	16,2	64,9	64,9	81,1
	Puszcza Borecka	11,8	47,1	47,1	58,9
	Zielonka	11,7	46,9	46,9	58,6
	Złoty Potok	19,9	79,8	79,8	99,7
2018	Godów	38,5	154,2	154,2	192,7
	Osieczów	17,1	68,2	68,2	85,3
	Puszcza Borecka	12,1	48,4	48,4	60,4
	Zielonka	13,9	55,8	55,8	69,7
	Złoty Potok	20,0	79,8	79,8	99,8

Rok	Stacja	Stężenie średnie roczne pyłu PM _{2,5}	Stężenie w stosunku do poziomu docelowego z roku 2010	Stężenie w stosunku do poziomu dopuszczalnego w danym roku	Stężenie w stosunku do poziomu dopuszczalnego z roku 2020
		µg/m ³	%	%	%
2019	Godów	30,6	122,5	122,5	153,1
	Osieczów	13,1	52,4	52,4	65,5
	Puszcza Borecka	11,1	44,4	44,4	55,5
	Zielonka	9,6	38,6	38,6	48,2
	Złoty Potok	16,1	64,3	64,3	80,4
2020	Godów	26,5	105,9	105,9	132,3
	Osieczów	11,5	46,0	46,0	57,4
	Puszcza Borecka	9,1	36,4	36,4	45,5
	Zielonka	8,6	34,3	34,3	42,8
	Złoty Potok	14,7	58,6	58,6	73,3
2021	Godów	-	-	-	-
	Osieczów	12,3	49,2	49,2	61,5
	Puszcza Borecka	9,6	38,4	38,4	48,0
	Zielonka	8,7	34,8	34,8	43,4
	Złoty Potok	15,6	62,2	62,2	77,8
2022	Godów	22,7	90,7	90,7	113,4
	Osieczów	12,9	51,8	51,8	64,7
	Puszcza Borecka	9,3	37,2	37,2	46,5
	Zielonka	8,4	33,5	33,5	41,9
	Złoty Potok	14,2	56,8	56,8	71,0
2023	Godów	16,3	65,3	65,3	81,6
	Osieczów	11,1	44,4	44,4	55,6
	Puszcza Borecka	8,7	34,8	34,8	43,5
	Zielonka	8,4	33,6	33,6	42,0
	Złoty Potok	14,5	58,0	58,0	72,6
2024	Godów	18,8	75,2	75,2	94,0
	Osieczów	9,7	38,8	38,8	48,5
	Puszcza Borecka	9,7	38,9	38,9	48,6
	Zielonka	8,1	32,3	32,3	40,4
	Złoty Potok	14,3	57,2	57,2	71,6

Godów - stacja monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń

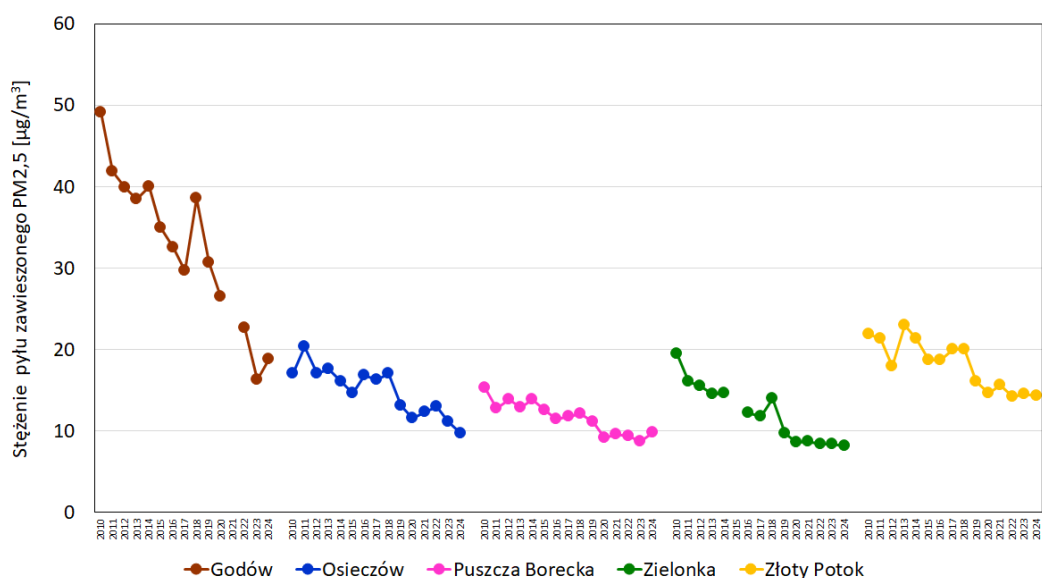
* dane z Zielonki za rok 2015 i z Godowa za rok 2021 pominięte z powodu zbyt niskiej kompletności

W stosunku do poziomu dopuszczalnego określonego od roku 2020 (faza 2) na żadnej ze stacji tła regionalnego nie wystąpiło w ostatnim roku przekroczenie, a notowane stężenia średnie roczne pyłu zawieszonego PM_{2,5} stanowiły odpowiednio: 72% poziomu dopuszczalnego w Złotym Potoku, 49% w Osieczowie i w Puszczy Boreckiej oraz 40% w Zielonce. Dla większości stacji (poza Puszcza Borecką) były to wartości mniejsze niż obserwowane rok wcześniej. Po raz drugi od początku prowadzenia pomiarów przekroczenie nie wystąpiło także na stacji monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń w Godowie, a stężenie średnie roczne pyłu zawieszonego PM_{2,5} stanowiło 94% wartości dopuszczalnej (rok wcześniej 82%).

Tym samym na żadnej ze stacji tła regionalnego nie zanotowano w roku 2024 przekroczeń poziomu dopuszczalnego określonego dla fazy 1, co miało miejsce we wszystkich latach w okresie 2010-2020 na stacji monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń w Godowie i po raz pierwszy nie wystąpiło w 2022 roku (w 2021 roku seria pomiarowa była niekompletna). Na początku analizowanego okresu - w latach 2010, 2011, 2013 i 2014 - na stacji Złoty Potok i w 2011 roku na stacji Osieczów stężenie pyłu zawieszonego PM_{2,5} osiągało wartości przekraczające poziom dopuszczalny, przewidziany dla roku 2020 (faza 2).

Na wszystkich stacjach tła regionalnego i w Godowie od roku 2010 obserwowana była wyraźna tendencja spadkowa średniego rocznego stężenia pyłu zawieszonego PM_{2,5}, chociaż w analizowanym okresie były lata, w których widoczne są niewielkie wzrosty stężenia z roku na rok (Rys. 6.2.2). W roku 2024 na wszystkich stacjach tła regionalnego stężenie pyłu zawieszonego PM_{2,5} było zbliżone do wartości z trzech wcześniejszych lat, przy czym w Złotym Potoku i Zielonce było zbliżone do wartości z roku poprzedniego, w Osieczowie niższe, a w Puszczy Boreckiej wyższe. Wszędzie stężenie pyłu zawieszonego PM_{2,5} osiągnęło niższe wartości od notowanych na początku analizowanego okresu badań. Względne różnice wartości stężeń z ostatnich dwóch lat na stacjach tła regionalnego wyniosły -12,6% w Osieczowie, 11,8% w Puszczy Boreckiej i -3,8% w Zielonce i -1,4% w Złotym Potoku. Na stacji podmiejskiej w Godowie stężenie pyłu PM_{2,5} wzrosło o 15,2% w stosunku do wartości z roku poprzedniego

Omówienie zmian stężenia pyłu zawieszonego PM_{2,5} przedstawiono wraz z trendami i tendencjami stężeń składników w nim badanych w wieloleciu w kolejnym podrozdziale.



dane z Zielonki za rok 2015 i z Godowa za rok 2021 pominięte z powodu zbyt niskiej kompletności
 Rys. 6.2.2. Stężenie średnie roczne pyłu zawieszonego PM_{2,5} na stacjach tła regionalnego oraz na stacji monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń (Godów) w latach 2010-2024
 (źródło danych: PMŚ)

Maksymalne i minimalne wartości stężenia średniego dobowego pyłu zawieszonego PM_{2,5} na stacjach tła regionalnego oraz w Godowie przedstawiono w tabeli 6.2.3. Największe maksymalne stężenie dobowe wystąpiło na stacji Godów (177,2 µg/m³), natomiast najmniejsze maksymalne – na stacji Zielonka (30,0 µg/m³). Na stacjach w Osieczowie i Godowie maksymalne stężenia wystąpiły w styczniu, w Zielonce i Złotym Potoku w grudniu, a w Puszczy Boreckiej w październiku. Maksima notowane w 2024 roku były niższe od notowanych rok wcześniej w Puszczy Boreckiej, Zielonce i Złotym Potoku, a wyższe w Osieczowie i Godowie. Na stacji Godów zaobserwowano największą rozpiętość wartości stężeń średnich dobowych (przy największej wartości maksimum). Spośród stacji tła regionalnego największą amplitudę stężeń odnotowano w Osieczowie (przy największej wartości maksymalnej), a najmniejszą w Zielonce (przy najmniejszej wartości maksymalnej).

Tab. 6.2.3. Maksymalne i minimalne stężenia średnie dobowe pyłu zawieszonego PM_{2,5} na stacjach tła regionalnego oraz na stacji monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń (Godów) w 2024 roku
(źródło danych: PMŚ)

Parametr	Godów	Osieczów	Puszcza Borecka	Zielonka	Złoty Potok
S24 _{max} [µg/m ³]	177,2	64,6	34,1	30,0	50,3
Data S24 _{max}	10.01.2024	10.01.2024	27.10.2024	01.12.2024	28.12.2024
S24 _{min} [µg/m ³]	2,0	1,0	1,1	0,3	2,2
Data S24 _{min}	13.09.2024	28.11.2024	25.01.2024	25.01.2024	10.10.2024
S24 _{max} – S24 _{min} [µg/m ³]	175,2	63,6	33,0	29,7	48,1

6.2.2. Skład pyłu zawieszonego PM_{2,5}

Wyniki stężeń poszczególnych składników oznaczanych w pyłe zawieszonym PM_{2,5} w latach 2010-2024, lub w krótszym okresie dla niektórych stacji, bądź parametrów, przedstawiono w tabeli 6.2.3, zaś wyniki obliczeń względnych zmian stężeń dla poszczególnych substancji w roku 2024 w stosunku do roku 2023 - w tabeli 6.2.4. Jako wartości odniesienia z wielolecia przyjęto średnie z okresu 2011-2023, gdyż w 2010 roku skład pyłu zawieszonego był badanych tylko na dwóch stacjach tła regionalnego.

Tab. 6.2.4. Wyniki badania składu pyłu zawieszonego PM_{2,5} na stacjach tła regionalnego oraz na stacji Godów w latach 2010-2024 (źródło danych: PMŚ)

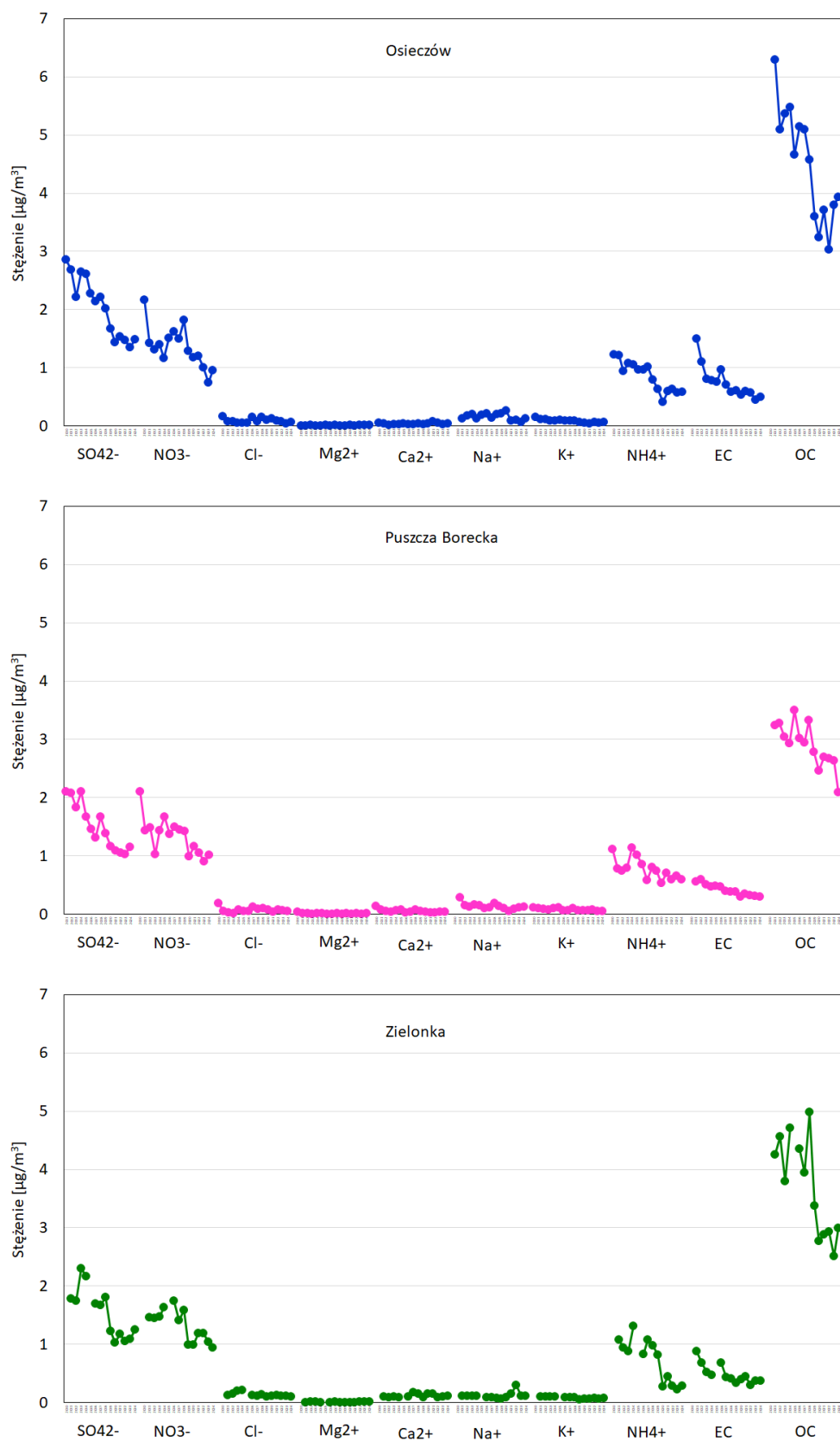
Rok	Stacja	PM _{2,5}	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	EC	OC
		[µg/m ³]										
2010	Godów	49,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Osieczów	17,0	2,854	2,164	0,161	0,010	0,049	-	0,148	1,233	-	-
	Puszcza Borecka	15,2	2,627	2,102	0,187	0,039	0,144	1,291	0,119	1,117	-	-
	Zielonka	19,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Złoty Potok	21,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2011	Godów	41,9	3,947	2,784	1,483	0,017	0,073	0,528	0,301	2,407	-	-
	Osieczów	20,4	2,683	1,421	0,081	0,010	0,036	0,127	0,121	1,212	1,50	6,29
	Puszcza Borecka	12,8	2,105	1,434	0,055	0,018	0,080	0,294	0,109	0,780	0,56	3,24
	Zielonka	16,1	1,780	1,460	0,130	0,010	0,100	0,120	0,100	1,080	0,88	4,25
	Złoty Potok	21,3	4,679	2,153	0,585	0,080	0,244	4,654	0,252	1,014	-	-
2012	Godów	39,9	3,326	2,618	1,428	0,024	0,110	0,769	0,262	2,142	-	-
	Osieczów	17,0	2,212	1,314	0,081	0,012	0,012	0,182	0,112	0,946	1,11	5,10
	Puszcza Borecka	13,8	2,077	1,485	0,030	0,014	0,053	0,149	0,093	0,743	0,60	3,28
	Zielonka	15,5	1,747	1,448	0,154	0,012	0,089	0,122	0,100	0,943	0,68	4,56
	Złoty Potok	17,9	4,205	1,860	0,317	0,047	0,321	2,035	0,139	1,345	-	-
2013	Godów	38,4	3,852	2,708	1,202	0,019	0,124	0,435	0,225	2,491	2,15	13,66
	Osieczów	17,6	2,649	1,400	0,049	0,008	0,032	0,203	0,087	1,075	0,81	5,37
	Puszcza Borecka	12,8	1,830	1,028	0,017	0,011	0,041	0,133	0,078	0,790	0,51	3,04
	Zielonka	14,5	2,302	1,473	0,197	0,012	0,107	0,116	0,103	0,881	0,52	3,79
	Złoty Potok	23,0	3,414	1,749	0,201	0,025	0,144	0,397	0,095	1,809	1,51	8,07
2014	Godów	40,0	3,546	2,230	1,432	0,016	0,088	0,237	0,238	2,440	2,51	16,06
	Osieczów	16,0	2,616	1,164	0,049	0,010	0,033	0,130	0,095	1,060	0,78	5,48
	Puszcza Borecka	13,8	2,103	1,437	0,075	0,015	0,063	0,167	0,108	1,143	0,48	2,94
	Zielonka	14,6	2,165	1,630	0,213	0,008	0,089	0,113	0,109	1,315	0,70	6,10
	Złoty Potok	21,3	3,206	1,391	0,191	0,024	0,190	0,360	0,136	1,602	1,27	6,44
2015	Godów	34,9	3,015	2,380	1,128	0,020	0,091	0,186	0,215	2,051	1,89	13,87
	Osieczów	14,6	2,277	1,511	0,055	0,012	0,039	0,185	0,108	0,974	0,75	4,67
	Puszcza Borecka	12,5	1,669	1,667	0,059	0,016	0,082	0,152	0,114	1,021	0,48	3,51
	Zielonka	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Złoty Potok	18,6	2,654	1,428	0,129	0,022	0,093	0,368	0,150	1,358	1,47	7,76

Rok	Stacja	PM _{2,5}	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	EC	OC
[µg/m ³]												
2016	Godów	32,6	3,077	2,095	1,019	0,016	0,089	0,151	0,198	1,971	2,32	14,71
	Osieczów	16,8	2,142	1,624	0,154	0,011	0,029	0,214	0,096	0,964	0,97	5,14
	Puszcza Borecka	11,4	1,461	1,370	0,053	0,008	0,036	0,098	0,073	0,855	0,47	3,02
	Zielonka	12,2	1,702	1,747	0,132	0,010	0,103	0,091	0,093	0,834	0,68	4,35
	Złoty Potok	18,6	2,542	1,458	0,180	0,013	0,066	0,176	0,132	1,182	1,41	6,85
2017	Godów	29,7	2,705	2,237	0,679	0,018	0,082	0,408	0,187	1,776	2,39	14,78
	Osieczów	16,2	2,213	1,502	0,078	0,012	0,030	0,146	0,098	1,018	0,71	5,09
	Puszcza Borecka	11,8	1,309	1,494	0,127	0,010	0,040	0,115	0,065	0,591	0,40	2,94
	Zielonka	11,7	1,673	1,407	0,119	0,013	0,176	0,089	0,086	1,075	0,44	3,95
	Złoty Potok	19,9	2,499	1,563	0,137	0,015	0,051	0,168	0,136	1,273	1,37	6,80
2018	Godów	38,5	3,065	2,744	1,072	0,012	0,069	0,158	0,201	2,216	2,66	18,49
	Osieczów	17,1	2,023	1,819	0,150	0,011	0,039	0,200	0,089	0,798	0,58	4,57
	Puszcza Borecka	12,1	1,673	1,453	0,090	0,015	0,078	0,185	0,101	0,812	0,38	3,33
	Zielonka	13,9	1,805	1,583	0,137	0,009	0,160	0,082	0,089	0,980	0,42	4,98
	Złoty Potok	20,0	2,454	1,888	0,143	0,009	0,025	0,152	0,127	1,419	1,41	8,15
2019	Godów	30,6	2,314	2,125	0,784	0,017	0,134	0,265	0,174	1,357	1,73	12,79
	Osieczów	13,1	1,669	1,286	0,102	0,010	0,029	0,221	0,071	0,632	0,61	3,59
	Puszcza Borecka	11,1	1,388	1,421	0,105	0,011	0,056	0,138	0,072	0,741	0,39	2,79
	Zielonka	9,6	1,222	0,993	0,101	0,004	0,087	0,073	0,058	0,820	0,34	3,38
	Złoty Potok	16,1	2,034	1,285	0,075	0,015	0,056	0,272	0,097	1,000	0,80	5,60
2020	Godów	26,5	1,988	1,743	0,546	0,015	0,400	0,095	0,170	1,155	1,63	10,73
	Osieczów	11,5	1,435	1,179	0,128	0,013	0,037	0,262	0,055	0,410	0,53	3,24
	Puszcza Borecka	9,1	1,163	0,991	0,083	0,012	0,047	0,098	0,062	0,535	0,30	2,47
	Zielonka	8,6	1,034	0,990	0,121	0,011	0,157	0,093	0,066	0,282	0,40	2,77
	Złoty Potok	14,7	1,933	1,020	0,127	0,013	0,079	0,234	0,118	0,789	0,92	5,46
2021	Godów	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Osieczów	12,3	1,538	1,206	0,086	0,007	0,082	0,086	0,039	0,601	0,60	3,71
	Puszcza Borecka	9,6	1,094	1,171	0,046	0,010	0,033	0,057	0,068	0,704	0,35	2,70
	Zielonka	8,7	1,173	1,187	0,134	0,010	0,151	0,150	0,068	0,444	0,45	2,88
	Złoty Potok	15,6	1,940	1,276	0,063	0,011	0,103	0,165	0,106	1,009	0,93	6,01
2022	Godów	22,7	2,050	1,634	0,521	0,011	0,067	0,098	0,151	1,205	1,57	8,66
	Osieczów	12,9	1,472	1,004	0,078	0,012	0,049	0,107	0,065	0,633	0,57	3,03
	Puszcza Borecka	9,3	1,060	1,059	0,079	0,012	0,027	0,087	0,073	0,596	0,32	2,67
	Zielonka	8,4	1,058	1,191	0,114	0,012	0,098	0,298	0,075	0,285	0,30	2,93
	Złoty Potok	14,2	1,727	1,027	0,107	0,017	0,105	0,221	0,095	0,866	0,76	5,07
2023	Godów	16,3	1,599	1,227	0,346	0,007	0,107	0,081	0,094	0,940	0,94	6,19
	Osieczów	11,1	1,357	0,740	0,045	0,014	0,028	0,064	0,050	0,579	0,45	3,79
	Puszcza Borecka	8,7	1,029	0,910	0,062	0,010	0,038	0,111	0,059	0,659	0,31	2,63
	Zielonka	8,4	1,096	1,040	0,115	0,015	0,100	0,117	0,068	0,223	0,38	2,52
	Złoty Potok	14,5	1,549	0,846	0,054	0,010	0,178	0,162	0,044	0,775	0,60	4,41
2024	Godów	18,8	1,783	1,260	0,381	0,007	0,041	0,092	0,138	1,025	0,827	6,829
	Osieczów	9,7	1,483	0,960	0,069	0,016	0,046	0,133	0,070	0,588	0,497	3,936
	Puszcza Borecka	9,7	1,150	1,023	0,061	0,023	0,044	0,132	0,060	0,595	0,304	2,094
	Zielonka	8,1	1,259	0,941	0,107	0,015	0,119	0,112	0,076	0,287	0,373	2,995
	Złoty Potok	14,3	1,628	0,850	0,037	0,010	0,048	0,104	0,100	0,863	0,618	4,989
średnia 2011- 2023	Godów	32,7	2,874	2,210	0,970	0,016	0,120	0,284	0,201	1,846	1,980	12,994
	Osieczów	15,1	2,022	1,321	0,087	0,011	0,037	0,164	0,084	0,838	0,768	4,545
	Puszcza Borecka	11,5	1,535	1,301	0,068	0,012	0,052	0,137	0,083	0,767	0,428	2,965
	Zielonka	11,8	1,563	1,346	0,139	0,011	0,118	0,122	0,085	0,763	0,516	3,872
	Złoty Potok	18,1	2,680	1,457	0,178	0,023	0,127	0,720	0,125	1,188	1,131	6,419

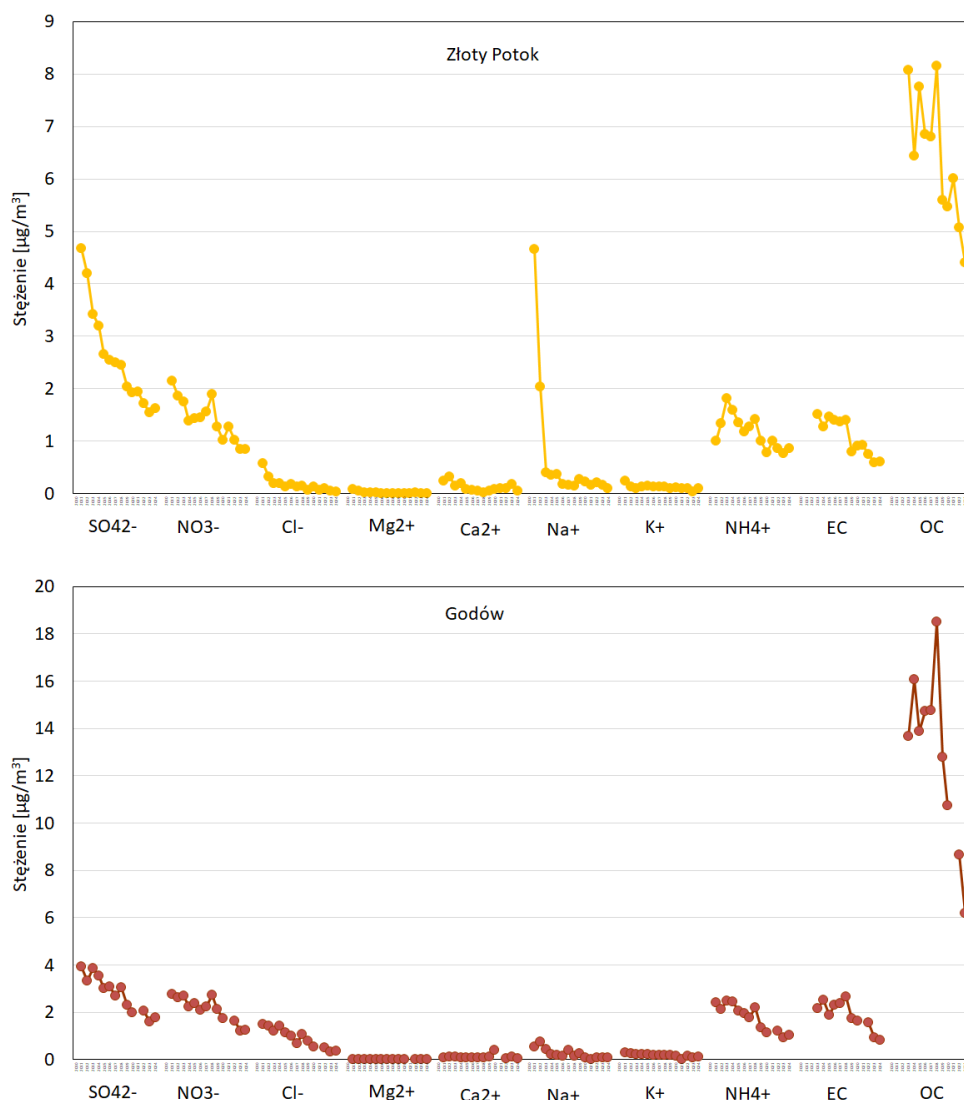
Godów - stacja monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń

* dane z Zielonki za rok 2015 i z Godowa za rok 2021 pominięte z powodu zbyt niskiej kompletności

Na rysunkach 6.2.3 i 6.2.4 przedstawiono wartości średnich rocznych stężeń wszystkich substancji badanych w pyłe zawieszonym PM_{2,5} w okresie objętym pomiarami na każdej ze stacji (dla stacji Godów i Złoty Potok przyjęto inne skale, niż dla trzech pozostałych).



Rys. 6.2.3. Stężenia średnie roczne substancji badanych w pyłe zawieszonym PM_{2,5} na stacjach tła regionalnego Osieczów, Puszcza Borecka i Zielonka w latach 2011-2024. Dane z Zielonki z roku 2015 pominięte ze względu na zbyt niską kompletność serii pomiarowej (źródło danych: PMŚ)



Rys. 6.2.4. Stężenia średnie roczne substancji badanych w pyłe zawieszonym PM_{2,5} na stacji tła regionalnego Złoty Potok i stacji monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń Godów w latach 2011-2024. Dane z Godowa z roku 2021 pominięte ze względu na zbyt niską kompletność serii pomiarowej (źródło danych: PMŚ)

W 2024 roku w stosunku do wartości z 2023 roku wzrosły wszędzie stężenia jonów siarczanowego i potasowego. Na czterech stacjach wzrosły stężenia węgla organicznego i jonu amonowego (na wszystkich ocenianych stacjach poza Puszcą Borecką) oraz jonu azotanowego (poza Zielonką) i magnezowego (poza Złotym Potokiem). Na trzech stacjach większe były stężenia średnie roczne jonu wapniowego (poza Godowem i Złotym Potokiem) i sodowego (poza Zielonką i Złotym Potokiem). Tylko na dwóch stacjach wzrosły stężenia jonu chlorkowego (za wyjątkiem Godowa i Osieczowa) i węgla elementarnego (za wyjątkiem Osieczowa i Złotego Potoku) (Tab. 6.2.5). W grupie anionów: dla SO_4^{2-} wzrosty wyniosły od 5% do 15%, dla NO_3^- wzrosty wyniosły od 0,5% do 30% a spadek 9%, natomiast dla Cl^- wzrosty wyniosły od 10% do 54% a spadki od 2 do 31%. W grupie kationów: dla K^+ odnotowano wzrosty od 2% do 124%, dla NH_4^+ wzrosty wyniosły od 1% do 29%, a spadek 10%, dla Na^+ wzrosty od 14% do 109% a spadki od 4% do 36%, dla Mg^{2+} wzrosty osiągnęły od 3% do 122%, a spadek 0,4%, dla Ca^{2+} wzrosty były na poziomie od 16% do 62%, a spadki sięgnęły od 62% do 73%. Względne zmiany stężenia węgla sięgały odpowiednio od -12% do 10% dla węgla

elementarnego i od -20% do 19% dla węgla organicznego. Największy wzrost odnotowano dla K⁺ w Żółtym Potoku (124%), a największy spadek dla Ca²⁺ na tej samej stacji (73%).

*Tabela 6.2.5. Zmiany względne stężenia średniego rocznego pyłu zawieszonego PM_{2,5} oraz substancji w nim oznaczanych w roku 2024 w stosunku do roku 2023.
Dane z Godowa z 2021 roku unieważnione (źródło danych: PMŚ)*

Stacja	PM _{2,5}	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	EC	OC
	[%]										
Godów	15,2	11,5	2,6	10,1	4,6	-61,9	13,8	47,2	9,0	-11,7	10,3
Osieczów	-12,6	9,2	29,6	53,7	15,2	62,4	109,4	38,2	1,5	9,7	3,8
Puszcza Borecka	11,8	11,8	12,4	-2,4	121,9	16,1	18,3	1,6	-9,7	-3,4	-20,4
Zielonka	-3,8	14,9	-9,5	-7,2	3,0	19,1	-4,2	12,1	28,9	-1,8	19,0
Żółty Potok	-1,4	5,1	0,5	-31,2	-0,4	-73,0	-36,0	124,4	11,3	2,9	13,1

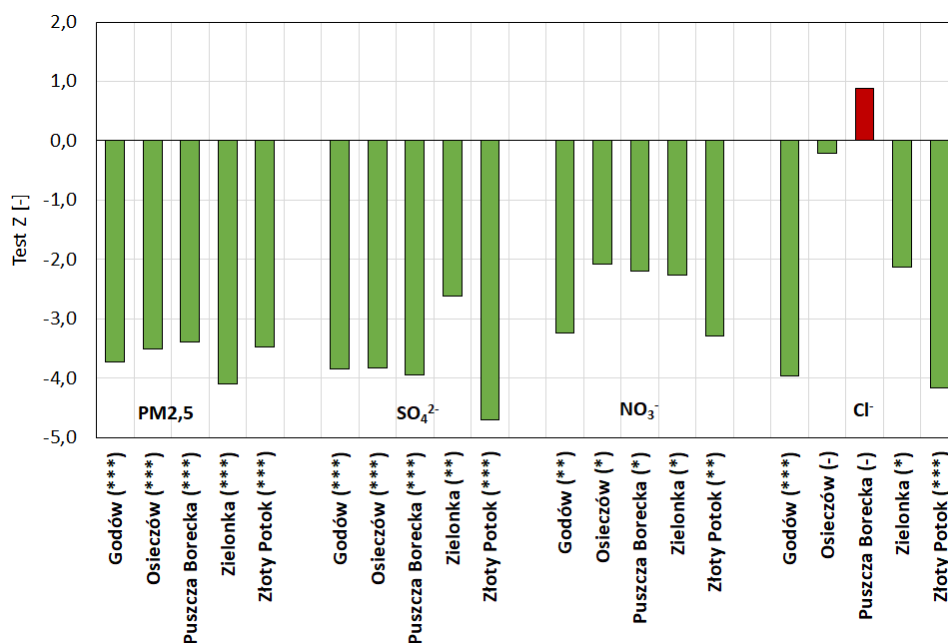
Podobną analizę przeprowadzono odnosząc średnie stężenia z roku 2024 do wartości średnich z okresu 2011-2023, lub krótszego, dla którego dostępne są dane pomiarowe.

W 2024 roku w stosunku do wartości średnich z wielolecia 2011-2023 na stacjach tła regionalnego oraz w Godowie zmalały stężenia pyłu zawieszonego PM_{2,5} i większości badanych w nim składników (Tab. 6.2.6). Zmiany stężeń składników pyłu zawieszonego PM_{2,5} w stosunku do wartości średnich z wielolecia wynosiły na ogół od kilkunastu do kilkudziesięciu procent. Wyższe niż średnie z wielolecia były jedynie stężenia jonów magnezowych w Osieczowie, Puszczy Boreckiej i Zielonce (odpowiednio o 45%, 81% i 44%) i wapniowych w Osieczowie (o 24%) i Zielonce (o 1%).

Tabela 6.2.6. Zmiany względne stężenia średniego rocznego pyłu zawieszonego PM_{2,5} oraz substancji w nim oznaczanych w roku 2024 w stosunku do wartości średniej z wielolecia (źródło danych: PMŚ)

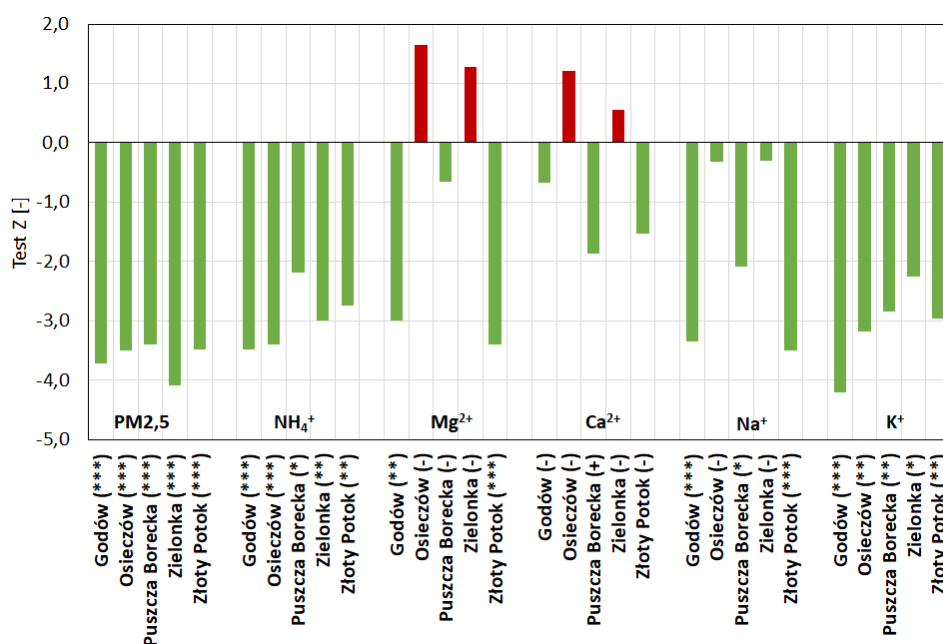
Stacja	PM _{2,5}	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	EC	OC
	[%]										
Godów	-42,4	-38,0	-43,0	-60,7	-56,2	-65,9	-67,7	-31,6	-44,5	-58,2	-47,4
Osieczów	-35,8	-26,7	-27,4	-21,0	44,9	24,5	-18,4	-16,5	-29,9	-35,3	-13,4
Puszcza Borecka	-15,1	-25,1	-21,4	-10,6	81,4	-16,1	-4,0	-27,5	-22,4	-29,0	-29,4
Zielonka	-31,8	-19,5	-30,1	-23,2	43,9	1,0	-8,6	-10,2	-62,4	-31,0	-21,2
Żółty Potok	-21,1	-39,2	-41,7	-79,2	-55,1	-62,3	-85,6	-20,4	-27,3	-45,4	-22,3

Analiza statystyczna wykazała istnienie spadkowych trendów stężenia pyłu zawieszonego PM_{2,5}, siarczanów, azotanów i chlorków na wszystkich stacjach, poza Osieczowem i Puszcą Borecką w przypadku chlorków. Widoczne są malejące trendy o różnym stopniu istotności: największe i najbardziej istotne statystycznie (***) trendy malejące stwierdzono dla: pyłu zawieszonego PM_{2,5} na wszystkich stacjach, siarczanów na wszystkich stacjach poza Zielonką, chlorków w Godowie i Żółtym Potoku (Rys. 6.2.5). Jedynie stężenia chlorków w Puszczy Boreckiej wykazały tendencję wzrostową.



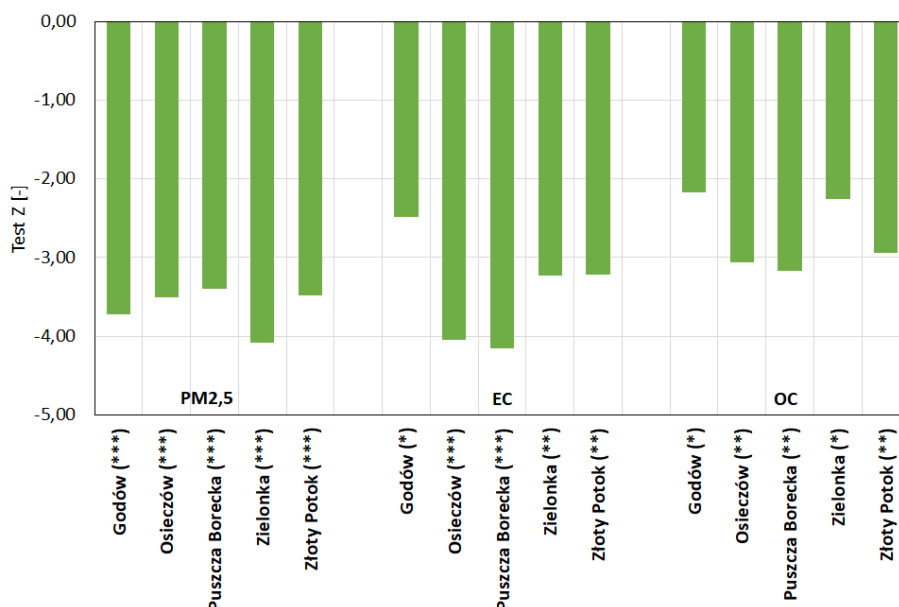
Rys. 6.2.5. Trendy i tendencje zmian stężeń średnich rocznych pyłu zawieszonego PM2,5 i zawartych w nim anionów na stacjach tła regionalnego i w Godowie w latach 2011- 2024 (źródło danych: PMŚ)

Wśród wyników stężeń kationów w pyłe zawieszonym PM2,5 tylko dla jonów amonowego i potasowego odnotowano trendy malejące na wszystkich stacjach (w Godowie dla potasu największy i jedyny o największej istotności statystycznej). Dla jonu magnezowego istotne statystycznie trendy malejące zaznaczyły się tylko w Złotym Potoku i Godowie, dla jonu sodowego trend malejący widoczny jest w Godowie, Złotym Potoku i Puszczy Boreckiej. Dla jonu wapniowego trend malejący o niewielkiej istotności statystycznej można zauważyć jedynie w Puszczy Boreckiej. Dla jonu magnezowego i wapniowego odnotowano nieznaczną tendencję rosnącą stężenia średniego rocznego w Osieczowie i Zielonce (Rys. 6.2.6).



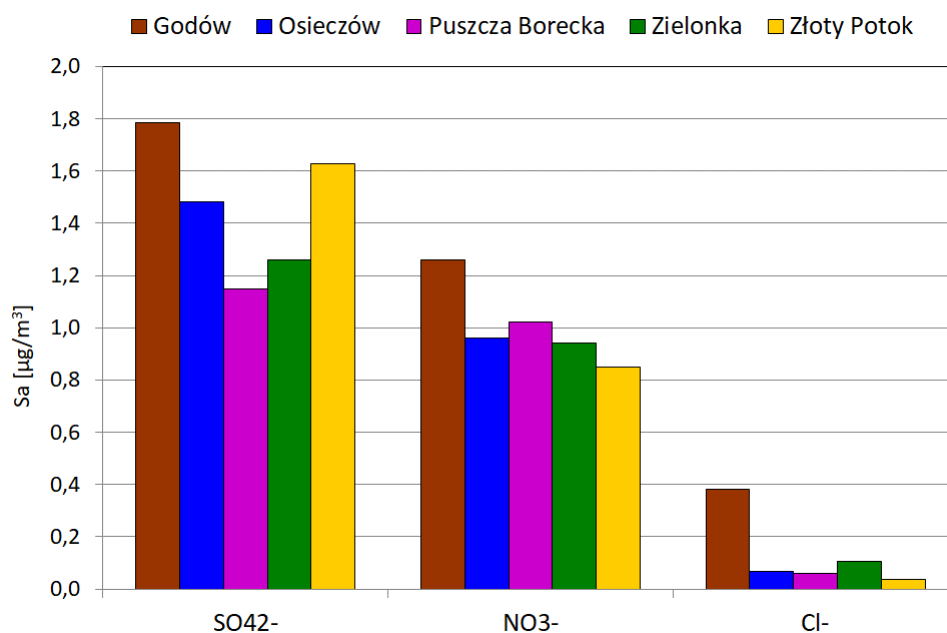
Rys. 6.2.6. Trendy i tendencje zmian stężeń średnich rocznych pyłu zawieszonego PM2,5 i zawartych w nim kationów na stacjach tła regionalnego i w Godowie w latach 2011-2024 (źródło danych: PMŚ)

W przypadku węgla elementarnego (EC) i organicznego (OC) na wszystkich stacjach odnotowano trend malejący o różnym stopniu istotności statystycznej (przy czym w Godowie i Złotym Potoku wyniki pomiarów EC i OC są dostępne od 2013 r., a dodatkowo brakuje danych z Godowa z 2021 r., więc serie poddane analizie są krótsze, niż dla pozostałych stacji). Dla węgla elementarnego najbardziej istotny trend (***) zaobserwowano w Osieczowie i w Puszczy Boreckiej, następnie w Zielonce i Złotym Potoku (**), a najmniej znaczący w Godowie. Dla węgla organicznego trendy były mniej istotne statystycznie (Rys. 6.2.7).



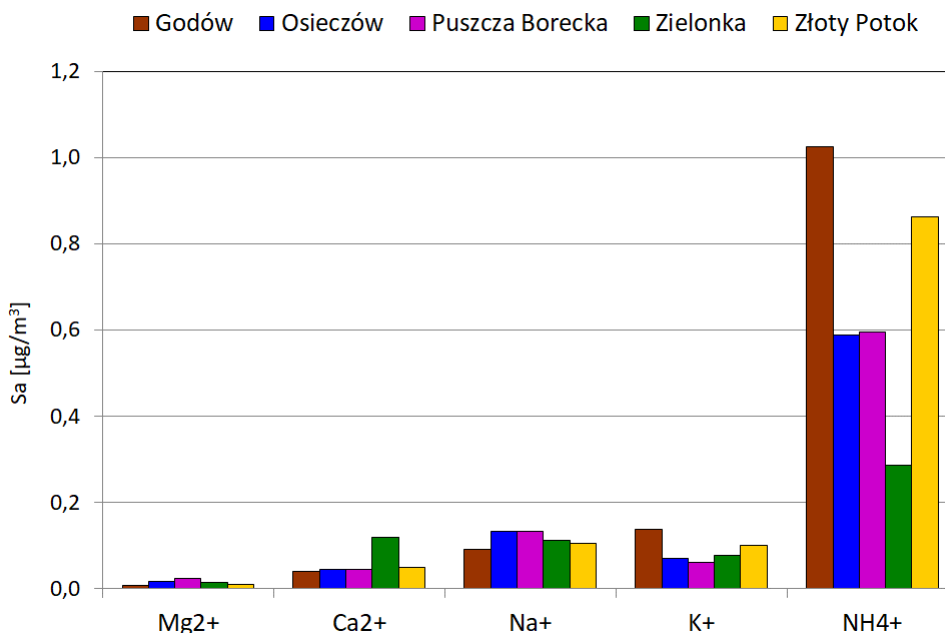
Rys. 6.2.7. Trendy i tendencje zmian stężeń średnich rocznych pyłu zawieszonego PM_{2,5} i zawartych w nim węgla organicznego i elementarnego na stacjach tła regionalnego i w Godowie w latach 2011-2024 (źródło danych: PMŚ)

Najwyższe stężenia siarczanów, azotanów i chlorków oznaczanych w pyłe zawieszonym PM_{2,5} wystąpiły w 2024 roku na stacji monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń w Godowie. Ale dla poszczególnych zanieczyszczeń występowały różnice wartości wśród stacji tła regionalnego. W przypadku siarczanów najwyższą wartość średnią roczną stężenia odnotowano na stacji Złoty Potok, zaś najniższe na stacjach Zielonka i Puszcza Borecka (Rys. 6.2.8). W przypadku azotanów najwyższe stężenie notowano (po Godowie) w Puszczy Boreckiej, następnie w Osieczowie i Zielonce, a najniższe w Złotym Potoku. Inaczej wyglądała sytuacja dla chlorków: najwyższe stężenie spośród stacji tła regionalnego odnotowano w Zielonce, zbliżone do siebie były wartości z Puszczy Boreckiej i Osieczowa a minimum stwierdzono dla Złotego Potoku. Wśród anionów dominował jon siarczanowy, na drugim miejscu był jon azotanowy, zaś najmniej było jonu chlorkowego. Najbardziej zbliżone wartości na wszystkich stacjach tła regionalnego zaobserwowano w przypadku jonów azotanowego i chlorkowego (przy różnych poziomach dla tych składników).



Rys. 6.2.8. Stężenia średnie roczne anionów w pyłe zawieszonym PM_{2,5} na stacjach tła regionalnego i w Godowie w 2024 roku. (źródło danych: PMŚ)

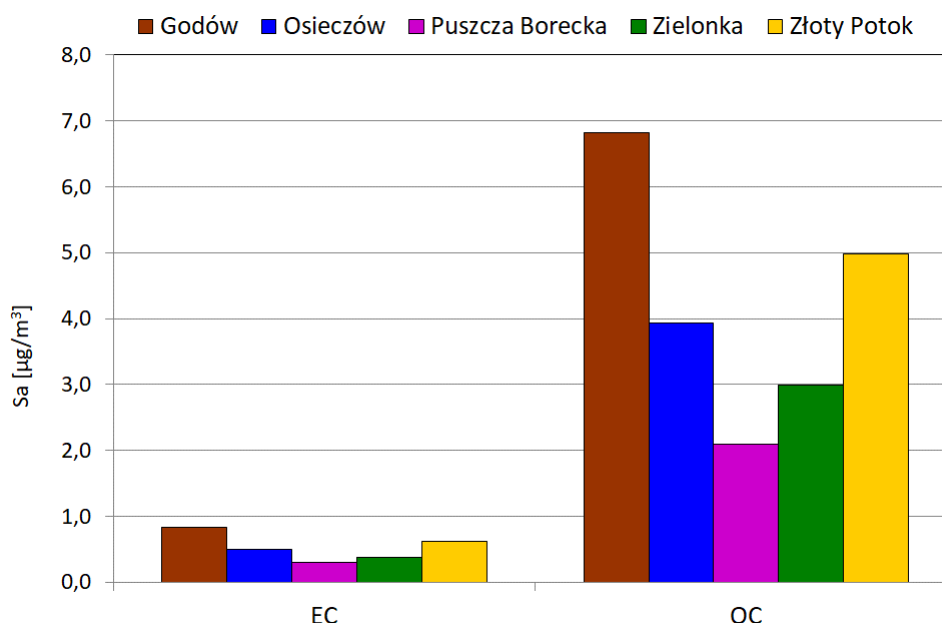
Dla kationów maksima odnotowano na różnych stacjach – jonów amonowego i potasowego w Godowie, a następnie w Złotym Potoku, jonu wapniowego w Zielonce, a dla jonu sodowego i magnezowego wartości ze wszystkich stacji były zbliżone, z nieznaczną przewagą Osieczowa i Puszczy Boreckiej dla Na⁺ i Puszczy Boreckiej dla Mg²⁺ (Rys. 6.2.9). Najmniejsze wartości dla poszczególnych składników notowano na różnych stacjach: dla Mg²⁺, Ca²⁺ i Na⁺ w Godowie, dla K⁺ w Puszczy Boreckiej a dla NH₄⁺ w Zielonce.



Rys. 6.2.9. Stężenia średnie roczne kationów w pyłe zawieszonym PM_{2,5} na stacjach tła regionalnego i w Godowie w 2024 roku. (źródło danych: PMŚ)

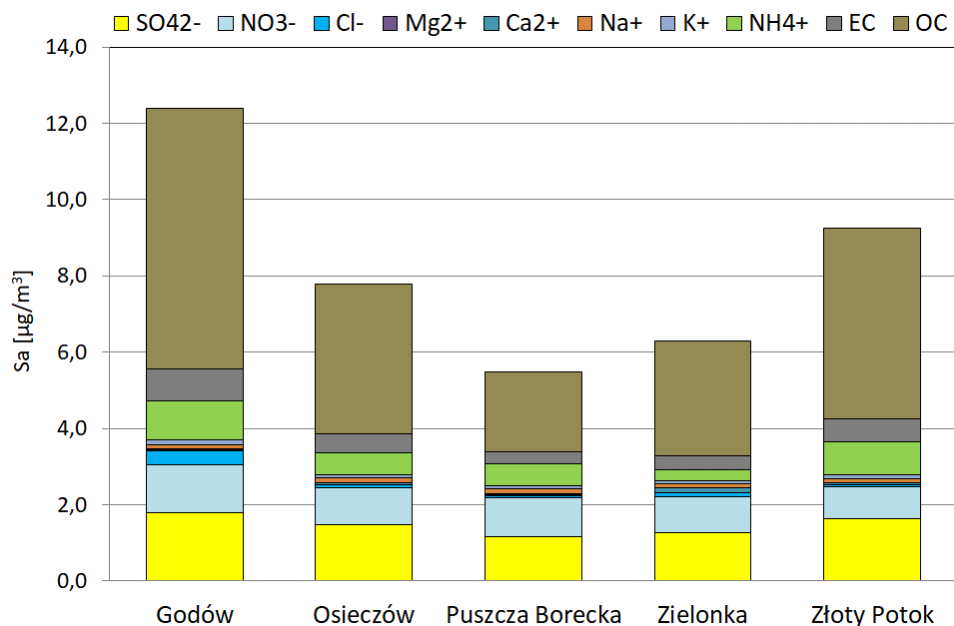
Podobnie, jak w latach wcześniejszych, wśród oznaczanych kationów dominował jon amonowy, zaś najmniej było jonu magnezowego. Najwyższe stężenia węgla

elementarnego i organicznego wystąpiły w Godowie i Żółtym Potoku, zaś najniższe w Puszczy Boreckiej i Zielonce (Rys. 6.2.10).



Rys. 6.2.10. Stężenia średnie roczne węgla elementarnego EC i organicznego OC na stacjach tła regionalnego i w Godowie w 2024 roku. (źródło danych: PMŚ)

Sumy stężeń substancji zawartych w pyłe zawieszonym $\text{PM}_{2,5}$ w skali roku na poszczególnych stacjach przedstawiono na rysunku 6.2.11. Na niemal wszystkich stacjach największymi udziałami w pyłe zawieszonym $\text{PM}_{2,5}$ w roku 2024 charakteryzowały się węgiel organiczny, siarczany i azotany, jedynie w Żółtym Potoku na trzecim miejscu znalazł się jon amonowy. W poprzednich latach zdarzało się, że zarówno w Zielonce, jak i w Puszczy Boreckiej na drugim miejscu znajdował się jon azotanowy, ale nie zawsze było to regułą. W dalszej kolejności znajdował się jon amonowy, a w przypadku Godowa węgiel elementarny, który na pozostałych stacjach zajął piąte miejsce. Szóste miejsce zajmował na trzech stacjach – w Osieczowie, Puszczy Boreckiej i Żółtym Potoku - jon sodowy, w Zielonce jon wapniowy, a w Godowie jon chlorkowy. Na kolejnych dwóch miejscach na poszczególnych stacjach były jony chlorkowe, potasowe i sodowe, jedynie w Żółtym Potoku jon wapniowy. Następne miejsce przypadło jonowi wapniowemu w Osieczowie, Puszczy Boreckiej i Godowie, potasowemu w Zielonce i chlorkowemu w Żółtym Potoku. Najmniejsze stężenia obserwowane były na wszystkich stacjach dla jonu magnezowego (Tab. 6.2.9 i 6.2.11).



Rys. 6.2.11. Substancje oznaczone w pyle zawieszonym PM_{2,5} na stacjach tła regionalnego i w Godowie w 2024 roku (źródło danych: PMŚ)

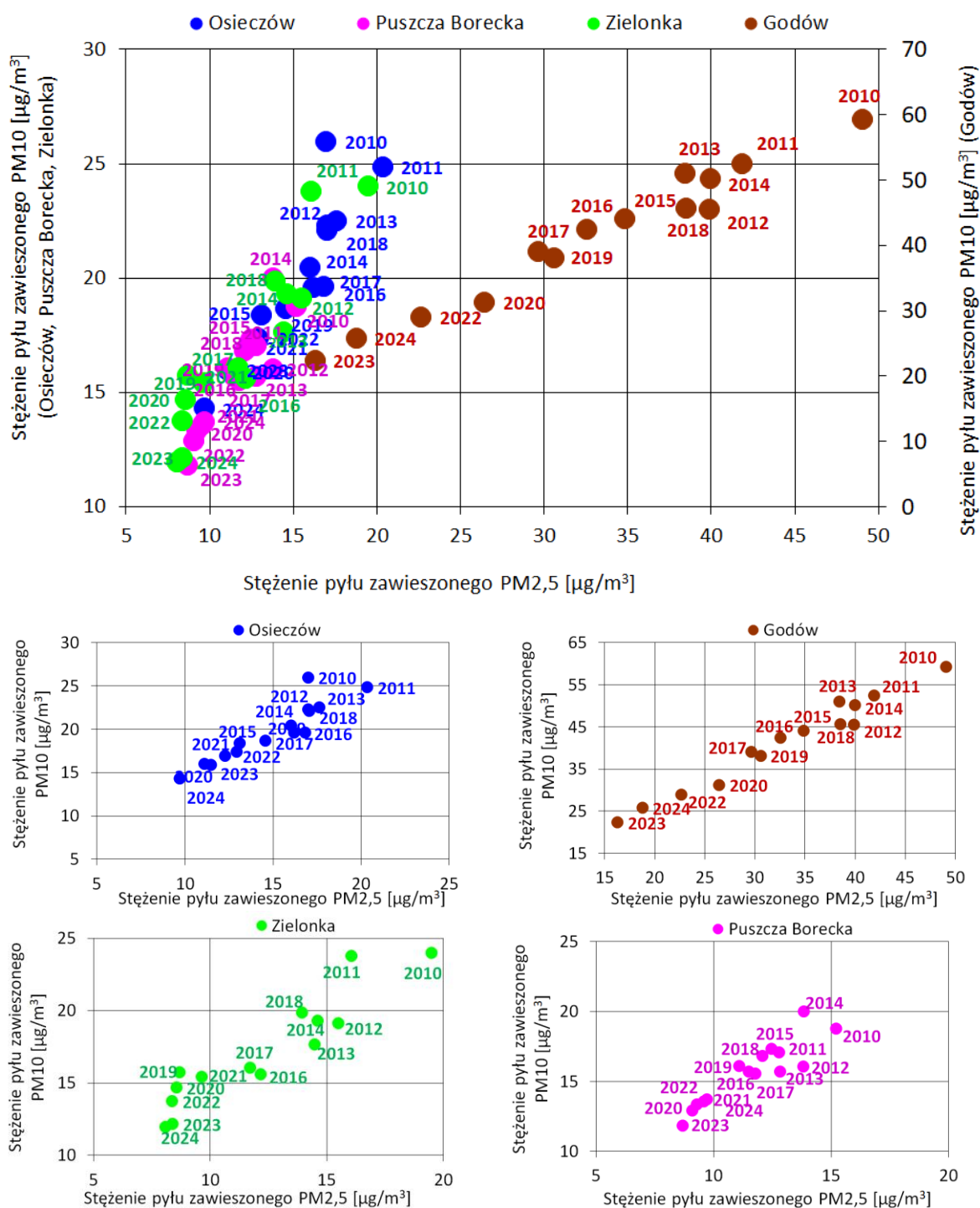
Tab. 6.2.9. Kolejność występowania składników w pyle zawieszonym PM_{2,5} ze względu na stężenie średnie roczne w 2024 roku (źródło danych: PMŚ)

Godów	OC	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	EC	Cl ⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Osieczów	OC	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	EC	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Puszcza Borecka	OC	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	EC	Na ⁺	Cl ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Zielonka	OC	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	EC	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻	K ⁺	Mg ²⁺
Złoty Potok	OC	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	EC	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	Mg ²⁺

Z przeprowadzonych analiz wynika, iż na wszystkich stacjach między 56% (Puszcza Borecka) a 80% (Osieczów) masy zbieranych próbek pyłu zawieszonego PM_{2,5} stanowiły w 2024 roku substancje, które zostały oznaczone. Należy podkreślić, że na większości stacji węgiel organiczny i elementarny był oznaczany co drugi dzień, a jedynie w Puszczy Boreckiej codziennie. Bilans wykonano dla uśrednionych wartości rocznych stężenia poszczególnych składników.

6.3. Udział pyłu zawieszonego PM_{2,5} w pyłe PM₁₀

W niniejszym rozdziale przedstawiono analizę dotyczącą udziału pyłu zawieszonego PM_{2,5} w pyłe PM₁₀ na stacjach tła regionalnego Osieczów, Puszcza Borecka i Zielonka oraz na stacji podmiejskiej Godów, w latach 2010-2024. Na rys. 6.3.1. pokazano stężenia obu frakcji pyłu na poszczególnych stacjach. W analizach pominięto dane dla pyłu zawieszonego PM_{2,5} ze stacji Zielonka z roku 2015 i ze stacji w Godowie z roku 2021 ze względu na to, że serie pomiarowe nie spełniały kryterium kompletności.



Rys. 6.3.1. Stężenie średnie roczne pyłu zawieszonego PM_{2,5} i pyłu zawieszonego PM₁₀ na stacjach tła regionalnego oraz na stacji Godów w latach 2010-2024 (źródło danych: PMŚ).

Wyniki analiz przedstawione w rozdziałach 6.1 i 6.2, zebrane na rys. 6.3.1 pokazują, że najwyższe stężenia pyłu zawieszonego PM_{2,5} w okresie 2010-2024 na poszczególnych stacjach tła regionalnego wystąpiły w latach 2010 (Godów, Puszcza Borecka i Zielonka) i 2011 (Osieczów). W przypadku pyłu zawieszonego PM₁₀ najwyższe stężenia wystąpiły na wszystkich stacjach w roku 2010, z wyjątkiem Puszczy Boreckiej (maksimum w roku 2014).

W roku 2024 odnotowano spadek stężeń obu frakcji pyłu na wszystkich stacjach tła oraz w Godowie w stosunku do wartości z wielolecia, przy czym skala zmian stężenia z roku na rok była porównywalna w przypadku pyłu zawieszonego PM₁₀ i PM_{2,5}. W Osieczowie i Zielonce stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ i PM_{2,5} osiągnęły w 2024 roku najniższe wartości w wieloleciu.

Tab. 6.3.1. Udział pyłu PM_{2,5} w pyłe PM₁₀ w roku na stacjach tła regionalnego oraz na stacji podmiejskiej (Godów) w latach 2010-2024 (źródło danych: PMŚ)

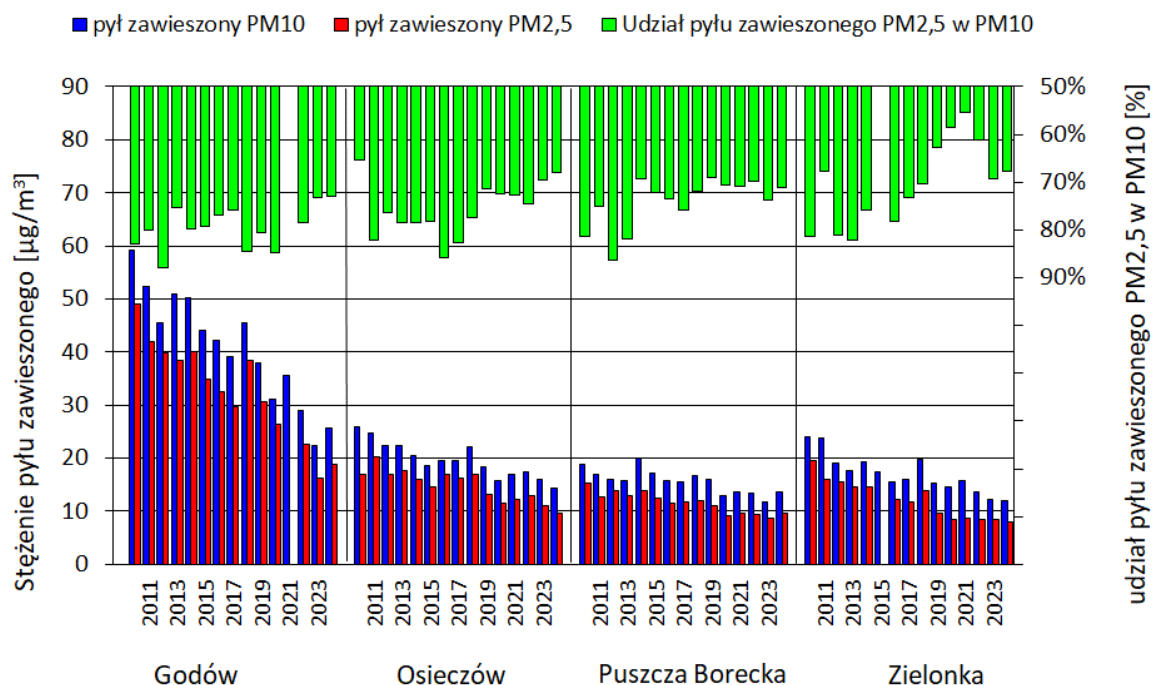
Udział	Godów	Osieczów	Puszcza Borecka	Zielonka
2010	83,0%	65,5%	81,2%	81,3%
2011	80,0%	82,0%	75,1%	67,6%
2012	87,8%	76,3%	86,2%	81,1%
2013	75,4%	78,3%	81,9%	82,1%
2014	79,7%	78,4%	69,3%	75,8%
2015	79,2%	78,1%	72,2%	-
2016	77,0%	85,9%	73,3%	78,1%
2017	75,9%	82,8%	75,9%	73,1%
2018	84,6%	77,3%	72,0%	70,3%
2019	80,5%	71,3%	69,1%	62,6%
2020	84,8%	72,4%	70,7%	58,4%
2021	-	72,6%	70,8%	55,3%
2022	78,5%	74,6%	69,7%	61,1%
2023	73,2%	69,5%	73,7%	69,2%
2024	73,0%	68,0%	71,0%	67,8%
Śr. 2010-2023	80,0%	76,1%	74,4%	70,5%

*Godów - stacja monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń (podmiejska)
Dane ze stacji Zielonka z 2015 r. i Godów z 2021 r. unieważnione ze względu na zbyt niską
kompletność serii pomiarów pyłu zawieszonego PM_{2,5}*

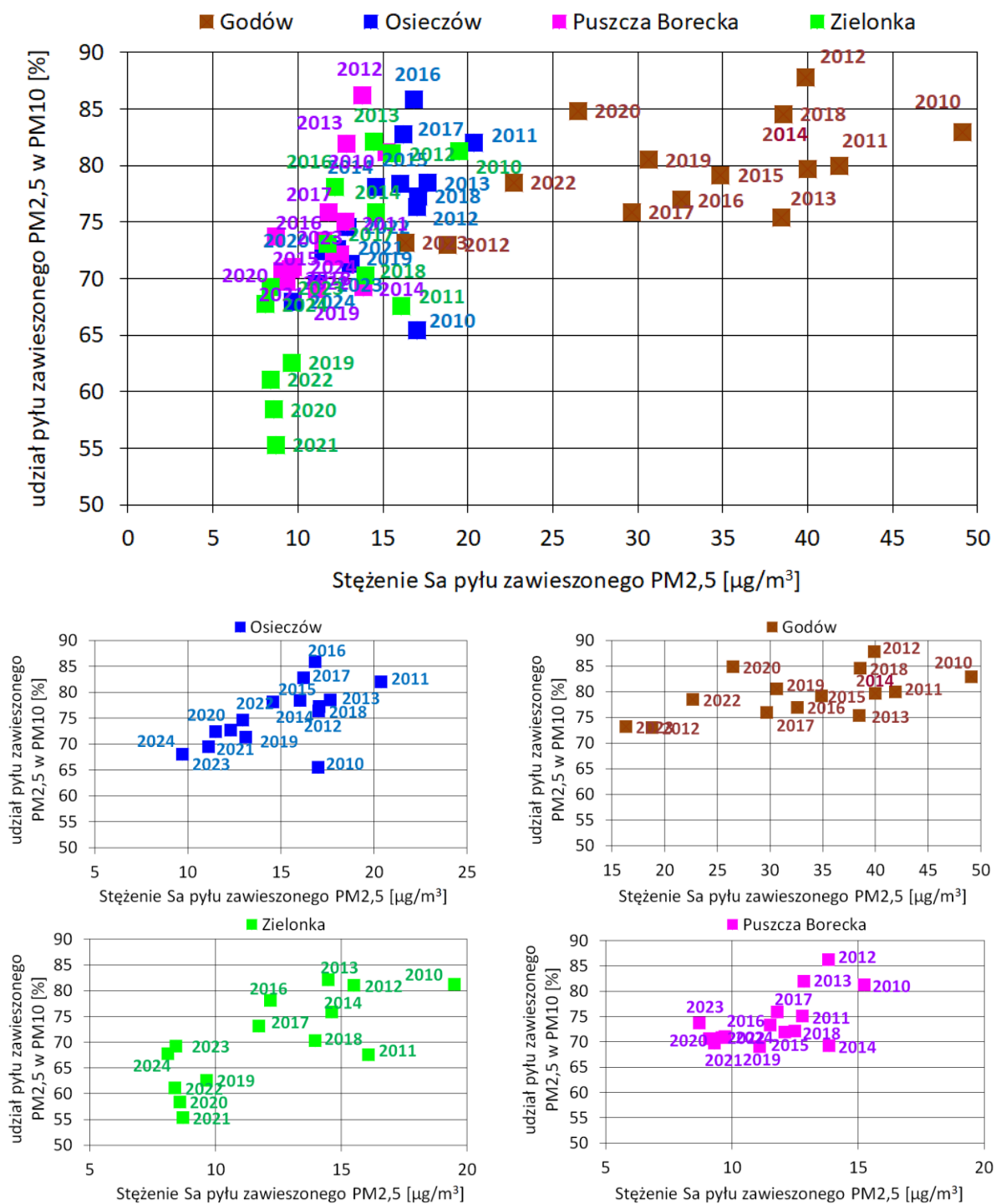
Na stacjach tła regionalnego udziały zawartości pyłu zawieszonego PM_{2,5} w PM₁₀ w okresie 2010-2024 zawierały się w granicach od 55,3% do 87,8%. Najwyższe wartości tego wskaźnika dla poszczególnych stacji zaobserwowano w roku 2012 na stacjach Godów i Puszcza Borecka (ponad 87% i 86%), w 2016 w Osieczowie (86%), w 2020 w Godowie (85% przy obniżonej do 82% kompletności serii pomiarowej) i w 2017 w Osieczowie (83%) - Tab. 6.3.1, Rys. 6.3.2-6.3.3. Najniższe udziały w okresie 2010-2024 spośród rozważanych stacji tła regionalnego zanotowano w Zielonce w 2021 (55,3%), Osieczowie w roku 2010 (65,5%), Puszczy Boreckiej w 2019 (69,1%) a w Godowie w 2024 (73,0%).

Uzyskane wyniki pokazują, że w roku 2024 na wszystkich analizowanych stacjach udział pyłu zawieszonego PM_{2,5} w PM₁₀ był mniejszy niż średni w latach 2010-2023. Różnice były większe na stacjach zlokalizowanych na północy kraju, a mniejsze na stacjach na południu.

W ostatnich latach najmniejsze udziały pyłu zawieszonego PM_{2,5} w PM₁₀ obserwowano na stacji w Zielonce, nieco większe w Puszczy Boreckiej i Osieczowie, a największe w Godowie. Na początku pomiarów różnice dla tego parametru pomiędzy stacjami były mniejsze.



Rys. 6.3.2. Udział pyłu zawieszonego PM_{2,5} w PM₁₀ w roku na tle stężeń średnich rocznych pyłu zawieszonego PM_{2,5} i PM₁₀ na stacjach tła regionalnego oraz na stacji Godów w latach 2010-2024 (źródło danych: PMŚ)

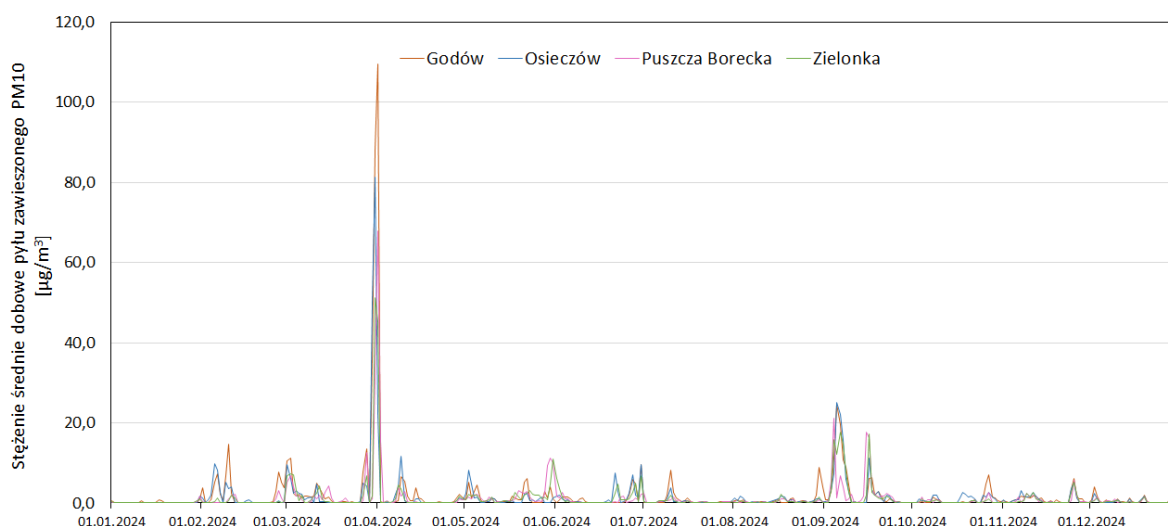


Rys. 6.3.3. Udział pyłu zawieszonego PM_{2,5} w PM₁₀ w roku na tle stężeń średnich rocznych pyłu PM_{2,5} na stacjach tła oraz na stacji Godów w latach 2010-2024 (źródło danych: PMŚ)

6.4. Stężenie pyłu podczas dni z napływem powietrza zwrotnikowego znad północnej Afryki nad Polskę

W pewnych specyficznych warunkach wielkość stężenia pyłu w Polsce może być kształtowana przez pył pochodzenia saharyjskiego, gdy napływa do kraju powietrze zwrotnikowe znad północnej Afryki. W niniejszym rozdziale przedstawiono wyniki analizy udziału pyłu pochodzenia afrykańskiego w stężeniach pyłu zawieszonego PM₁₀, zmierzonych na stacjach tła regionalnego (bez Złotego Potoku). Dla poszczególnych stacji tła regionalnego Osieczów, Zielonka i Puszcza Borecka i stacji monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń w Godowie, obliczono wielkości stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ przypisywane napływowi znad suchych obszarów Afryki. Informacje o wielkości napływu uzyskano dzięki wykorzystaniu danych pochodzących z europejskiego Serwisu Monitoringu Atmosfery Copernicus (CAMS - Copernicus Atmosphere Monitoring Service).²¹ W ramach serwisu dedykowanego prognozie i analizie jakości powietrza w skali regionalnej CAMS2_40, dostarczane są codzienne prognozy i analizy rozkładu stężeń zanieczyszczeń powietrza nad obszarem Europy. CAMS2_40 udostępnia m.in. stężenia pyłu mineralnego pochodzącego z pustyń poza obszarem Europy. Wykorzystując te informacje obliczono, jaką część stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ w danym dniu można przypisać napływowi znad obszarów pustynnych.

Na podstawie rocznego przebiegu stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀, przypisywanych napływowi (Rys. 6.4.1) wytypowano dni z epizodami podwyższonych stężeń, występujących w wyniku obecności pyłu pochodzącego znad suchych obszarów pustynnych. W tabelach i na wykresach w dalszej części rozdziału pokazano przypadki, gdy stężenie pyłu zawieszonego PM₁₀ przypisane napływowi znad Afryki przynajmniej na jednej z analizowanych stacji osiągnęło wartość powyżej 5 µg/m³ przez co najmniej dwa dni. Wyodrębniono dziesięć takich epizodów: dwa w lutym, dwa na przełomie lutego i marca, jeden na przełomie marca i kwietnia – najbardziej znaczący, jeden w kwietniu, jeden na przełomie maja i czerwca, jeden w czerwcu i dwa we wrześniu.



Rys. 6.4.1 Średnie dobowe stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ pochodzącego z napływu znad obszarów suchych na stacjach tła regionalnego oraz na stacji monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń w Godowie w 2024 roku (źródło danych: PMŚ i CAMS)

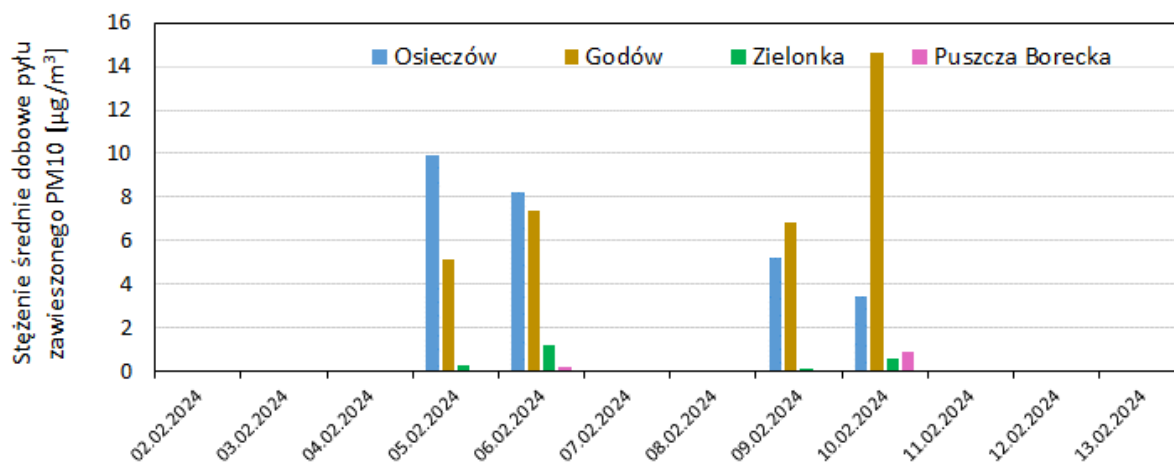
²¹ Źródło danych: IOŚ-PIB na podstawie CAMS <https://atmosphere.copernicus.eu/>

Napływ 1 i 2

Analizując stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ przypisywanego na podstawie obliczeń modelowych napływowi z nad obszarów pustynnych na stacjach tła regionalnego i w Godowie stwierdzono znaczący udział pyłu z napływu z Afryki, zwłaszcza na stacjach zlokalizowanych na południu kraju w dniach 5 i 6 lutego (Tab. 6.4.1 i Rys. 6.4.2). Na stacjach Osieczów i Godów wartości stężenia pyłu zawieszonego pochodzącego z napływu stanowiły w tych dniach od 57% i 76% zmierzonego stężenia średniego dobowego. Na stacji Zielonka znaczący udział pyłu z napływu odnotowano tylko 6 lutego (30%). Na stacji Puszcza Borecka nie zaobserwowano epizodu saharyjskiego w lutym 2024 roku. Udział napływu z suchych obszarów afrykańskich w kształtowaniu stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ w dniach 9 i 10 lutego był mniej znaczący i widoczny głównie na stacjach na południu Polski – Osieczów i Godów. Mimo, że w Godowie wartość bezwzględna stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀, pochodzącego z napływu w dniu 10 lutego była najwyższa w lutym, to stanowiła tylko 17% stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ w tym dniu.

Tab. 6.4.1. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ na stacjach tła regionalnego i w Godowie w czasie wskazanych przez CAMS epizodów napływu powietrza z Afryki nad Polskę w lutym 2024 roku
(źródło danych: PMŚ i CAMS)

Parametr	Data	Osieczów	Godów	Zielonka	Puszcza Borecka
Stężenie PM ₁₀ [µg/m ³]	05.02.2024	13,0	8,7	3,3	
	06.02.2024	13,0	12,9	4,0	4,4
	09.02.2024	16,3	40,5	20,7	17,9
	10.02.2024	20,8	43,0	10,5	12,2
Napływ PM ₁₀ [µg/m ³]	05.02.2024	9,9	5,1	0,3	0,8
	06.02.2024	8,2	7,4	1,2	
	09.02.2024	5,3	6,8	0,1	0,2
	10.02.2024	3,5	14,7	0,6	0,0
Udział PM ₁₀ z napływu [%]	05.02.2024	76%	59%	8%	
	06.02.2024	63%	57%	30%	0%
	09.02.2024	32%	17%	1%	1%
	10.02.2024	17%	34%	6%	0%



Rys. 6.4.2. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ na stacjach tła regionalnego i w Godowie przypisane napływowi powietrza z Afryki w lutym 2024 roku (źródło danych: CAMS i PMŚ)

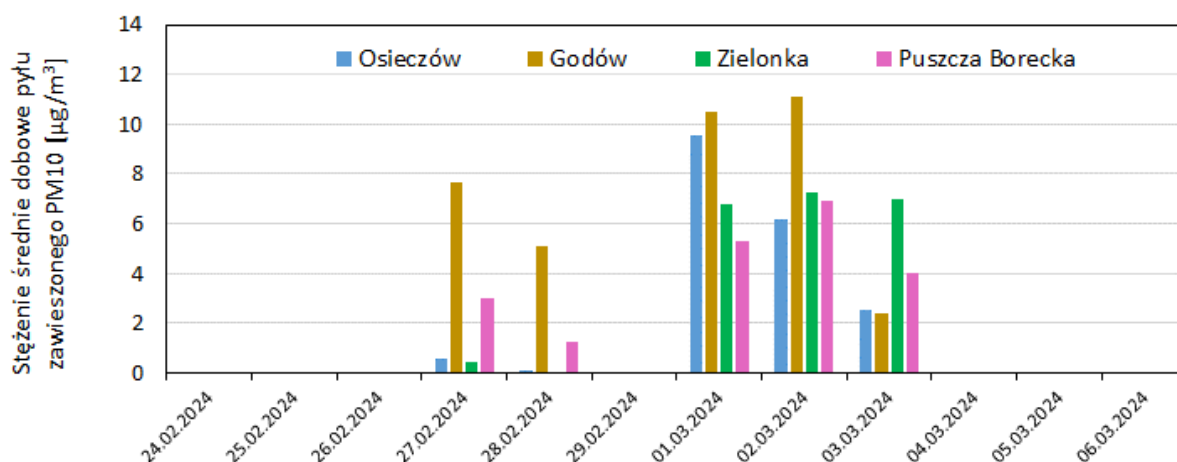
Napływ 3 i 4

Na przełomie lutego i marca wskazano epizod napływu powietrza znad Afryki, dla którego w Tab. 6.4.2 podano wartości stężeń pyłu zawieszonego PM10 na stacjach tła regionalnego i w Godowie.

Epizod zaznaczył się w obliczeniach modelowych CAMS na wszystkich stacjach; stężenia pyłu zawieszonego PM10, przypisywane napływowi znad obszaru Afryki, widoczne były początkowo w Godowie (27 i 28 lutego odpowiednio 19 i 10% udziału w stężeniu pyłu zawieszonego PM10) i w Puszczy Boreckiej (udziały w tych dniach odpowiednio 13 i 10%), a w pierwszych dniach marca już na wszystkich stacjach (Tab. 6.4.5 i Rys. 6.4.3). Udział pyłu znad Afryki w tych dniach osiągnął od 13 do 29% stężenia pyłu zawieszonego PM10, przy czym w Osieczowie i Puszczy Boreckiej malał z upływem czasu, w Zielonce wzrastał, a w Godowie był zmienny z dnia na dzień.

Tab. 6.4.2. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 na stacjach tła regionalnego i w Godowie w czasie wskazanych przez CAMS epizodów napływu powietrza znad Afryki nad Polskę na przełomie lutego i marca 2024 roku (źródło danych: PMŚ i CAMS)

Parametr	Data	Osieczów	Godów	Zielonka	Puszcza Borecka
Stężenie PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	27.02.2024	29,7	39,3	15,5	24,0
	28.02.2024	14,0	53,4	8,9	13,0
	01.03.2024	32,9	61,2	38,8	18,2
	02.03.2024	24,8	54,4	33,1	31,2
	03.03.2024	19,5	17,9	29,1	24,4
Napływ PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	27.02.2024	0,5	7,6	0,4	3,0
	28.02.2024	0,1	5,1	0,0	1,2
	01.03.2024	9,6	10,5	6,8	5,3
	02.03.2024	6,2	11,1	7,3	6,9
	03.03.2024	2,5	2,4	7,0	4,0
Udział PM10 z napływu [%]	27.02.2024	2%	19%	3%	13%
	28.02.2024	1%	10%	1%	10%
	01.03.2024	29%	17%	17%	29%
	02.03.2024	25%	20%	22%	22%
	03.03.2024	13%	14%	24%	17%



Rys. 6.4.3. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 na stacjach tła regionalnego i w Godowie przypisane napływowi powietrza znad północnej Afryki na przełomie lutego i marca 2024 roku (źródło danych: CAMS i PMŚ)

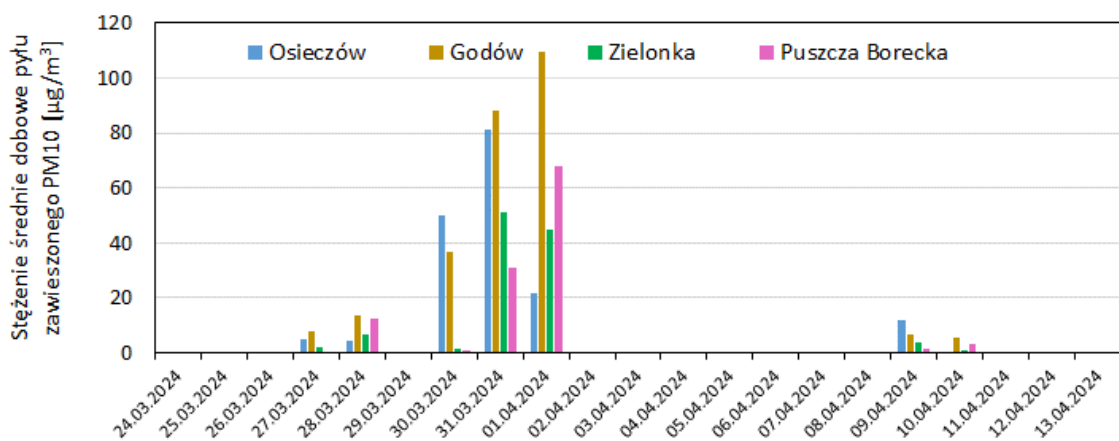
Napływ 5 i 6

Kolejny epizod napływu powietrza znad Afryki miał miejsce na przełomie marca i kwietnia, począwszy od 27 marca do 1 kwietnia i dla tych dni w Tab. 6.4.6 podano wartości stężeń pyłu zawieszonego PM10 na stacjach tła regionalnego i w Godowie. Był to bardzo istotny epizod, w którym średnie dobowe stężenia pyłu zawieszonego pyłu PM10 przekroczyły poziom dopuszczalny w sumie na wszystkich czterech stacjach, przy czym w dużym stopniu przyczyniły się do tych przekroczeń stężenia pyłu pochodzącego z napływu. Same stężenia pyłu zawieszonego PM10 z napływu przekroczyły poziom dopuszczalny na każdej stacji 31 marca lub 1 kwietnia (Tab. 6.4.3 i Rys. 6.4.4). Udział pyłu z napływu w stężeniach pyłu zawieszonego PM10 w tych dniach sięgał od 4% do 95% i na większości stacji narastał z upływem czasu. W tabeli nie podano wyniku stężenia pyłu z napływu 1 kwietnia dla Godowa ze względu na błąd w danych.

Na stacjach w Polsce południowej zaznaczył się jeszcze jeden krótki i mniej znaczący epizod saharyjski 9 i 10 kwietnia. Stężenie pyłu zawieszonego PM10 pochodzącego z napływu przekroczyło 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ w obu tych dniach w Godowie i 9 kwietnia w Osieczowie. Napływ ten w niewielkim stopniu dotarł do stacji w Zielonce i Puszczy Boreckiej.

Tab. 6.4.3. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 na stacjach tła regionalnego i w Godowie w czasie wskazanych przez CAMS epizodów napływu powietrza zwrotnikowego znad Afryki nad Polskę na przełomie marca i kwietnia 2024 roku (źródło danych: PMŚ i CAMS)

Parametr	Data	Osieczów	Godów	Zielonka	Puszcza Borecka
Stężenie PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	27.03.2024	13,2	18,1	9,6	12,1
	28.03.2024	9,4	25,5	14,3	22,2
	30.03.2024	100,0	82,3	13,8	14,7
	31.03.2024	96,8	93,0	72,9	43,0
	01.04.2024	40,9	105,1	56,9	76,4
	09.04.2024	26,9	30,3	20,5	32,1
Napływ PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	27.03.2024	4,9	7,7	2,0	0,5
	28.03.2024	4,3	13,6	6,8	12,7
	30.03.2024	50,3	36,5	1,7	1,1
	31.03.2024	81,4	88,3	51,2	30,9
	01.04.2024	22,0	-	45,1	67,9
	09.04.2024	11,7	6,5	3,6	1,6
Udział PM10 z napływu [%]	27.03.2024	37%	43%	21%	4%
	28.03.2024	46%	53%	48%	57%
	30.03.2024	50%	44%	12%	7%
	31.03.2024	84%	95%	70%	72%
	01.04.2024	54%	-	79%	89%
	09.04.2024	43%	21%	18%	5%
	10.04.2024	9%	22%	12%	15%



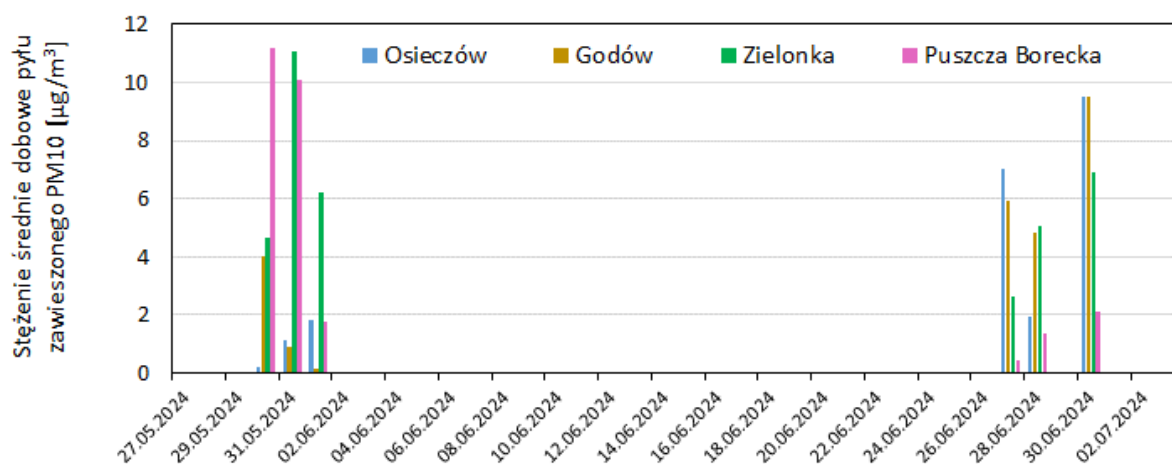
Rys. 6.4.4. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 na stacjach tła regionalnego i w Godowie przypisane napływowi powietrza znad północnej Afryki na przełomie marca i kwietnia 2024 roku (źródło danych: CAMS i PMŚ)

Napływ 7 i 8

W przebiegu stężeń pyłu pochodzenia saharyjskiego uzyskanym na podstawie obliczeń modelowych są widoczne dwa kolejne epizody, na przełomie maja i czerwca oraz w końcu czerwca, które wniosły do poziomu stężeń pyłu zawieszonego PM10 na stacjach od kilku do kilkudziesięciu procent (Tab. 6.4.4). Widać, że smuga pyłu napływającego z Afryki w dniach 30 maja – 1 czerwca przesunęła się z południa na północ (Rys. 6.4.5). Udziały pyłu z napływu były większe w tych dniach na stacjach w Zielonce (30-66%) i Puszczy Boreckiej (15-65%) niż na stacjach w Osieczowie (3-17%) i Godowie (2-20%). Epizod w końcu czerwca był bardziej znaczący na stacjach w Polsce południowej niż w północnej i wniósł po kilka $\mu\text{g}/\text{m}^3$ do stężeń pyłu zawieszonego PM10 (co stanowiło od 3% w Puszczy Boreckiej 27 czerwca do 48% w Godowie 30 czerwca).

Tab. 6.4.4. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 na stacjach tła regionalnego i w Godowie w czasie wskazanych przez CAMS epizodów napływu powietrza zwrotnikowego znad Afryki nad Polskę w maju i czerwcu 2024 roku (źródło danych: PMŚ i CAMS)

Parametr	Data	Osieczów	Godów	Zielonka	Puszcza Borecka
Stężenie PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	30.05.2024	7,3	19,9	15,4	17,3
	31.05.2024	7,4	14,4	16,8	16,5
	01.06.2024	10,9	8,9	17,0	11,4
	27.06.2024	17,4	17,9	17,4	15,2
	28.06.2024	15,4	18,7	16,5	16,7
	30.06.2024	18,0	20,0	25,0	17,0
Napływ PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	30.05.2024	0,2	4,0	4,6	11,2
	31.05.2024	1,2	0,9	11,1	10,1
	01.06.2024	1,8	0,1	6,2	1,7
	27.06.2024	7,0	5,9	2,6	0,5
	28.06.2024	1,9	4,8	5,1	1,3
	30.06.2024	9,5	9,5	6,9	2,1
Udział PM10 z napływu [%]	30.05.2024	3%	20%	30%	65%
	31.05.2024	16%	6%	66%	61%
	01.06.2024	17%	2%	36%	15%
	27.06.2024	40%	33%	15%	3%
	28.06.2024	12%	26%	31%	8%
	30.06.2024	53%	48%	28%	13%



Rys. 6.4.5. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 na stacjach tła regionalnego i w Godowie przypisane napływowi powietrza znaną północnej Afryki w maju i czerwcu 2024 roku (źródło danych: PMŚ i CAMS)

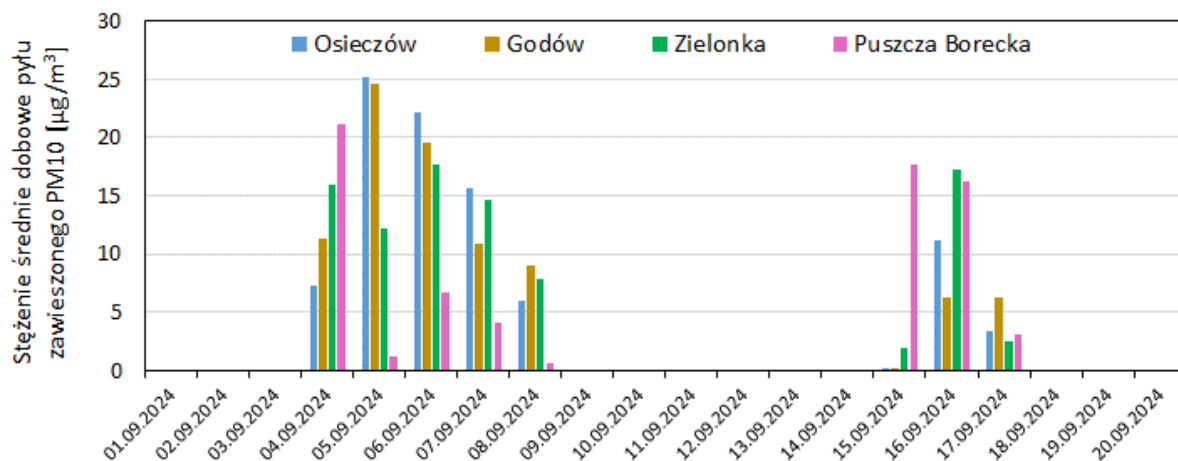
Napływ 9 i 10

Obliczenia modelowe wskazały wysokie stężenie pyłu zawieszonego PM10, pochodzącego z napływu z suchych rejonów Afryki, w dwóch kolejnych epizodach, które miały miejsce w dniach 4-8 września i 15-17 września (Tab. 6.4.5). W ciągu kilku dni na początku września udział pyłu z napływu w stężeniu pyłu zawieszonego PM10 sięgał kilkudziesięciu procent, a wartości bezwzględne wynosiły od kilku do ponad 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ do zmierzonych stężeń. Epizod ten był bardzo wyraźny na stacjach w Polsce południowej oraz w Zielonce, a mniej wyraźny w Polsce północno-wschodniej, reprezentowanej przez stację w Puszczy Boreckiej. Kulminacja tego epizodu miała miejsce w dniu 5 września w Osieczowie i Godowie, 6 września w Zielonce i 4 września w Puszczy Boreckiej.

Na stacjach zlokalizowanych na północy kraju wpływ terenów suchych na kształtowanie stężenia pyłu zawieszonego PM10 widoczny był także w dniach 15-17 września, co skutkowało stężeniami z napływu na poziomie ponad 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ w Zielonce i Puszczy Boreckiej (Rys. 6.4.6). Napływy te stanowiły ponad 60% zmierzonych wartości stężenia pyłu zawieszonego PM10 na tych stacjach (Tab. 6.4.5). Kulminacja tego epizodu miała miejsce 15 września w Osieczowie, Godowie i Zielonce i 15 września w Puszczy Boreckiej.

Tab. 6.4.5. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 na stacjach tła regionalnego i w Godowie w czasie wskazanych przez CAMS epizodów napływu powietrza znad północnej Afryki nad Polskę we wrześniu 2024 roku (źródło danych: PMŚ i CAMS)

Parametr	Data	Osieczów	Godów	Zielonka	Puszcza Borecka
Stężenie PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	04.09.2024	24,6	28,7	26,9	35,2
	05.09.2024	32,2	27,4	26,1	22,3
	06.09.2024	35,3	30,5	26,5	33,3
	07.09.2024	28,6	23,4	27,5	33,4
	08.09.2024	21,6	22,0	25,9	28,8
	15.09.2024	4,8	2,6	8,3	28,0
	16.09.2024	19,5	20,9	28,2	36,4
	17.09.2024	29,9	30,7	30,5	32,1
Napływ PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	04.09.2024	7,2	11,3	15,9	21,1
	05.09.2024	25,1	24,6	12,2	1,2
	06.09.2024	22,1	19,5	17,6	6,7
	07.09.2024	15,6	10,9	14,7	4,1
	08.09.2024	5,9	9,0	7,8	0,7
	15.09.2024	0,1	0,0	1,9	17,7
	16.09.2024	11,2	6,2	17,3	16,3
	17.09.2024	3,4	6,3	2,6	3,1
Udział PM10 z napływu [%]	04.09.2024	29%	39%	59%	60%
	05.09.2024	78%	90%	47%	5%
	06.09.2024	63%	64%	67%	20%
	07.09.2024	55%	46%	53%	12%
	08.09.2024	27%	41%	30%	2%
	15.09.2024	2%	1%	23%	63%
	16.09.2024	57%	30%	61%	45%
	17.09.2024	11%	21%	8%	10%



Rys. 6.4.6. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 na stacjach tła regionalnego i w Godowie przypisane napływowi powietrza znad północnej Afryki we wrześniu 2024 roku (źródło danych: CAMS i PMŚ)

W ciągu roku zdarzały się też pojedyncze dni, w których stężenia pyłu zawieszonego pochodzącego z napływu znad Afryki przekraczały $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Najwięcej było ich w Osieczowie.

Epizody saharyjskie były częstsze i bardziej znaczące w Polsce południowej, ale niektóre z opisanych wcześniej sięgały w głąb kraju i były obserwowane także na stacjach tłowych na północy kraju.

6.5. Depozycja zanieczyszczeń do podłoża

Zgodnie z wymaganiami aktualnego *Rozporządzenia Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 11 grudnia 2020 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu*²², należy oceniać depozycję całkowitą metali ciężkich i WWA w co najmniej trzech punktach pomiarowych tła regionalnego w kraju. Na trzech spośród omawianych stacji tła: Osieczów, Puszcza Borecka i Zielonka badano zawartość metali ciężkich i WWA w opadach całkowitych. Integralną część programu stanowiły pomiary wielkości opadów. Wartości depozycji szacowano na podstawie stężeń badanych składników i wysokości opadu (obliczanej na podstawie masy/objętości zebranych opadów). We wcześniejszych raportach przeprowadzono analizy dla rocznych wartości depozycji uzyskanych na wymienionych stacjach oraz przedstawiono wskaźniki depozycji metali ciężkich i WWA wyrażone w $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dzień}$. Od roku 2015 cała analiza prowadzona jest z wykorzystaniem wskaźników. Należy też podkreślić, że stacja w Zielonce w początkowym okresie pomiarów pobierała próbki przez 2 tygodnie w miesiącu do oznaczania metali, a przez kolejne dwa – do oznaczania WWA. Przy dużych próbkach dokonywano podziału i oznaczano zawartość zarówno jednych, jak i drugich zanieczyszczeń. Wskaźniki dla tej stacji wyznaczono na podstawie danych z okresów, kiedy były pobierane próbki do oznaczania każdej z grup zanieczyszczeń. Dane dla metali ciężkich uzyskane w Zielonce w 2010 roku zostały unieważnione, gdyż granica oznaczalności była zbyt wysoka. W Osieczowie do czerwca 2019 próbki do oznaczania metali ciężkich i WWA były pobierane do jednej butli, a następnie rozdzielane, a od lipca pobierano próbki do osobnych butli. Na stacji Puszcza Borecka wykorzystywano dwa kolektory, do których pobierano osobno próbki do oznaczania metali ciężkich i WWA. Od 2020 roku na wszystkich stacjach próbki do oznaczania metali ciężkich i WWA pobierano do dwóch osobnych kolektorów.

6.5.1. Metale ciężkie

Wskaźniki depozycji metali ciężkich na poszczególnych stacjach dla lat 2010-2024 przedstawiono w tabeli 6.5.1.

Tab. 6.5.1. Wskaźniki depozycji metali ciężkich na stacjach tła regionalnego w latach 2010-2024
(źródło danych: PMŚ)

Rok	Stacja	Ni	As	Cd
		[$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dzień}$]		
2010	Osieczów	1,672	1,849	0,151
	Puszcza Borecka	0,387	0,475	0,069
	Zielonka*			
2011	Osieczów	1,022	1,645	0,107
	Puszcza Borecka	0,608	0,459	0,076
	Zielonka	0,619	0,240	0,041
2012	Osieczów	1,272	1,075	0,126
	Puszcza Borecka	0,466	0,519	0,079
	Zielonka	0,469	0,439	0,054
2013	Osieczów	2,063	1,048	0,123
	Puszcza Borecka	0,374	0,547	0,045
	Zielonka	0,465	0,442	0,068
2014	Osieczów	2,754	1,960	0,238

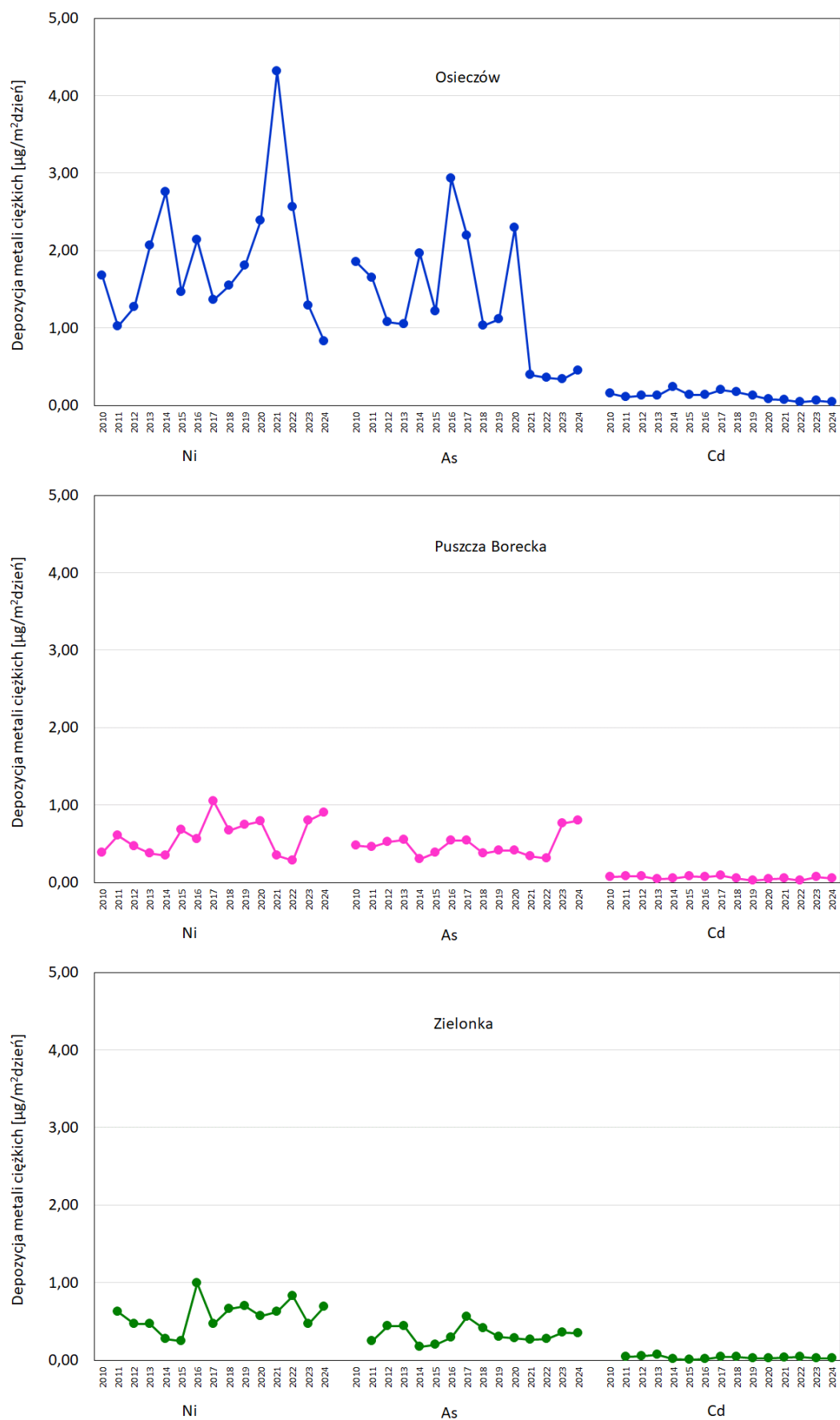
²² Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 11 grudnia 2020 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz. U. z 2024 r. poz. 870)

Rok	Stacja	Ni	As	Cd
		[µg/m ² dzień]		
	Puszcza Borecka	0,348	0,301	0,050
	Zielonka	0,273	0,174	0,012
	Osieczów	1,463	1,210	0,133
2015	Puszcza Borecka	0,681	0,379	0,079
	Zielonka	0,241	0,203	0,008
	Osieczów	2,132	2,934	0,133
2016	Puszcza Borecka	0,560	0,539	0,071
	Zielonka	0,995	0,294	0,011
	Osieczów	1,364	2,196	0,200
2017	Puszcza Borecka	1,049	0,542	0,085
	Zielonka	0,466	0,563	0,040
	Osieczów	1,548	1,033	0,173
2018	Puszcza Borecka	0,673	0,370	0,049
	Zielonka	0,657	0,409	0,041
	Osieczów	1,804	1,108	0,128
2019	Puszcza Borecka	0,740	0,412	0,022
	Zielonka	0,697	0,303	0,026
	Osieczów	2,389	2,290	0,081
2020	Puszcza Borecka	0,788	0,410	0,043
	Zielonka	0,570	0,285	0,028
	Osieczów	4,313	0,391	0,073
2021	Puszcza Borecka	0,348	0,336	0,054
	Zielonka	0,627	0,259	0,029
	Osieczów	2,556	0,356	0,046
2022	Puszcza Borecka	0,281	0,307	0,022
	Zielonka	0,830	0,277	0,037
	Osieczów	1,288	0,335	0,061
2023	Puszcza Borecka	0,798	0,763	0,070
	Zielonka	0,464	0,351	0,019
	Osieczów	0,825	0,451	0,044
2024	Puszcza Borecka	0,899	0,802	0,052
	Zielonka	0,686	0,343	0,025
	Osieczów	1,974	1,388	0,127
średnia 2010-2023	Puszcza Borecka	0,579	0,454	0,058
	Zielonka**	0,567	0,326	0,032
	Osieczów			

* dane unieważnione, wysoka granica oznaczalności

** dla Zielonki średnia z lat 2011-2023

Zmiany wskaźników depozycji metali ciężkich na poszczególnych stacjach tła regionalnego z roku na rok pokazano w formie graficznej na rysunku 6.5.1.



Rys. 6.5.1. Wskaźniki depozycji metali ciężkich na stacjach tła regionalnego w latach 2010-2024; dane z 2010 roku dla Zielonki unieważnione (źródło danych: PMŚ)

Dla poszczególnych stacji określono względne zmiany wskaźników depozycji metali ciężkich i rocznych sum wysokości opadów w roku 2024 w stosunku do roku 2023 (Tab. 6.5.2). Na wszystkich stacjach wysokość opadu (wykorzystana do wyznaczenia depozycji metali ciężkich) była niższa od obserwowanej w roku poprzednim – na stacji Osieczów o 14%, na stacji Puszcza Borecka o 11%, a na stacji Zielonka o 3%.

Tab. 6.5.2. Względne zmiany wskaźników depozycji metali ciężkich i rocznych sum wysokości opadów na stacjach tła regionalnego w 2024 roku w stosunku do wartości z roku 2023 (źródło danych: PMŚ)

Stacja	Ni	As	Cd	Wysokość opadu
	[%]			
Osieczów	-35,9	34,7	-28,0	-14,1
Puszcza Borecka	12,6	5,2	-25,2	-10,9
Zielonka	48,0	-2,4	31,6	-3,3

W 2024 roku stwierdzono zmiany wskaźników depozycji badanych metali ciężkich w stosunku do wartości obserwowanych rok wcześniej – zarówno spadki, jak i wzrosty. Zmiany względne wskaźnika depozycji niklu wyniosły od około -36% w Osieczowie do 48% w Zielonce, wskaźnika depozycji arsenu od -2% w Zielonce do blisko 35% w Osieczowie, a kadmu od -28% w Osieczowie do blisko 32% w Zielonce.

Podobną analizę przeprowadzono odnosząc wskaźniki depozycji metali ciężkich i rocznych sum wysokości opadów w roku 2024 do wartości średniej z lat 2010-2023 dla Osieczowa i Puszczy Boreckiej i średniej z lat 2011-2023 dla Zielonki (Tab. 6.5.3). Na stacjach Puszcza Borecka i Zielonka wysokości opadów były w roku 2024 zbliżone do średnich z wielolecia (nieznacznie niższe), a na stacji Osieczów różnica wyniosła blisko -15%.

Tab. 6.5.3. Względne zmiany wskaźników depozycji metali ciężkich i rocznych sum wysokości opadów na stacjach tła regionalnego w 2024 roku w stosunku do wartości średniej z lat 2010-2023 (źródło danych: PMŚ)

Stacja	Ni	As	Cd	Wysokość opadu
	[%]			
Osieczów	-58,2	-67,5	-65,4	-14,6
Puszcza Borecka	55,3	76,6	-10,3	-1,4
Zielonka*	20,9	5,2	-22,0	-4,3

*dla Zielonki średnia z lat 2011-2023

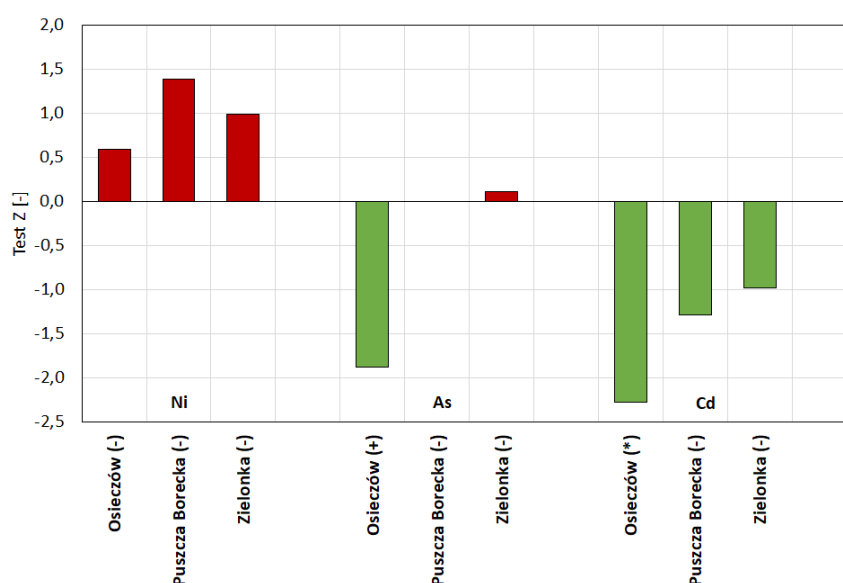
Zmiany względne wielkości wskaźników depozycji poszczególnych metali ciężkich w roku 2024 w stosunku do uśrednionych wartości z wielolecia wyniosły od kilku do kilkudziesięciu procent. Dla niklu zmiany wyniosły od -58% w Osieczowie do 55% w Puszczy Boreckiej, dla arsenu od -67% w Osieczowie do 77% w Puszczy Boreckiej, a dla kadmu od -64% w Osieczowie do -10% w Puszczy Boreckiej.

Na stacji Osieczów odnotowano zmniejszenie wskaźników depozycji wszystkich badanych metali ciężkich w roku 2024 w stosunku do wartości z średnich z lat 2010-2023, a na stacjach Puszcza Borecka i Zielonka stwierdzono wzrosty dla wskaźników depozycji niklu i arsenu oraz spadki dla kadmu.

Wskaźniki depozycji niklu i arsenu uległy zmniejszeniu w stosunku do wartości średnich z wielolecia na jednej stacji (Osieczów), a kadmu na wszystkich stacjach. Na wszystkich

stacjach wysokość opadu była w ostatnim roku mniejsza niż średnia z wielolecia lub bardzo do niej zbliżona.

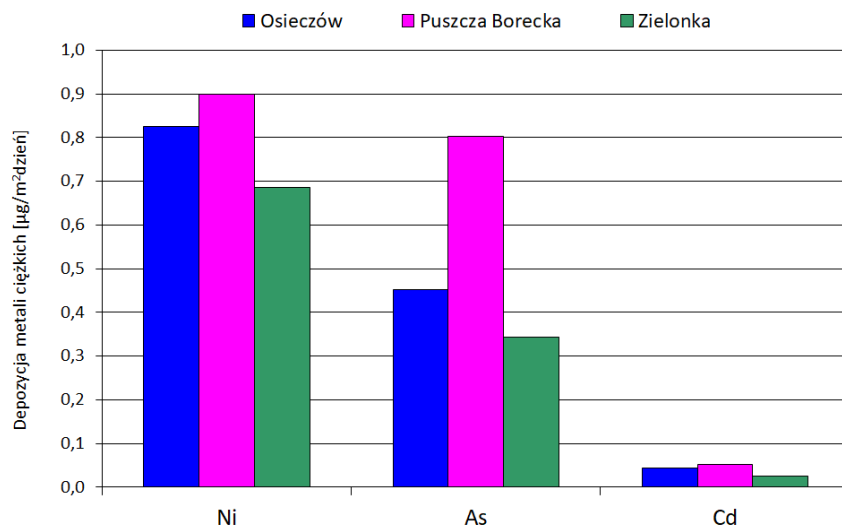
Dla badanych metali ciężkich na ogół nie stwierdzono trendów zmian wskaźników depozycji w okresie 2010-2024, poza arsenem i kadmem w Osieczowie, gdzie zarysowały się trendy malejące o małej istotności statystycznej. Tendencję wzrostową stwierdzono dla wskaźników depozycji niklu na wszystkich stacjach, największą w Puszczy Boreckiej. Tendencję malejącą, a dla Osieczowa nawet słaby trend, wykryto dla wskaźników depozycji kadmu. W przypadku wskaźników depozycji arsenu zaznaczył się bardzo mało istotny trend malejący w Osieczowie, nieznaczna tendencja wzrostowa w Zielonce, a dla Puszczy Boreckiej żadnej tendencji zmian nie odnotowano ($Z=0$).



Rys. 6.5.2. Trendy i tendencje zmian wskaźników depozycji metali ciężkich na stacjach tła regionalnego w latach 2010-2024 [dla Zielonki 2011-2024] (źródło danych: PMŚ)

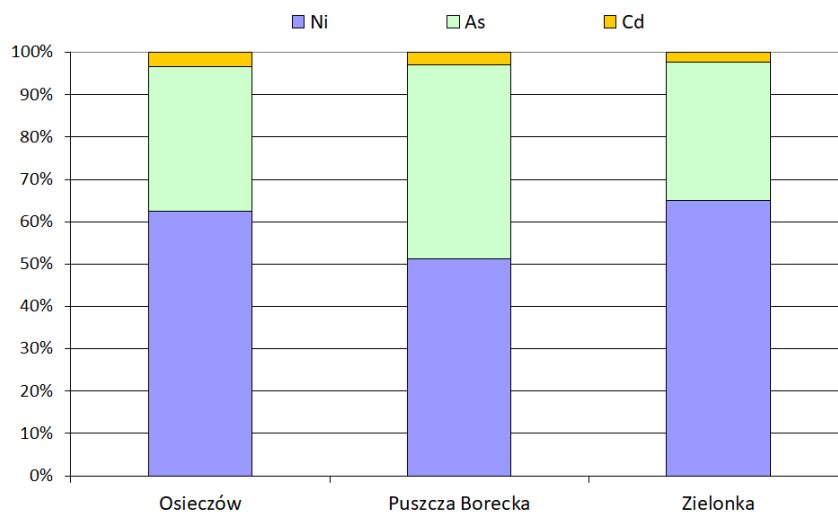
Spośród badanych metali ciężkich największe wskaźniki depozycji odnotowano w roku 2024 dla niklu w Puszczy Boreckiej i Osieczowie, przy czym przewaga niklu nad innymi metalami zaznaczyła się w Osieczowie wyraźnie, zwłaszcza, że w latach 2016 i 2017 dominował na tej stacji arsen. Na kolejnych miejscach pod względem wielkości wskaźnika znalazł się arsen w Puszczy Boreckiej i nikiel w Zielonce. Na wszystkich trzech stacjach najmniejszy był wskaźnik depozycji kadmu – zbliżony w Puszczy Boreckiej i w Osieczowie, a niższy w Zielonce (Rys. 6.5.3).

W roku 2024 największa ilość metali ciężkich została zdeponowana na stacji Puszcza Borecka (sumarycznie i dla każdego składnika osobno). W latach wcześniejszych największe ilości metali ciężkich docierały do powierzchni ziemi na stacji Osieczów. Różnice między wartościami wskaźników depozycji poszczególnych metali były mniejsze od obserwowanych na początku analizowanego okresu.



Rys. 6.5.3. Wskaźniki depozycji metali ciężkich na stacjach tła regionalnego w 2024 roku
(źródło danych: PMŚ)

W 2024 roku na stacjach tła regionalnego kolejność wielkości wskaźników depozycji badanych metali ciężkich była następująca: najwięcej było niklu, mniej arsenu, a najmniej kadmu, przy czym w Puszczy Boreckiej udział arsenu i niklu w sumie zdeponowanych metali ciężkich był zbliżony, a w Osieczowie i Zielonce wyraźna była przewaga niklu (Rys. 6.5.4).



Rys. 6.5.4. Udział poszczególnych metali ciężkich w depozycji na stacjach tła regionalnego w 2024 roku
(źródło danych: PMŚ)

W 2024 roku nikiel stanowił w Osieczowie 63%, w Zielonce 65%, a w Puszczy Boreckiej 51% oznaczonych metali, arsen – 34% w Osieczowie, 33% w Zielonce i 46% w Puszczy Boreckiej, a kadm odpowiednio po 3% w Osieczowie i Puszczy Boreckiej i 2% w Zielonce. Taką kolejność metali ciężkich w Osieczowie notowano wcześniej, poza latami 2010, 2011, 2016 i 2017, gdy wskaźniki dla arsenu były większe niż dla niklu. Na stacji Puszcza Borecka tylko w latach 2012, 2013 i 2023 odnotowano największy udział arsenu wśród oznaczanych metali. W Zielonce we wszystkich wcześniejszych latach na pierwszym miejscu był nikiel, na drugim arsen, a na trzecim kadm, a tylko w 2017 roku nastąpiła zamiana miejsc pomiędzy arsenem i niklem, co nie powtórzyło się w kolejnych latach.

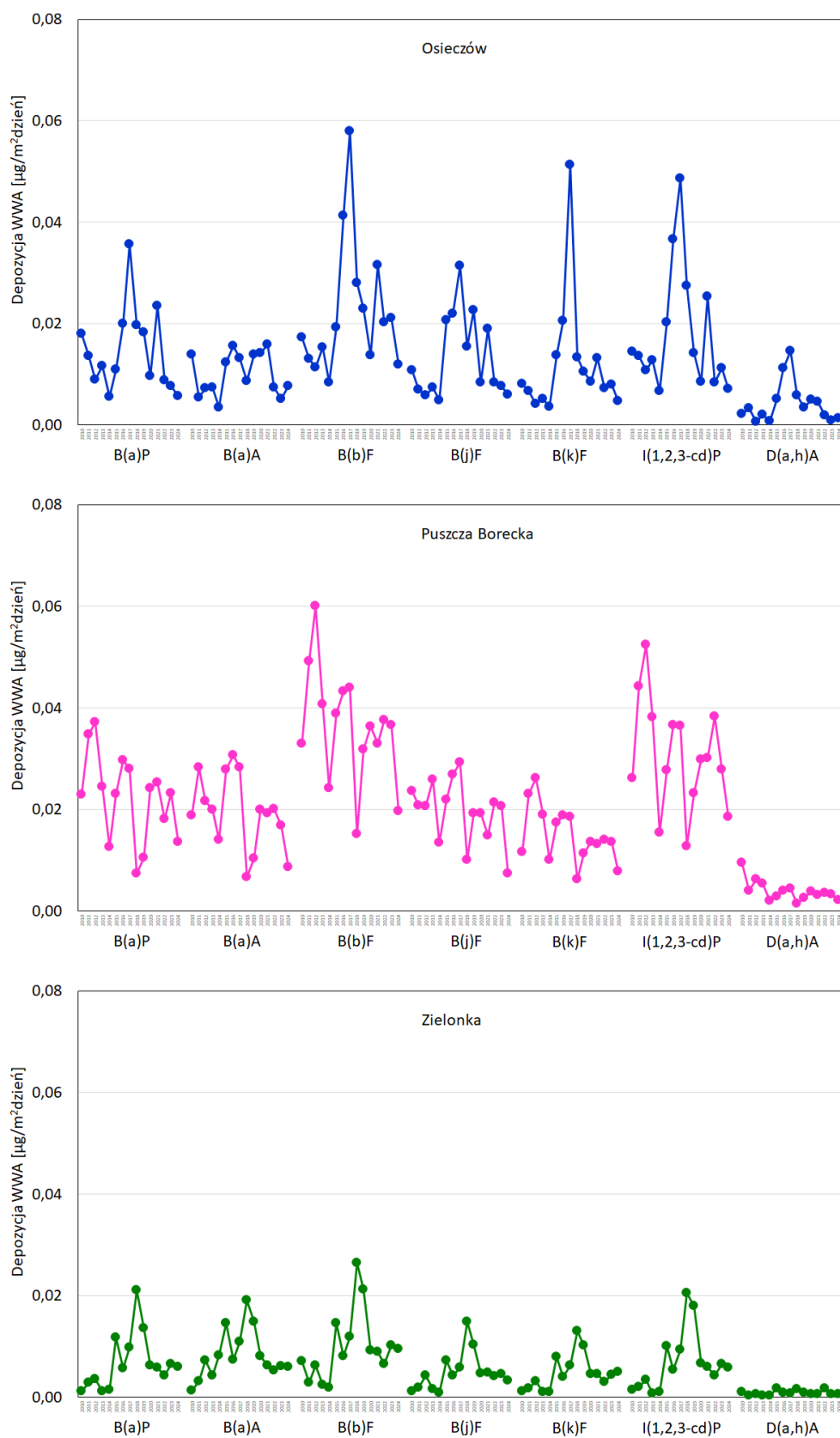
6.5.2. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne

Wartości wskaźników depozycji wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych dla lat 2010-2024 przedstawiono w Tab. 6.5.4.

Tab. 6.5.4. Wskaźniki depozycji WWA na stacjach tła regionalnego w latach 2010-2024 (źródło danych: PMŚ)

Rok	Stacja	B(a)P	B(a)A	B(b)F	B(j)F	B(k)F	I(1,2,3-cd)P	D(a,h)A
		[µg/m ² dzień]						
2010	Osieczów	0,018	0,014	0,017	0,011	0,008	0,014	0,002
	Puszcza Borecka	0,023	0,019	0,033	0,024	0,012	0,026	0,010
	Zielonka	0,001	0,001	0,007	0,001	0,001	0,002	0,001
2011	Osieczów	0,014	0,005	0,013	0,007	0,007	0,014	0,003
	Puszcza Borecka	0,035	0,028	0,049	0,021	0,023	0,044	0,004
	Zielonka	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,000
2012	Osieczów	0,009	0,007	0,011	0,006	0,004	0,011	0,001
	Puszcza Borecka	0,037	0,022	0,060	0,021	0,026	0,052	0,006
	Zielonka	0,004	0,007	0,006	0,004	0,003	0,004	0,001
2013	Osieczów	0,012	0,007	0,015	0,007	0,005	0,013	0,002
	Puszcza Borecka	0,025	0,020	0,041	0,026	0,019	0,038	0,005
	Zielonka	0,001	0,004	0,002	0,002	0,001	0,001	0,0004
2014	Osieczów	0,006	0,004	0,008	0,005	0,004	0,007	0,001
	Puszcza Borecka	0,013	0,014	0,024	0,014	0,010	0,016	0,002
	Zielonka	0,002	0,008	0,002	0,001	0,001	0,001	0,0004
2015	Osieczów	0,011	0,012	0,019	0,021	0,014	0,020	0,005
	Puszcza Borecka	0,023	0,028	0,039	0,022	0,017	0,028	0,003
	Zielonka	0,012	0,015	0,015	0,007	0,008	0,010	0,002
2016	Osieczów	0,020	0,016	0,041	0,022	0,021	0,037	0,011
	Puszcza Borecka	0,030	0,031	0,043	0,027	0,019	0,037	0,004
	Zielonka	0,006	0,007	0,008	0,004	0,004	0,005	0,001
2017	Osieczów	0,036	0,013	0,058	0,031	0,051	0,049	0,015
	Puszcza Borecka	0,028	0,028	0,044	0,029	0,019	0,037	0,004
	Zielonka	0,010	0,011	0,012	0,006	0,006	0,009	0,001
2018	Osieczów	0,020	0,009	0,028	0,015	0,013	0,027	0,006
	Puszcza Borecka	0,007	0,007	0,015	0,010	0,006	0,013	0,001
	Zielonka	0,021	0,019	0,026	0,015	0,013	0,020	0,002
2019	Osieczów	0,018	0,014	0,023	0,023	0,010	0,014	0,003
	Puszcza Borecka	0,011	0,010	0,032	0,019	0,011	0,023	0,003
	Zielonka	0,014	0,015	0,021	0,010	0,010	0,018	0,001
2020	Osieczów	0,010	0,014	0,014	0,008	0,008	0,009	0,005
	Puszcza Borecka	0,024	0,020	0,036	0,019	0,014	0,030	0,004
	Zielonka	0,006	0,008	0,009	0,005	0,005	0,007	0,001
2021	Osieczów	0,023	0,016	0,032	0,019	0,013	0,025	0,005
	Puszcza Borecka	0,025	0,019	0,033	0,015	0,013	0,030	0,003
	Zielonka	0,006	0,006	0,009	0,005	0,005	0,006	0,001
2022	Osieczów	0,009	0,007	0,020	0,008	0,007	0,008	0,002
	Puszcza Borecka	0,018	0,020	0,038	0,021	0,014	0,038	0,004
	Zielonka	0,004	0,005	0,007	0,004	0,003	0,004	0,002
2023	Osieczów	0,008	0,005	0,021	0,008	0,008	0,011	0,001
	Puszcza Borecka	0,023	0,017	0,037	0,021	0,014	0,028	0,003
	Zielonka	0,007	0,006	0,010	0,005	0,004	0,006	0,001
2024	Osieczów	0,006	0,008	0,012	0,006	0,005	0,007	0,001
	Puszcza Borecka	0,014	0,009	0,020	0,007	0,008	0,019	0,002
	Zielonka	0,006	0,006	0,009	0,003	0,005	0,006	0,001
średnia 2010-2023	Osieczów	0,015	0,010	0,023	0,014	0,012	0,018	0,004
	Puszcza Borecka	0,023	0,020	0,037	0,021	0,015	0,031	0,004
	Zielonka	0,007	0,008	0,010	0,005	0,005	0,007	0,001

Zmiany wskaźników depozycji poszczególnych WWA z roku na rok w okresie 2010-2024 na każdej ze stacji przedstawiono na rysunku 6.5.5.



Rys. 6.5.5. Wskaźniki depozycji WWA na stacjach tła regionalnego w latach 2010-2024 (źródło danych: PMŚ)

Największe wartości wskaźników depozycji wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych odnotowano w 2024 roku – podobnie, jak w latach wcześniejszych – na stacji Puszcza Borecka, a wartości ze stacji Zielonka pozostały na najniższym poziomie (poza B(a)P i B(k)F). Obraz był podobny do obserwowanego w latach 2022 i 2023. W początkowym okresie badań różnice pomiędzy wartościami obserwowanymi na stacji Puszcza Borecka i pozostałymi były większe, w kolejnych latach zbliżały się do siebie wskutek spadków w Puszczy Boreckiej i wzrostów w Osieczowie i Zielonce.

Dla poszczególnych stacji określono względne zmiany wskaźników depozycji wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych i wysokości opadów w roku 2024 w stosunku do roku poprzedniego (Tab. 6.5.5). W większości przypadków stwierdzono spadki wielkości wskaźników depozycji poszczególnych związków. Spadki te wyniosły od 4% (dla B(a)A w Zielonce) do 64% (dla B(j)F w Puszczy Boreckiej). Jedynie dla wskaźników B(a)A w Osieczowie, B(k)F w Zielonce i D(a,h)A w Osieczowie i Zielonce zaobserwowano wzrosty, które wyniosły od 5% do 49%.

Tab. 6.5.5. Względne zmiany wskaźników depozycji WWA na stacjach tła regionalnego w roku 2024 w stosunku do wartości z roku 2023 (źródło danych: PMŚ)

Stacja	B(a)P	B(a)A	B(b)F	B(j)F	B(k)F	I(1,2,3-cd)P	D(a,h)A	Wysokość opadu
	[%]							
Osieczów	-26,6	48,6	-43,5	-20,9	-39,9	-36,5	46,9	-15,0
Puszcza Borecka	-41,2	-48,9	-46,2	-63,9	-42,1	-33,1	-35,1	2,1
Zielonka	-8,3	-4,0	-7,4	-29,2	9,8	-9,1	4,8	-3,2

Zmiany wskaźników depozycji WWA w roku 2024 w stosunku do wartości z roku 2023 widać najmniej wyraźnie na stacji Zielonka, przy czym były to na ogół kilkuprocentowe spadki wskaźników, poza B(j)F, dla którego wskaźnik depozycji był niższy niż rok wcześniej o ponad 29%. Większe zmiany – rzędu kilkudziesięciu procent – dla poszczególnych węglowodorów widać na stacjach Osieczów i Puszcza Borecka – od spadku o 64% dla B(j)F w Puszczy Boreckiej do wzrostu o 49% dla B(a)A w Osieczowie.

Dla poszczególnych stacji określono również względne zmiany wskaźników depozycji wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych i wysokości opadów w roku 2024 w stosunku do wartości średniej z lat 2010-2023 (Tab. 6.5.6). Na wszystkich stacjach sumy opadów były w roku 2024 niższe od średnich lub im bliskie, przy czym różnice względne wyniosły -4% w Zielonce, -27% w Osieczowie i -22% w Puszczy Boreckiej.

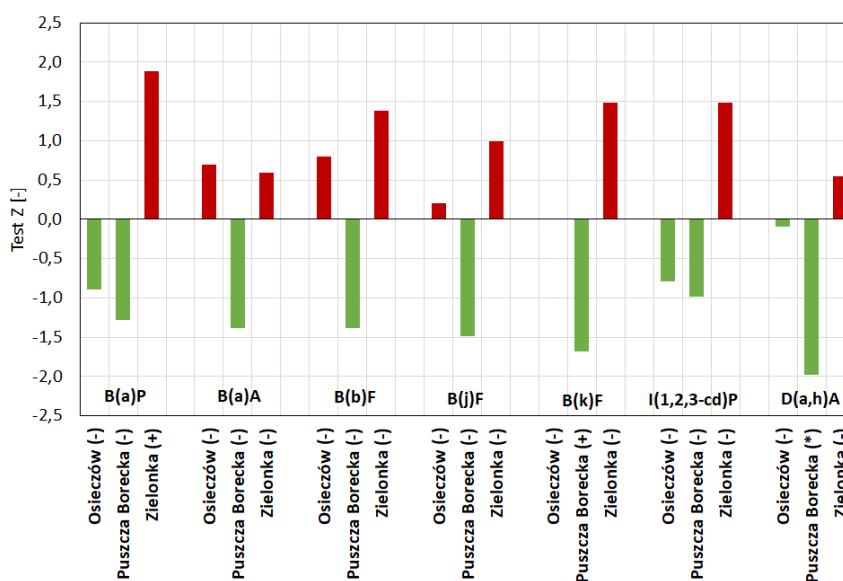
Tab. 6.5.6. Względne zmiany wskaźników depozycji WWA na stacjach tła regionalnego w 2024 roku w stosunku do wartości średnich z lat 2010-2023 (źródło danych: PMŚ)

Stacja	B(a)P	B(a)A	B(b)F	B(j)F	B(k)F	I(1,2,3-cd)P	D(a,h)A	Wysokość opadu
	[%]							
Osieczów	-62,7	-25,7	-48,2	-55,9	-61,7	-61,5	-69,9	-27,5
Puszcza Borecka	-40,6	-57,4	-47,3	-63,8	-49,1	-40,7	-47,5	-22,2
Zielonka	-12,2	-29,2	-3,7	-35,7	4,2	-13,7	-31,2	-4,2

Dla większości wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych – poza B(k)F w Zielonce – wskaźniki depozycji w 2024 roku osiągnęły niższe wartości od średnich z wielolecia, przy czym większe zmiany można zauważyć na stacjach w Osieczowie i Puszczy

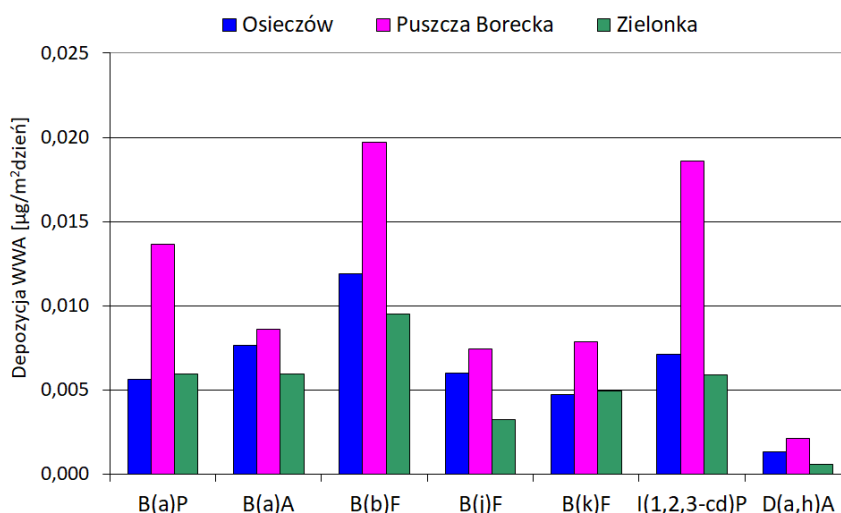
Boreckiej niż w Zielonce. Nieznacznie (o 4%) wzrósł tylko wskaźnik depozycji B(k)F w Zielonce. Największy spadek – o 70% – miał miejsce dla wskaźnika depozycji D(a,h)A w Osieczowie, a kolejne – o ponad 50% – dla B(j)F i B(a)A w Puszczy Boreckiej oraz B(k)F i I(1,2,3-cd)P w Osieczowie.

Analiza wykazała brak znaczących trendów dla wskaźników depozycji WWA na wszystkich stacjach, poza wskaźnikiem dla benzo(a)pirenu w Zielonce (trend rosnący o niewielkiej istotności) oraz benzo(k)fluorantenu i dibenzo(a,h)antracenu w Puszczy Boreckiej (trendy malejące o niewielkiej istotności). W Zielonce zarysowały się tendencje rosnące dla wszystkich badanych węglowodorów, zaś w Osieczowie dla trzech: benzo(a)antracenu, benzo(b)fluorantenu i benzo(j)fluorantenu; w Puszczy Boreckiej widoczne są tendencje i trendy malejące dla wszystkich składników (Rys. 6.5.6).



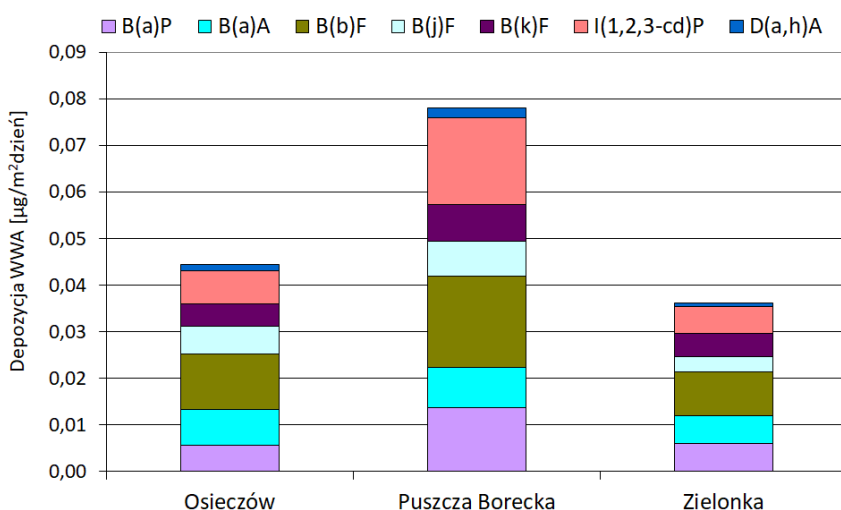
Rys. 6.5.6. Trendy i tendencje zmian wskaźników depozycji WWA na stacjach tła regionalnego w latach 2010-2024 (źródło danych: PMŚ)

Spośród badanych WWA największe wskaźniki depozycji stwierdzono w roku 2024 dla benzo(b)fluorantenu, indeno(1,2,3-cd)pirenu i benzo(a)pirenu na stacji Puszcza Borecka oraz benzo(b)fluorantenu na stacji Osieczów. Na wszystkich trzech stacjach najmniej był wskaźnik depozycji dibenzo(a,h)antracenu. Sytuację tę ilustruje rysunek 6.5.7.



Rys. 6.5.7. Wskaźniki depozycji WWA na stacjach tła regionalnego w 2024 roku (źródło danych: PMŚ)

Wskaźniki depozycji w Puszczy Boreckiej w 2024 roku były maksymalnie 2-3-krotnie większe – dla B(a)P, B(b)F, B(j)F, I(1,2,3-cd)P i D(a,h)A – niż w Zielonce. Różnice pomiędzy Puszczą Borecką i Osieczowem wynosiły maksymalnie ponad 2 razy dla B(a)P i I(1,2,3-cd)P (Rys. 6.5.7 i 6.5.8) (w minionych latach były większe).



Rys. 6.5.8. Wartości wskaźników depozycji WWA na stacjach tła regionalnego w 2024 roku (źródło danych: PMŚ)

Pomimo różnic wskaźników depozycji węglowodorów na poszczególnych stacjach tła regionalnego udziały każdego ze związków w sumie oznaczanych WWA nie odbiegały znacząco od siebie pomiędzy stacjami. B(b)F to składnik, którego było najwięcej na każdej ze stacji – miał 25% udziału w depozycji WWA na stacji Puszcza Borecka, 26% na stacji Zielonka i 27% na stacji Osieczów. Kolejne były I(1,2,3-cd)P z udziałem 24% w Puszczy Boreckiej i po 16% w Osieczowie i w Zielonce, B(a)P w Zielonce i Puszczy Boreckiej oraz B(a)A w Osieczowie z udziałem po 17% i B(a)A w Zielonce z udziałem 16%. Udział każdego z pozostałych składników w sumie WWA wyniósł od 9 do 14%. Najmniejszy na wszystkich stacjach był udział D(a,h)A – od 2% w Zielonce do 3% w Osieczowie i Puszczy Boreckiej.

W tabeli 6.5.7 przedstawiono kolejność poszczególnych WWA – od występującego w największej ilości do występującego w najmniejszej ilości – dla każdej ze stacji.

Na pierwszym miejscu na wszystkich trzech stacjach występował ten sam związek - benzo(b)fluoranten; na drugim, trzecim i czwartym miejscu były indeno(1,2,3-cd)piren, benzo(a)piren i benzo(a)antracen, w różnych konfiguracjach oraz benzo(j)fluoranten w Osieczowie. Natomiast na dwóch kolejnych miejscach znalazły się benzo(k)antracen i benzo(j)fluoranten w Puszczy Boreckiej i Zielonce oraz benzo(a)piren i benzo(k)fluoranten w Osieczowie. Listę zamyka na wszystkich stacjach dibenzo(a,h)antracen.

Tab. 6.5.11. Kolejność poszczególnych WWA na stacjach tła regionalnego według wielkości wskaźników depozycji w 2024 roku (źródło danych: PMŚ)

Osieczów	B(b)F	B(a)A	I(1,2,3-cd)P	B(j)F	B(a)P	B(k)F	D(a,h)A
Puszcza Borecka	B(b)F	I(1,2,3-cd)P	B(a)P	B(a)A	B(k)F	B(j)F	D(a,h)A
Zielonka	B(b)F	B(a)P	B(a)A	I(1,2,3-cd)P	B(k)F	B(j)F	D(a,h)A

Depozycja jest kształtowana zarówno przez wysokość opadów, jak i przez stężenia zanieczyszczeń. Dla WWA można zaobserwować bardzo wyraźną przewagę depozycji w sezonie chłodnym nad depozycją w sezonie ciepłym, co odzwierciedla znaczące różnice stężeń WWA w sezonie chłodnym (większe) i ciepłym (dużo mniejsze).

7. Ocena zanieczyszczenia powietrza na tle wyników z innych krajów

W niniejszym rozdziale przedstawiono podsumowanie oceny jakości powietrza na polskich stacjach tła pozamiejskiego i regionalnego na tle wyników pomiarów prowadzonych na stacjach pozamiejskich tła w Europie. Analizami objęto okres 2010-2023 z uwzględnieniem wszystkich analizowanych w niniejszym opracowaniu zanieczyszczeń. Podstawą wykonania oceny były wyniki pomiarów stężeń oraz wskaźników depozycji zgromadzonych w bazie E-reporting Europejskiej Agencji Środowiska.

W ocenie uwzględniono wszystkie stacje pozamiejskie tła oraz tła regionalnego funkcjonujące w analizowanym okresie w Europie (dalej używa się określenia "stacje pozamiejskie tła"). Nie uwzględniono stacji miejskich (urban), podmiejskich (suburban) oraz komunikacyjnych (traffic) i zlokalizowanych w strefie bezpośredniego oddziaływania źródeł emisji (industrial).

W przypadku przedstawienia wyników analiz dla krajów, w celu odróżnienia stężeń średnich rocznych uzyskanych dla pojedynczych stacji od wartości uśrednionych dla poszczególnych krajów, dalej używa się określenia "obszar tła pozamiejskiego", jako charakterystyki krajowej.

7.1. Zanieczyszczenia zawarte w pyłe zawieszonym PM10

W poniższym rozdziale przedstawiono ocenę stopnia zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym PM10 oraz zawartymi w nim metalami ciężkimi i wielopierścieniowymi węglowodarami aromatycznymi (WWA) w Europie w latach 2010-2023 na stacjach pozamiejskich tła. Analizy przedstawiono zarówno w skali poszczególnych krajów, jak i dla pojedynczych stacji (stanowisk pomiarowych), ze szczególnym wskazaniem wyników pomiarów uzyskanych na stacjach tła regionalnego w Polsce.

7.1.1. Pył zawieszony PM10

Ocenę zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym PM10 w Europie w 2023 roku przeprowadzono na podstawie wyników pomiarów pochodzących z 443 stacji pozamiejskich tła (spełniających kryteria selekcji danych opisane w rozdziale 2), funkcjonujących na terenie 33 krajów europejskich (Tab. 7.1.1 i Rys. 7.1.1). Najwięcej stacji tego typu zlokalizowanych było w Niemczech, we Włoszech oraz Hiszpanii (powyżej 60 stacji w każdym z krajów) oraz w Czechach (ponad 40). Tylko w tych czterech krajach zlokalizowana była ponad połowa wszystkich stacji tła pozamiejskiego w Europie (53%). Podobnie, jak w latach poprzednich, w 8 krajach (Cypr, Estonia, Litwa, Luksemburg, Łotwa, Macedonia, Malta i Serbia) ocenę wykonano w oparciu o wyniki pomiarów pochodzących tylko z 1 stacji. Wartości obliczonych parametrów statystycznych dla poszczególnych krajów przedstawiono w Tab. 7.1.1.

Uzyskane wyniki uśrednione dla danego kraju na obszarach tła pozamiejskiego pokazują, że średnie roczne stężenie pyłu zawieszonego PM10 w Polsce w 2023 roku ($15,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) znajdowało się wśród poziomów powyżej obliczonej średniej dla Europy ($14,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Wyższe niż dla Polski wartości uzyskano dla 8 krajów. Najwyższe stężenia w Europie, przekraczające $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, uzyskano dla Bośni i Hercegowiny, Rumunii, Turcji i Grecji. Najniższe wartości średniego rocznego stężenia pyłu zawieszonego PM10, nie przekraczające $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$,

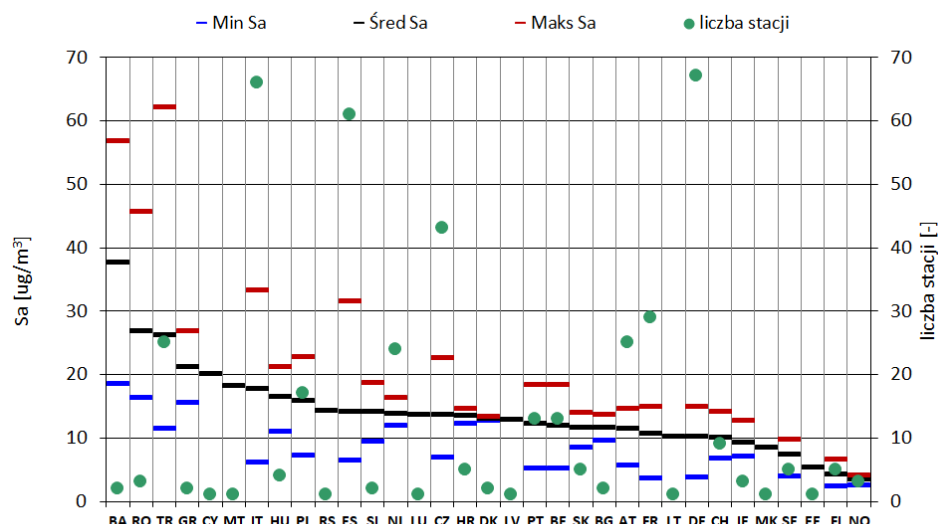
zaobserwowano dla krajów skandynawskich, tj. Norwegii, Finlandii, Estonii i Szwecji (Tab. 7.1.1, Rys. 7.1.1).

W 2023 roku, na stacjach pozamiejskich tła w Europie, przekroczenie rocznej wartości dopuszczalnej określonej w celu ochrony zdrowia zanotowano na 5 stacjach - trzech zlokalizowanych w Turcji oraz po jednej w Bośni i Hercegowinie i Rumunii. Na 16 stacjach funkcjonujących w 5 krajach w 2023 roku wystąpiło przekroczenie dobowej wartości dopuszczalnej, na jednej w Bośni i Hercegowinie oraz Rumunii, trzech w Hiszpanii, czterech we Włoszech oraz siedmiu w Turcji (Tab. 7.1.1).

Tab. 7.1.1. Stężenia średnie roczne pyłu zawieszonego PM₁₀ (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

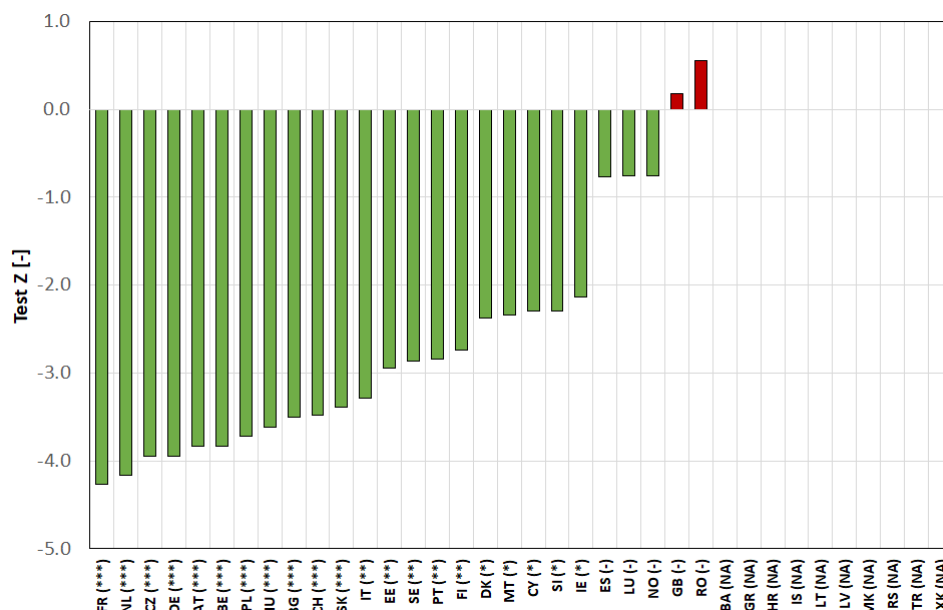
Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła			Stężenie średnie roczne		
	Uwzględnione	Przekroczenie D24	Przekroczenie Da	Min	Średnia	Maks
	[-]	[-]	[-]	[µg/m ³]	[µg/m ³]	[µg/m ³]
AT	25	0	0	5,7	11,6	14,6
BA	2	1	1	18,6	37,7	56,8
BE	13	0	0	5,3	12,0	18,4
BG	2	0	0	9,6	11,6	13,7
CH	9	0	0	6,9	10,1	14,2
CY	1	0	0	20,1	20,1	20,1
CZ	43	0	0	7,0	13,7	22,7
DE	67	0	0	3,9	10,2	15,1
DK	2	0	0	12,9	13,1	13,4
EE	1	0	0	5,4	5,4	5,4
ES	61	3	0	6,5	14,3	31,7
FI	5	0	0	2,4	4,4	6,7
FR	29	0	0	3,8	10,8	15,0
GR	2	0	0	15,7	21,3	26,9
HR	5	0	0	12,4	13,5	14,7
HU	4	0	0	11,1	16,5	21,3
IE	3	0	0	7,2	9,3	12,8
IT	66	4	0	6,2	17,7	33,3
LT	1	0	0	10,3	10,3	10,3
LU	1	0	0	13,8	13,8	13,8
LV	1	0	0	12,9	12,9	12,9
MK	1	0	0	8,6	8,6	8,6
MT	1	0	0	18,3	18,3	18,3
NL	24	0	0	11,9	13,9	16,4
NO	3	0	0	2,6	3,5	4,2
PL ^{*)}	17	0	0	7,3	15,9	22,8
PT	13	0	0	5,2	12,3	18,5
RO	3	1	1	16,4	26,9	45,8
RS	1	0	0	14,3	14,3	14,3
SE	5	0	0	4,0	7,4	9,8
SI	2	0	0	9,6	14,2	18,8
SK	5	0	0	8,6	11,7	14,1
TR	25	7	3	11,6	26,3	62,2
Europa	443	16	5	2,4	14,0	62,2

^{*)} Stacje: Belsk, Borowiec-Drapalka, Borsukowizna-Wiejska, Bory Tucholskie, Czerniawa, Florianka RPN, Gajew, Gołuchów Ujęcie Wody, Godów, Guty Duże, KMS Puszca Borecka, Konieczynka, Osieczów, Parzniewice, Smolary Bytnickie, Szymbark, Złoty Potok Leśniczówka



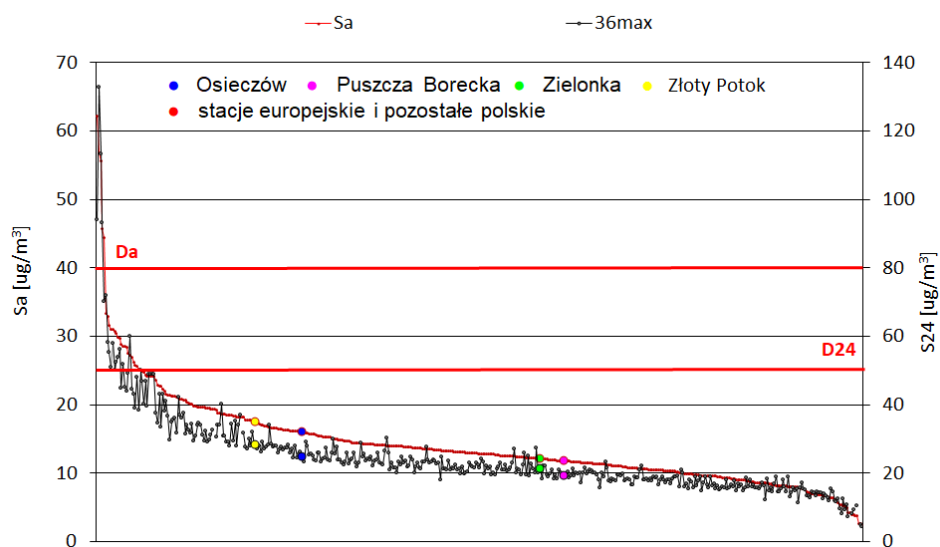
Rys. 7.1.1. Wartości stężeń średnich rocznych pyłu zawieszonego PM10 (minimalne, średnie i maksymalne) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji pozamiejskich tła uwzględnionych w analizie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)

Przeprowadzona analiza statystyczna trendów zmian stężeń pyłu zawieszonego PM10 w okresie 2010-2023 w poszczególnych krajach Europy w praktyce wskazuje na zauważalne istotne statystycznie spadki. Taka sytuacja dotyczy 21 spośród 26 krajów, dla których możliwe było obliczenie trendu. Najwyższe istotności statystyczne spadków stężeń obserwuje się kolejno (od najbardziej istotnych) dla: Francji, Holandii, Czech, Niemiec, Austrii, Belgii, Polski, Węgier, Bułgarii, Szwajcarii oraz Słowacji. Dla Hiszpanii, Luksemburga i Norwegii obserwuje się nieistotne statystycznie tendencje malejące stężeń średnich rocznych pyłu zawieszonego PM10. Wyjątek stanowią Wielka Brytania oraz Rumunia z niewielką i nieistotną statystycznie tendencją rosnącą, przy czym należy podkreślić, że dla Wielkiej Brytanii dane po roku 2020 nie są dostępne (Rys. 7.1.2).



Rys. 7.1.2. Trendy i tendencje zmian stężeń średnich rocznych pyłu zawieszonego PM10 w poszczególnych krajach Europy w latach 2010-2023 (źródło danych: EAŚ)

Wartości średnie roczne stężeń pyłu zawieszonego PM10 na stacjach pozamiejskich tła w Europie w 2023 roku zawierały się w granicach 2,4-62,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Rys. 7.1.3). Wśród 5% stacji z najwyższymi stężeniami średnimi rocznymi (22 stacje), znalazło się po 10 stacji tureckich (w tym 1 i 3 maksimum europejskie), 6 stacji włoskich, 3 stacje z Hiszpanii oraz po jednej z Bośni i Hercegowiny (maksimum europejskie), Grecji oraz Rumunii. Spośród objętych analizami polskich stacji tła regionalnego, najwyższe stężenie średnie roczne wystąpiło na stacji w Złotym Potoku (93 pozycja wśród najwyższych wartości w Europie na 445 analizowanych stacji). W przypadku pozostałych stacji wartości średnie roczne uplasowały je na odległych miejscach: Osieczów na 120 pozycji licząc od wartości najwyższych w Europie, Zielonka na 258 pozycji oraz Puszcza Borecka na 272 pozycji.



Rys. 7.1.3. Wartości stężeń średnich rocznych pyłu zawieszonego PM10 oraz 36 maksimum na poszczególnych stacjach pozamiejskich tła w Europie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)

7.1.2. Metale ciężkie w pyłe zawieszonym PM10

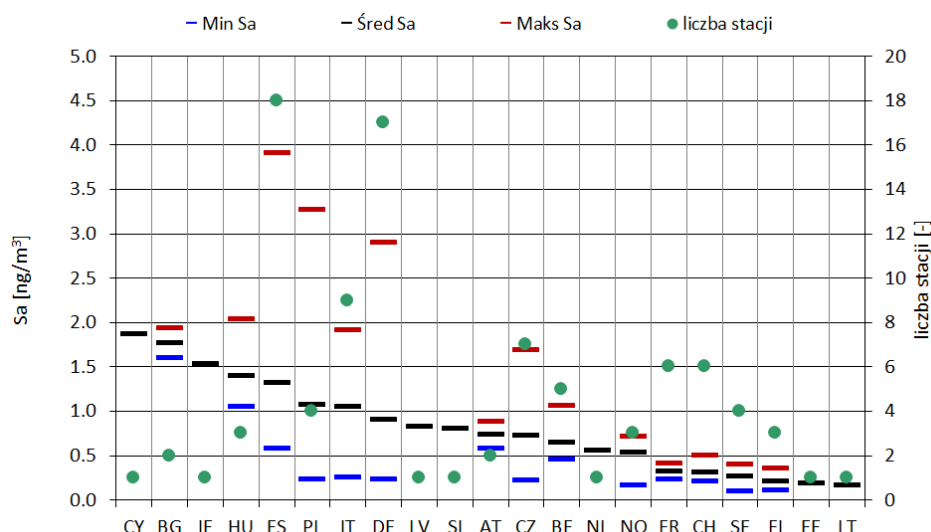
Ocenę zanieczyszczenia powietrza metalami ciężkimi (As, Cd, Ni, i Pb) zawartymi w pyłe zawieszonym PM10 za rok 2023 przeprowadzono z uwzględnieniem 99 stacji pozamiejskich tła funkcjonujących w 22 krajach. Najwięcej stacji zlokalizowanych było w Hiszpanii (18), Niemczech (17) i Włoszech (12). W 8 krajach (Cypr, Estonia, Irlandia, Litwa, Łotwa, Holandia, Rumunia i Słowenia) ocenie poddano wyniki pomiarów pochodzących z pojedynczych stacji.

Wartości parametrów statystycznych analizowanych metali ciężkich zawartych w pyłe zawieszonym PM10, obliczonych dla poszczególnych krajów, przedstawiono w tabelach 7.1.2 - 7.1.5 oraz na rysunkach 7.1.4 - 7.1.11. W 2023 roku nie zanotowano przekroczeń poziomu docelowego dla żadnego z analizowanych w pyłe zawieszonym PM10 metali ciężkich.

Tab. 7.1.2. Stężenia średnie roczne dla Ni oznaczanego w pyłe zawieszonym PM₁₀ (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła	Stężenie średnie roczne		
		Min	Średnia	Maks
	[-]	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[ng/m ³]
AT	2	0,578	0,726	0,873
BE	5	0,454	0,636	1,052
BG	2	1,597	1,762	1,926
CH	6	0,200	0,300	0,500
CY	1	1,864	1,864	1,864
CZ	7	0,218	0,714	1,687
DE	17	0,227	0,900	2,899
EE	1	0,181	0,181	0,181
ES	18	0,577	1,319	3,910
FI	3	0,105	0,208	0,348
FR	6	0,223	0,313	0,410
HU	3	1,042	1,393	2,031
IE	1	1,529	1,529	1,529
IT	9	0,250	1,048	1,903
LT	1	0,158	0,158	0,158
LV	1	0,817	0,817	0,817
NL	1	0,553	0,553	0,553
NO	3	0,156	0,525	0,710
PL ^{*)}	4	0,231	1,070	3,260
SE	4	0,096	0,255	0,393
SI	1	0,795	0,795	0,795
Europa	96	0,096	0,813	3,910

^{*)} Stacje: Bory Tucholskie, Godów, KMŚ Puszcza Borecka, Osieczów

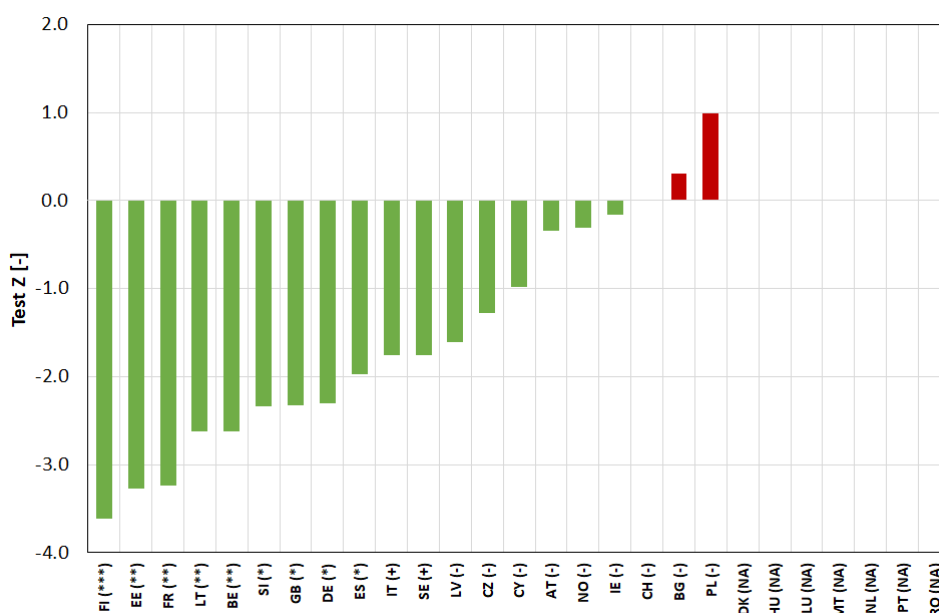


Rys. 7.1.4. Wartości stężeń średnich rocznych dla Ni w pyłe zawieszonym PM₁₀ (minimalne, średnie i maksymalne) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji pozamiejskich tła uwzględnionych w analizie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)

Uzyskane w 2023 roku wyniki stężeń średnich rocznych niklu zawartego w pyłe zawieszonym PM₁₀ na obszarach tła pozamiejskiego w poszczególnych krajach Europy pokazują, że spośród 21 państw, gdzie wykonywano oznaczenia tego metalu, średnie stężenie

w Polsce znajduje się nieco powyżej wartości średniego stężenia w Europie. Wyższe stężenia niż dla Polski zaobserwowano dla Cypru (najwyższe w Europie), Bułgarii, Irlandii, Węgier i Hiszpanii. Warto zauważyć bardzo dużą rozpiętość stężeń na stacjach w dużych krajach, tj. w Hiszpanii, Polsce i w Niemczech. Najniższe średnie stężenie Ni w roku 2023 odnotowano w przypadku Estonii i Litwy, gdzie pomiary wykonywano na pojedynczych stacjach (Tab. 7.1.2, Rys. 7.1.4).

Analiza trendów stężeń średnich rocznych Ni oznaczanego w pyle zawieszonym PM10 w krajach europejskich w okresie 2010-2023, przeprowadzona dla 20 krajów, dla których można było wykonać testy statystyczne, pokazuje generalne spadki dla 17 krajów. Wyjątek stanowią Belgia i Polska, dla których obserwuje się nieistotne statystycznie wzrosty (wyższy w Polsce). Dla 11 krajów obserwuje się istotne statystycznie trendy malejące w okresie 2010-2023, najbardziej zauważalne i o najwyższej istotności w przypadku Finlandii. Dla 6 krajów obserwuje się nieistotnie statystyczne tendencje malejące, a dla jednego (Szwajcaria) zaobserwowano brak jakiejkolwiek tendencji (Rys. 7.1.4).



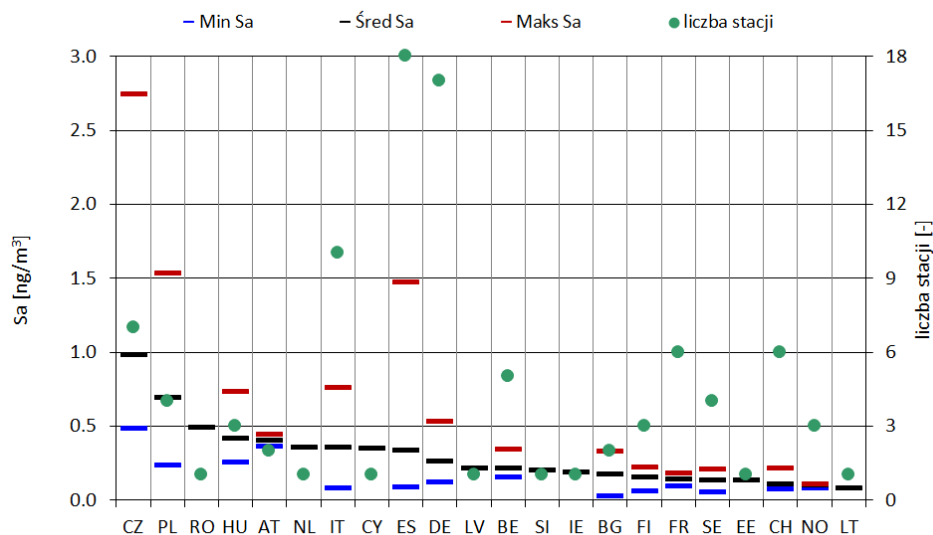
Rys. 7.1.5. Trendy i tendencje zmian stężeń średnich rocznych Ni w pyle zawieszonym PM10 w poszczególnych krajach Europy w latach 2010-2023 (źródło danych: EAŚ)

W przypadku arsenu oznaczanego w pyle zawieszonym PM10, uśrednione stężenie dla Polski na obszarach tła pozamiejskiego w 2023 roku było jednym najwyższych wśród analizowanych 22 krajów Europy. Wyższą wartość niż w Polsce uzyskano tylko w przypadku Czech. Najniższe stężenia średnie roczne As oznaczanego w pyle zawieszonym PM10 zaobserwowano dla Litwy i Norwegii (Tab. 7.1.3, Rys. 7.1.6).

Tab. 7.1.3. Stężenia średnie roczne dla As oznaczanego w pyłe zawieszonym PM₁₀ (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła	Stężenie średnie roczne		
		Min	Średnia	Maks
	[-]	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[ng/m ³]
AT	2	0,360	0,398	0,436
BE	5	0,151	0,210	0,339
BG	2	0,019	0,172	0,325
CH	6	0,070	0,105	0,210
CY	1	0,347	0,347	0,347
CZ	7	0,478	0,974	2,741
DE	17	0,114	0,258	0,523
EE	1	0,127	0,127	0,127
ES	18	0,080	0,331	1,470
FI	3	0,055	0,151	0,218
FR	6	0,086	0,137	0,174
HU	3	0,249	0,410	0,727
IE	1	0,185	0,185	0,185
IT	10	0,075	0,348	0,752
LT	1	0,074	0,074	0,074
LV	1	0,213	0,213	0,213
NL	1	0,353	0,353	0,353
NO	3	0,075	0,095	0,105
PL ^{*)}	4	0,228	0,690	1,527
RO	1	0,486	0,486	0,486
SE	4	0,045	0,128	0,205
SI	1	0,193	0,193	0,193
Europa	98	0,019	0,290	2,741

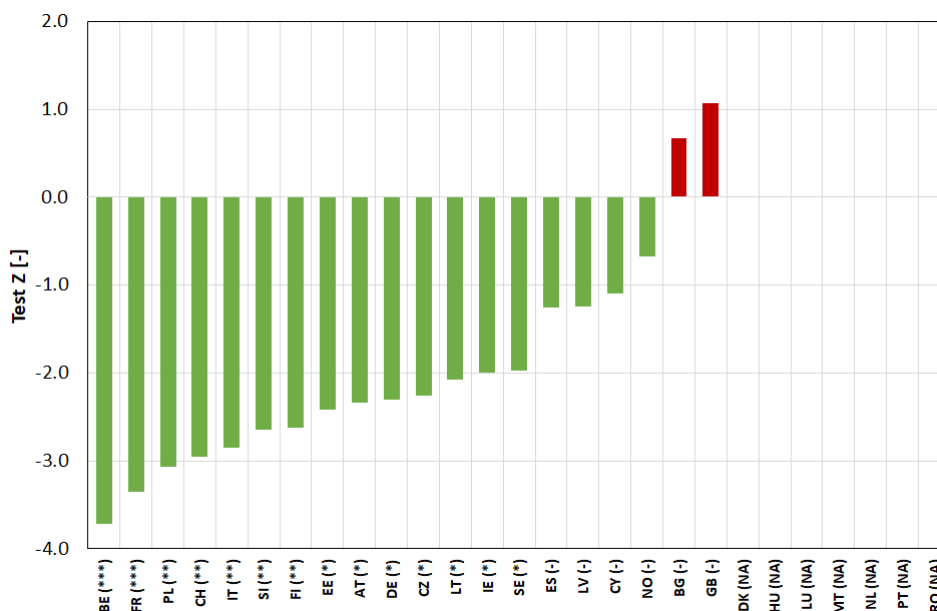
^{*)} Stacje: Bory Tucholskie, Godów, KMŚ Puszcza Borecka, Osieczów



Rys. 7.1.6. Wartości stężeń średnich rocznych As w pyłe zawieszonym PM₁₀ (minimalne, średnie i maksymalne) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji pozamiejskich tła uwzględnionych w analizie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)

Analiza zmian stężeń średnich rocznych As oznaczanego w pyłe zawieszonym PM₁₀ w poszczególnych krajach w okresie 2010-2023 (przeprowadzenie testów statystycznych możliwe było dla 20 krajów) wskazuje na generalne spadki w przypadku 18 krajów. Wyjątek

stanowią Bułgaria i Wielka Brytania (przy braku danych od 2020 roku), dla których zaobserwowano nieistotne statystycznie tendencje rosnące. Istotne statystycznie trendy malejące zaobserwowano dla 14 krajów, najbardziej znaczące w przypadku Belgii i Francji oraz nieco mniejszy i mniej istotny w przypadku Polski (Rys. 7.1.7).



Rys. 7.1.7. Trendy i tendencje zmian stężeń średnich rocznych As w pyłe zawieszonym PM10 w poszczególnych krajach Europy w latach 2010-2023 (źródło danych: EAŚ)

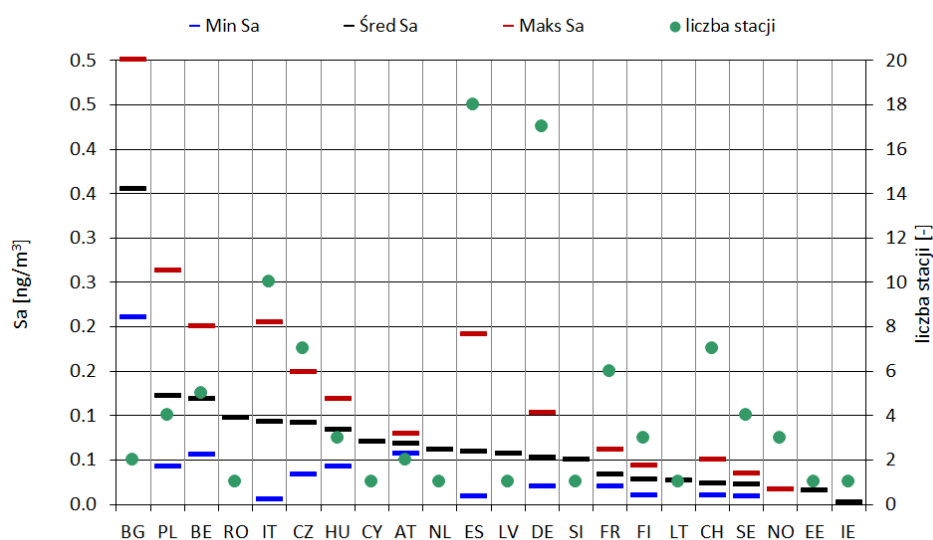
Przeprowadzona analiza dla 22 rozważanych krajów europejskich wskazuje, że w przypadku Polski stężenie średnie roczne kadmu oznaczanego w pyłe zawieszonym PM10 było na jednym z najwyższych poziomów w Europie. Wyższe niż dla Polski stężenia uzyskano tylko dla Bułgarii. Najniższe stężenia Cd oznaczanego w pyłe zawieszonym PM10 obserwowano dla Irlandii i Estonii (Tab. 7.1.4, Rys. 7.1.8).

Tab. 7.1.4. Stężenia średnie roczne dla Cd oznaczanego w pyłe zawieszonym PM10 (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejscowych tła	Stężenie średnie roczne		
		Min	Średnia	Maks
	[-]	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[ng/m ³]
AT	2	0,057	0,068	0,079
BE	5	0,056	0,118	0,200
BG	2	0,210	0,355	0,500
CH	7	0,010	0,023	0,050
CY	1	0,070	0,070	0,070
CZ	7	0,033	0,092	0,149
DE	17	0,020	0,052	0,103
EE	1	0,015	0,015	0,015
ES	18	0,009	0,059	0,191
FI	3	0,010	0,028	0,043
FR	6	0,020	0,033	0,061
HU	3	0,042	0,084	0,118
IE	1	0,002	0,002	0,002

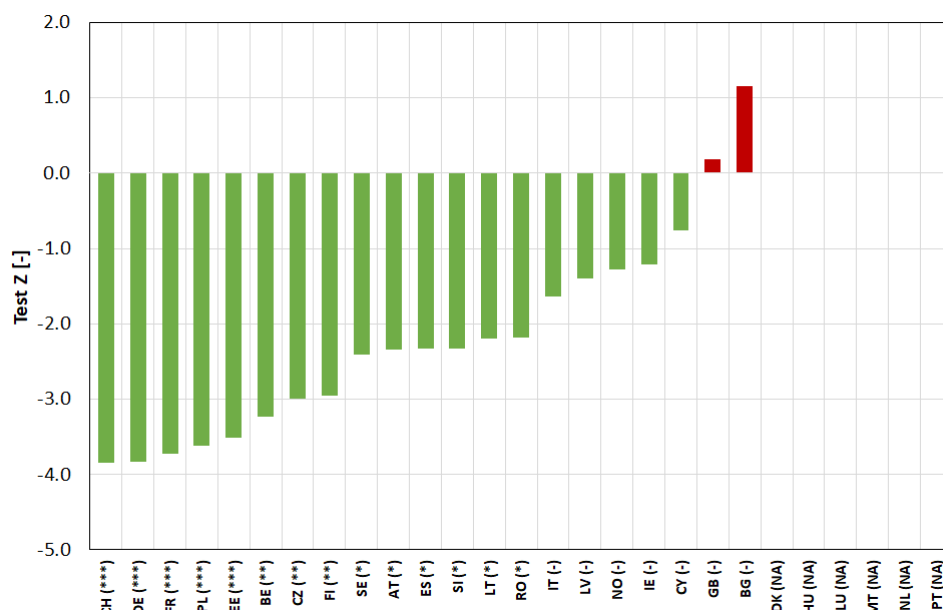
Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła	Stężenie średnie roczne		
		Min	Średnia	Maks
	[-]	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[ng/m ³]
IT	10	0,005	0,093	0,205
LT	1	0,026	0,026	0,026
LV	1	0,057	0,057	0,057
NL	1	0,061	0,061	0,061
NO	3	0,016	0,016	0,016
PL ^{*)}	4	0,042	0,122	0,263
RO	1	0,097	0,097	0,097
SE	4	0,009	0,022	0,034
SI	1	0,050	0,050	0,050
Europa	99	0,002	0,070	0,500

^{*)} Stacje: Bory Tucholskie, Godów, KMS Puszca Borecka, Osieczów



Rys. 7.1.8. Wartości stężeń średnich rocznych dla Cd w pylenie zawieszonym PM10 (minimalne, średnie i maksymalne) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji pozamiejskich tła uwzględnionych w analizie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)

Analiza zmienności stężeń średnich rocznych Cd oznaczanego w pylenie zawieszonym PM10 obliczonych dla poszczególnych krajów europejskich w okresie 2010-2023 (analizy przeprowadzono dla 21 krajów, dla których możliwe było przeprowadzenie testów statystycznych), wskazuje na spadki, z wyjątkiem Wielkiej Brytanii (przy braku danych z okresu 2020-2023) i Bułgarii, dla których obserwuje się nieistotne statystycznie wzrosty. Dla 14 krajów odnotowano istotne statystycznie trendy malejące, najbardziej wyraźnie zarysowane i o największej istotności dla Szwajcarii, Niemiec, Francji, Polski i Estonii. Dla 5 krajów zaobserwowano nieistotne statystycznie tendencje spadkowe w okresie 2010-2023 (Rys. 7.1.9).



Rys. 7.1.9. Trendy i tendencje zmian stężeń średnich rocznych Cd w pyłe zawieszonym PM10 w poszczególnych krajach Europy w latach 2010-2023 (źródło danych: EAŚ)

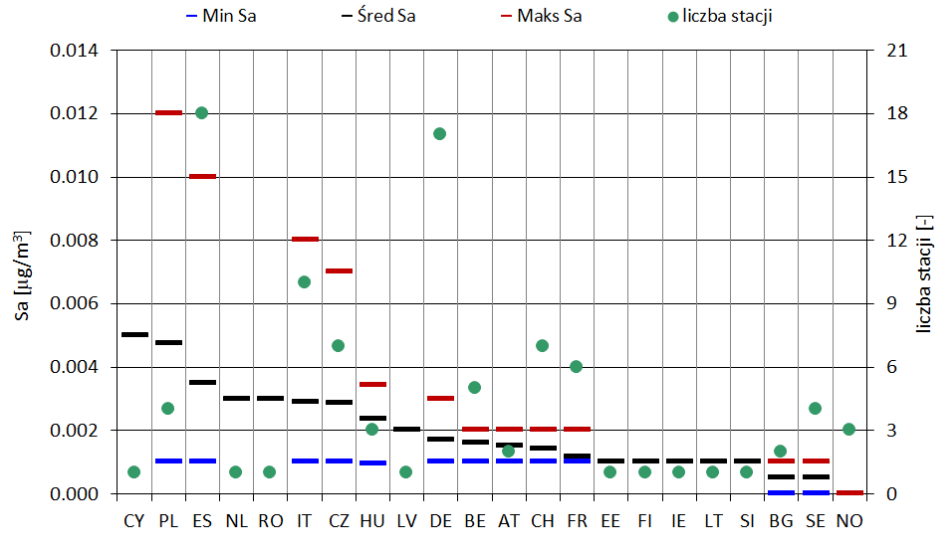
W przypadku stężeń ołowiu oznaczanego w pyłe zawieszonym PM10, uśrednionych na obszarach tła pozamiejskiego w poszczególnych krajach Europy w 2023 roku, wśród 22 analizowanych krajów, gdzie prowadzono pomiary tego metalu, stężenie średnie roczne ołowiu w Polsce było na poziomie wysokim. Nieznacznie wyższe niż w Polsce stężenie obserwowano jedynie w przypadku Cypru. Najniższe wartości w roku 2023 uzyskano dla dwóch krajów skandynawskich - Norwegii i Szwecji (Tab. 7.1.5, Rys. 7.1.10).

Tab. 7.1.5. Stężenia średnie roczne dla Pb oznaczanego w pyłe zawieszonym PM10 (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

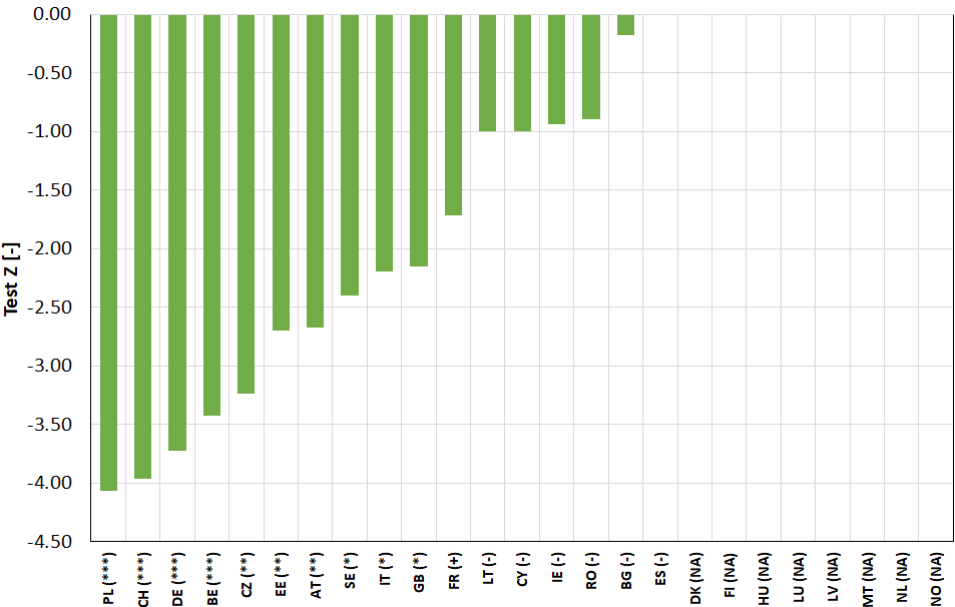
Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła [-]	Stężenie średnie roczne		
		Min	Średnia	Maks
		[µg/m ³]	[µg/m ³]	[µg/m ³]
AT	2	0,001	0,002	0,002
BE	5	0,001	0,002	0,002
BG	2	0,000	0,001	0,001
CH	7	0,001	0,001	0,002
CY	1	0,005	0,005	0,005
CZ	7	0,001	0,003	0,007
DE	17	0,001	0,002	0,003
EE	1	0,001	0,001	0,001
ES	18	0,001	0,004	0,010
FI	1	0,001	0,001	0,001
FR	6	0,001	0,001	0,002
HU	3	0,001	0,002	0,003
IE	1	0,001	0,001	0,001
IT	10	0,001	0,003	0,008
LT	1	0,001	0,001	0,001
LV	1	0,002	0,002	0,002
NL	1	0,003	0,003	0,003
NO	3	0,000	0,000	0,000
PL ^{*)}	4	0,001	0,005	0,012

Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła	Stężenie średnie roczne		
		Min	Średnia	Maks
	[-]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
RO	1	0,003	0,003	0,003
SE	4	0,000	0,001	0,001
SI	1	0,001	0,001	0,001
Europa	97	0,000	0,002	0,012

*) Stacje: Bory Tucholskie, Godów, KMŚ Puszcza Borecka, Osieczów



Rys. 7.1.10. Wartości stężeń średnich rocznych dla Pb w pyłe zawieszonym PM10 (minimalne, średnie i maksymalne) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji pozamiejskich tła uwzględnionych w analizie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)



Rys. 7.1.11. Trendy i tendencje zmian stężeń średnich rocznych Pb w pyłe zawieszonym PM10 w poszczególnych krajach Europy w latach 2010-2023 (źródło danych: EAŚ)

Analiza statystyczna zmian stężeń średnich rocznych Pb oznaczanego w pyłe zawieszonym PM10 na obszarach tła pozamiejskiego w poszczególnych krajach europejskich wykazuje znaczące spadki w okresie 2010-2023. Spośród 17 dla krajów, dla których możliwe było przeprowadzenie testów statystycznych, dla 11 obserwuje się istotne statystycznie trendy malejące, najwyraźniej zarysowane w przypadku Polski, Szwajcarii, Niemiec i Belgii. Dla 5 krajów obserwuje się nieistotne statystycznie tendencje malejące, przy braku tendencji w przypadku Hiszpanii (Rys. 7.1.9).

Wartości średnie roczne stężeń metali ciężkich oznaczanych w pyłe zawieszonym PM10 na pojedynczych stacjach pozamiejskich tła w Europie w 2023 roku mieściły się w granicach odpowiednio: 0,096-3,910 ng/m³ dla Ni; 0,019-2,741 ng/m³ dla As; 0,002-0,500 ng/m³ dla Cd oraz 0,000-0,012 µg/m³ dla Pb.

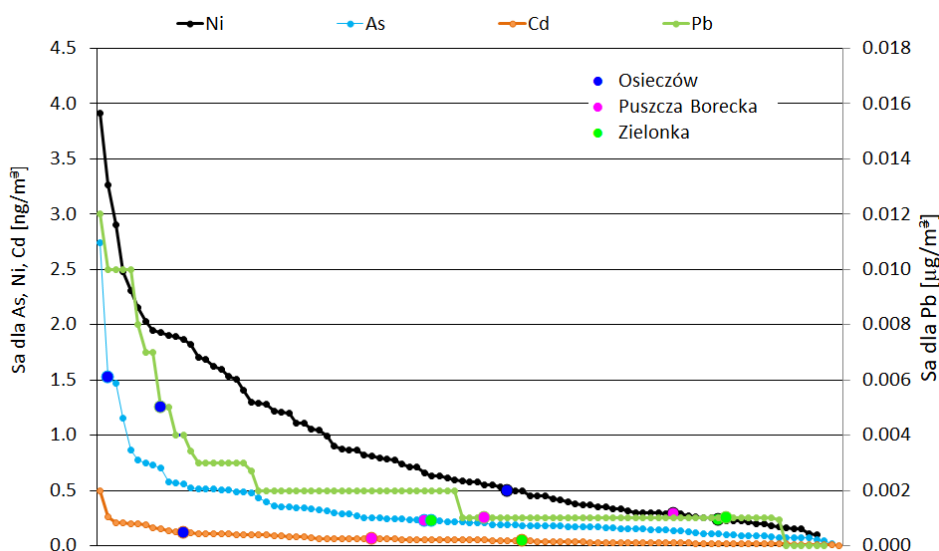
W przypadku Ni oznaczanego w pyłe zawieszonym PM10, wśród 10% stacji z najwyższymi stężeniami średnimi rocznymi (spośród 96 analizowanych), znajdowały się po trzy stacje z Niemiec (w tym z 3 maksimum europejskim) i Hiszpanii (z maksimum europejskim) oraz po jednej stacji z Bułgarii, Węgier, Włoch i Polski (z 2 maksimum europejskim na stacji w Godowie). Średnie roczne stężenia Ni na 3 rozważanych w opracowaniu polskich stacjach tła regionalnego Osieczów, Puszcza Borecka i Zielonka, usytuowały je wśród stężeń niskich, odpowiednio na pozycjach 55, 77 i 83 licząc od najwyższego stężenia w Europie (Rys. 7.1.12). Najniższe stężenia w Europie zanotowano na stacjach skandynawskich – w Szwecji, Finlandii i Norwegii.

Inaczej sytuacja wyglądała w przypadku stężeń średnich rocznych na stacjach tła pozamiejskiego w przypadku arsenu oznaczanego w pyłe zawieszonym PM10. Wśród 10% stacji z najwyższymi stężeniami As oznaczanego w pyłe zawieszonym PM10 znalazły się łącznie 4 stacje czeskie (w tym jedna z maksimum europejskim), po 2 stacje polskie (Osieczów jako 2 maksimum i Godów na pozycji 6 maksimum) i Włoch oraz jedna stacja hiszpańska i jedna węgierska. Stężenie średnie roczne na pozostałych stacjach tła regionalnego w Polsce ulokowały Puszcę Borecką i Zielonkę w środku stawki, tuż obok siebie, na pozycjach 44 i 45 maksimum europejskiego (Rys. 7.1.12). Najniższe wartości As oznaczanego w pyłe zawieszonym PM10 zanotowano na stacji bułgarskiej.

Przeprowadzona analiza rozkładu stężeń uzyskanych na poszczególnych stacjach europejskich w 2023 roku, w przypadku stężeń średnich kadmu oznaczanego w pyłe zawieszonym PM10 pokazuje, że wśród 10% stacji z najwyższymi wartościami w Europie (na 99 analizowanych), po 2 zlokalizowane były w Belgii, Bułgarii (w tym 1 i 3 maksimum europejskie), Hiszpanii i we Włoszech oraz jedna stacja z Polski (Godów z 3 maksimum). Wartości stężenia średniego rocznego kadmu w pyłe zawieszonym PM10 na stacjach tła regionalnego znacznie się różniły od siebie i lokowały te stacje odpowiednio: Osieczów w strefie stężeń bardzo wysokich, jako 12 maksymalna wartość w Europie, Puszcza Borecka w strefie wartości wysokich – z 37 wartością maksymalną oraz Zielonka w strefie stężeń poniżej średniej europejskiej, na pozycji 57 maksimum licząc od wartości najwyższych (Rys. 7.1.12).

W przypadku ołowiu oznaczanego w pyłe zawieszonym PM10, spośród 10% stacji tła pozamiejskiego w Europie z najwyższymi stężeniami w 2023 roku (na 97 poddanych analizie)

znajdowało się 5 stacje z Hiszpanii (w tym z 2 i 3 maksimum europejskim), 2 stacje z Polski (w tym maksimum europejskie w Godowie oraz 9 maksimum na stacji tła regionalnego w Osieczowie) oraz po jednej z Cypru i Włoch. Stężenia średnie roczne na pozostałych polskich stacjach tła regionalnego zlokalizowane zostały odpowiednio: w strefie stężeń średnich w przypadku Puszczy Boreckiej - na pozycji 52 maksimum oraz w strefie stężeń niskich w przypadku Zielonki - na pozycji 88 maksimum licząc od wartości najwyższych (Rys. 7.1.12).



Rys. 7.1.12. Wartości stężeń średnich rocznych metali ciężkich oznaczanych w pyłach zawieszonych PM10 na poszczególnych stacjach pozamiejskich tła w Europie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)

7.1.3. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w pyłach zawieszonych PM10

Ocenę zanieczyszczenia powietrza wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi zawartymi w pyłach zawieszonych PM10 w Europie w 2023 roku przeprowadzono z uwzględnieniem 105 stacji pozamiejskich tła prowadzących pomiary w 19 krajach. Najwięcej stacji prowadzących pomiary WWA w pyłach zawieszonych PM10, spełniających przyjęte w opracowaniu kryteria selekcji danych (por. rozdział 2), zlokalizowanych było w Hiszpanii, Włoszech, Niemczech i Czechach (powyżej 10 w każdym kraju). W 7 krajach w ocenie wykorzystano wyniki pomiarów pochodzące z pojedynczych stacji. Zdecydowanie najwięcej stacji wykonywało pomiary benzo(a)pirenu, zaś najmniej benzo(b)fluorentenu.

Uzyskane w roku 2023 wyniki dla wszystkich poddanych analizie wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych oznaczanych w pyłach zawieszonych PM10, tj. dla B(a)P, B(a)A, B(b)F, B(j)F, B(k)F, I(1,2,3-cd)P oraz D(a,h)A na stacjach tła pozamiejskiego w Europie wskazują na najwyższe poziomy w Polsce (Tab. 7.1.6 - 7.1.12, Rys. 7.1.13 - 7.1.24).

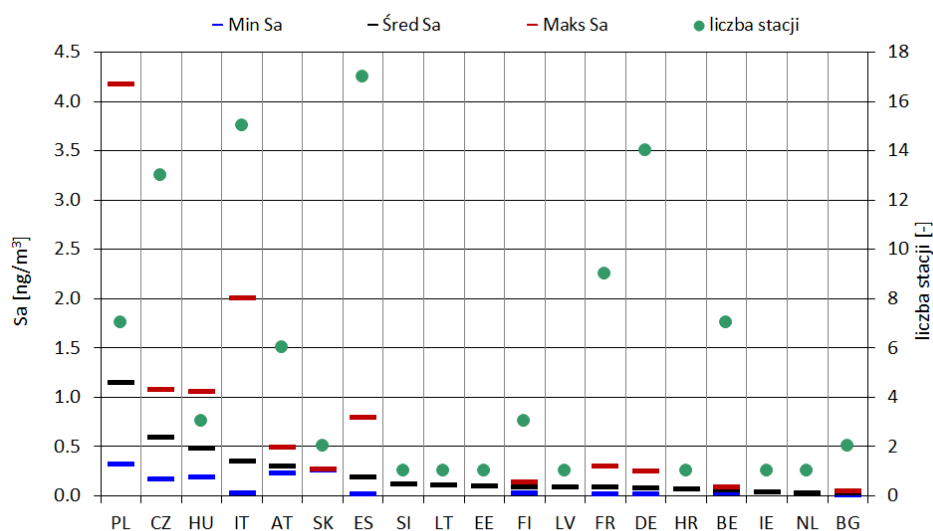
Uzyskane z pomiarów w 2023 roku stężenia oznaczanego B(a)P w pyłach zawieszonych PM10, uśrednione dla poszczególnych krajów europejskich, wskazują na najwyższe poziomy w Polsce. Wysokie wartości obserwuje się również w Czechach i na Węgrzech. Najniższe wartości przeciętne tego zanieczyszczenia, spośród 19 analizowanych krajów, gdzie

proawdzono pomiary tego WWA, uzyskano dla Bułgarii i Holandii (Tab. 7.1.6, Rys. 7.1.13). Przekroczenia rocznej wartości dopuszczalnej w 2023 roku wystąpiły na 6 stacjach, w tym na 3 polskich (Godów, Koniczynka, Parzniewice), oraz jednej włoskiej, czeskiej i węgierskiej.

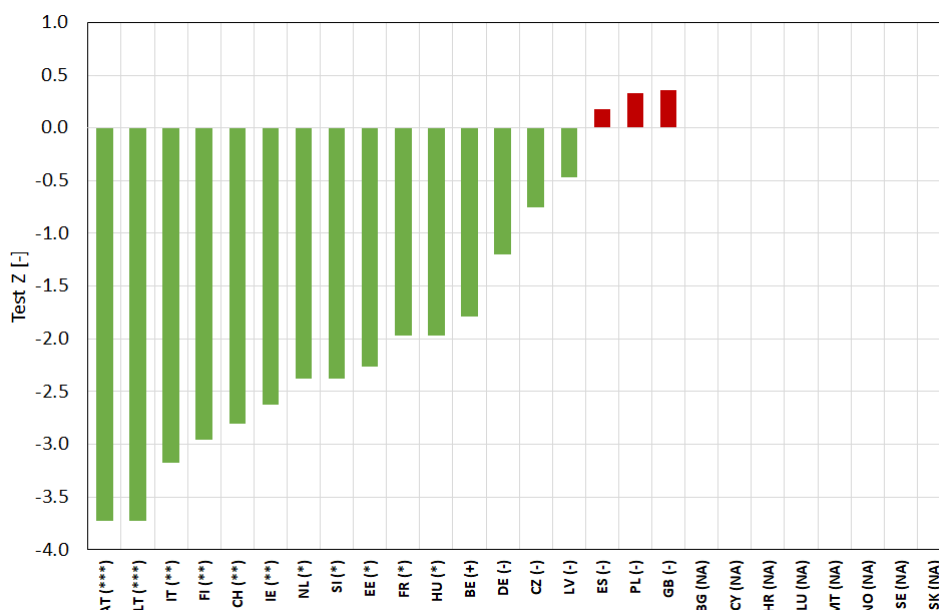
Tab. 7.1.6. Stężenia średnie roczne dla B(a)P oznaczanego w pyłe zawieszonym PM₁₀ (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła		Stężenie średnie roczne		
	Uwzględnionych	Przekroczenie Da	Min	Średnia	Maks
	[-]	[-]	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[ng/m ³]
AT	6	0	0,219	0,291	0,483
BE	7	0	0,015	0,045	0,081
BG	2	0	0,001	0,018	0,035
CZ	13	1	0,162	0,581	1,065
DE	14	0	0,011	0,069	0,240
EE	1	0	0,085	0,085	0,085
ES	17	0	0,009	0,182	0,782
FI	3	0	0,013	0,079	0,133
FR	9	0	0,006	0,074	0,288
HR	1	0	0,053	0,053	0,053
HU	3	1	0,183	0,471	1,043
IE	1	0	0,026	0,026	0,026
IT	15	1	0,017	0,344	1,993
LT	1	0	0,094	0,094	0,094
LV	1	0	0,075	0,075	0,075
NL	1	0	0,022	0,022	0,022
PL ^{*)}	7	3	0,311	1,140	4,165
SI	1	0	0,113	0,113	0,113
SK	2	0	0,251	0,257	0,262
Europa	105	6	0,001	0,212	4,165

^{*)} Stacje: Bory Tucholskie, Godów, KMŚ Puszcza Borecka, Koniczynka, Osieczów, Parzniewice, Smolary Bytnickie



Rys. 7.1.13. Wartości stężeń średnich rocznych dla B(a)P w pyłe zawieszonym PM₁₀ (minimalne, średnie i maksymalne) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji pozamiejskich tła uwzględnionych w analizie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)



Rys. 7.1.14. Trendy i tendencje zmian stężeń średnich rocznych B(a)P w pyłe zawieszonym PM10 w poszczególnych krajach Europy w latach 2010-2023 (źródło danych: EAŚ)

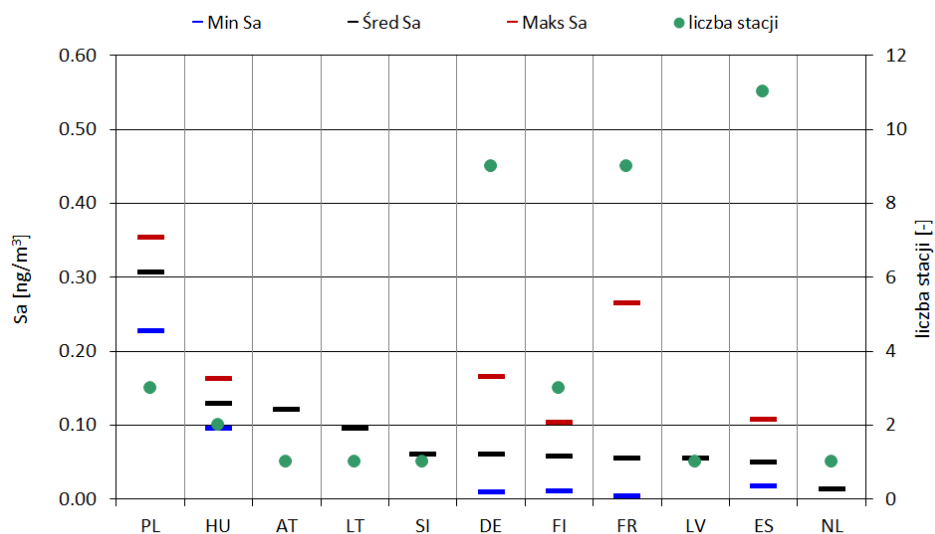
Analiza zmian stężeń średnich rocznych B(a)P zawartego w pyłe zawieszonym PM10 w poszczególnych krajach w latach 2010-2023 (statystyczna analiza możliwa była dla 17 krajów) wskazuje generalnie tendencje spadkowe, z wyjątkiem Hiszpanii, Polski i Wielkiej Brytanii, dla których zaobserwowano nieistotne statystycznie tendencje rosnące (dane dla Wielkiej Brytanii nie były dostępne dla okresu 2020-2023). Dla 12 krajów zanotowano istotne statystycznie trendy malejące, najwyraźniej zaznaczone w przypadku Austrii i Litwy (Rys. 7.1.14).

Analizy przeprowadzone dla 11 krajów prowadzących pomiary B(a)A zawartego w pyłe zawieszonym PM10 na obszarach tła pozamiejskiego wskazują, że w 2023 roku średnia dla Polski była najwyższa wśród krajów Europy. Blisko 3 krotnie niższe stężenie dotyczyło Węgier i Austrii. Najniższą wartość wśród krajów europejskich uzyskano dla Holandii (Tab. 7.1.7, Rys. 7.1.15).

Tab. 7.1.7. Stężenia średnie roczne dla B(a)A oznaczanego w pyłe zawieszonym PM10 (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

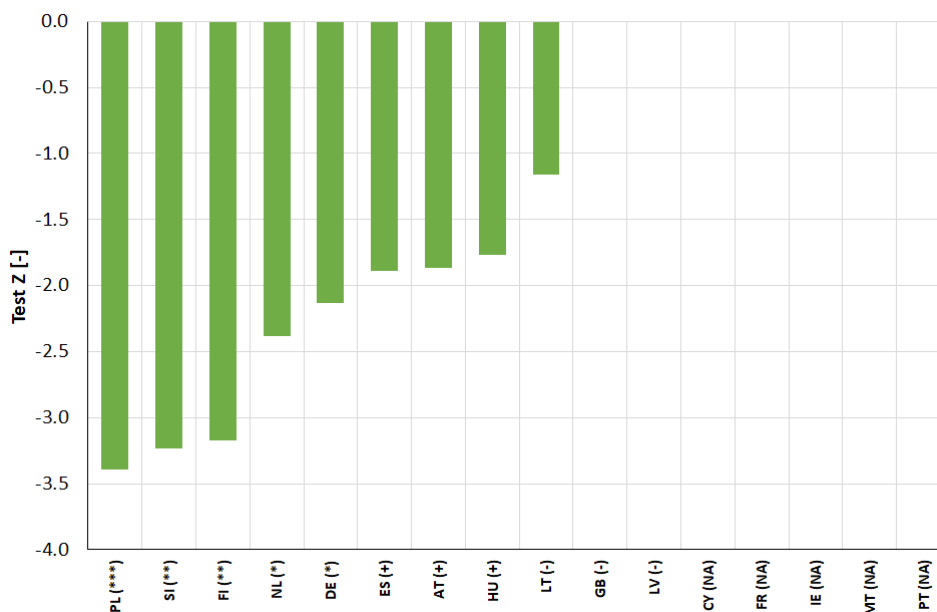
Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła [-]	Stężenie średnie roczne		
		Min	Średnia	Maks
		[ng/m ³]	[ng/m ³]	[ng/m ³]
AT	1	0,120	0,120	0,120
DE	9	0,008	0,060	0,164
ES	11	0,016	0,049	0,106
FI	3	0,010	0,057	0,103
FR	9	0,003	0,055	0,264
HU	2	0,094	0,128	0,162
LT	1	0,094	0,094	0,094
LV	1	0,054	0,054	0,054
NL	1	0,013	0,013	0,013
PL ^{*)}	3	0,226	0,306	0,353
SI	1	0,060	0,060	0,060
Europa	42	0,003	0,091	0,353

^{*)} Stacje: Bory Tucholskie, KMŚ Puszcza Borecka, Osieczów



Rys. 7.1.15. Wartości stężeń średnich rocznych dla B(a)A w pylenie zawieszonym PM10 (minimalne, średnie i maksymalne) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji pozamiejskich tła uwzględnionych w analizie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)

Zmiany uśrednionych wartości w okresie 2010-2023 wskazują, że dla 9 spośród 11 krajów dla których możliwe było przeprowadzenie testów, obserwuje się spadki stężeń B(a)A. Najbardziej istotnie statystycznie trendy malejące zaobserwowano dla Polski oraz dla Słowenii i Finlandii (niższe). W przypadku Wielkiej Brytanii oraz Łotwy nie obserwuje się żadnej tendencji, przy braku danych dla Wielkiej Brytanii z okresu 2020-2023 (Rys. 7.1.16).



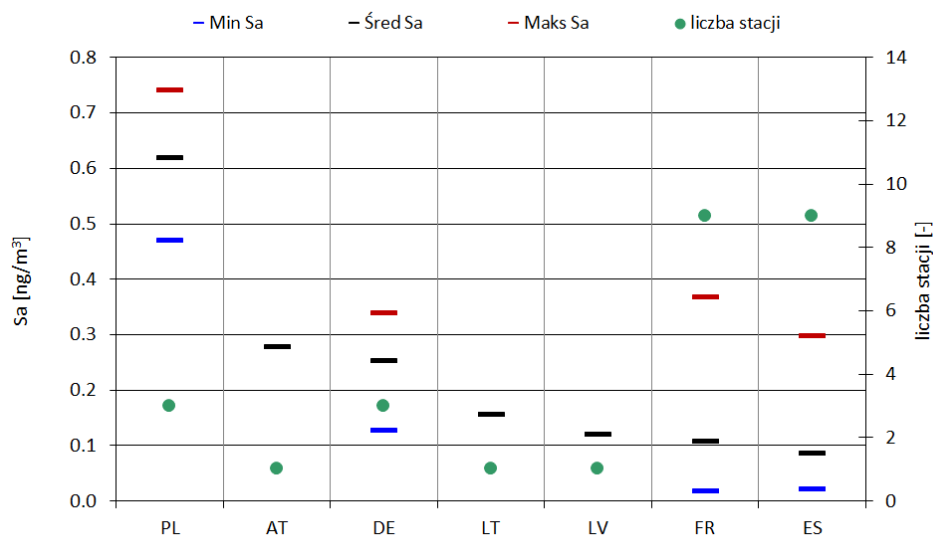
Rys. 7.1.16. Trendy i tendencje zmian stężeń średnich rocznych B(a)A w pylenie zawieszonym PM10 w poszczególnych krajach Europy w latach 2010-2023 (źródło danych: EAŚ)

Pomiary B(b)F, B(j)F i B(k)F oznaczanych w pyłe zawieszonym PM₁₀ były wykonywane znacznie rzadziej niż w przypadku pozostałych WWA i zaledwie w 7 krajach (Austrii, Niemczech, Hiszpanii, Francji, Łotwie, Litwie i w Polsce). Ocena uśrednionych wartości dla poszczególnych krajów w Europie dla tych trzech WWA wskazuje na najwyższe stężenia w Polsce dla wszystkich 3 zanieczyszczeń, przy najwyższych poziomach w Europie obserwowanych na Łotwie. Najniższe stężenia średnie roczne dla B(b)F i B(k)F oznaczanych w pyłe zawieszonym PM₁₀ uzyskano dla Hiszpanii, zaś w przypadku B(j)F - dla Finlandii (Tab. 7.1.8-10, Rys. 7.1.17-19).

Tab. 7.1.8. Stężenia średnie roczne dla B(b)F oznaczanego w pyłe zawieszonym PM₁₀ (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła	Stężenie średnie roczne		
		Min	Średnia	Maks
	[-]	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[ng/m ³]
AT	1	0,277	0,277	0,277
DE	3	0,126	0,252	0,338
ES	9	0,020	0,084	0,297
FR	9	0,017	0,105	0,367
LT	1	0,155	0,155	0,155
LV	1	0,119	0,119	0,119
PL ^{*)}	3	0,468	0,618	0,740
Europa	27	0,017	0,230	0,740

^{*)} Stacje: Bory Tucholskie, KMŚ Puszcza Borecka, Osieczów

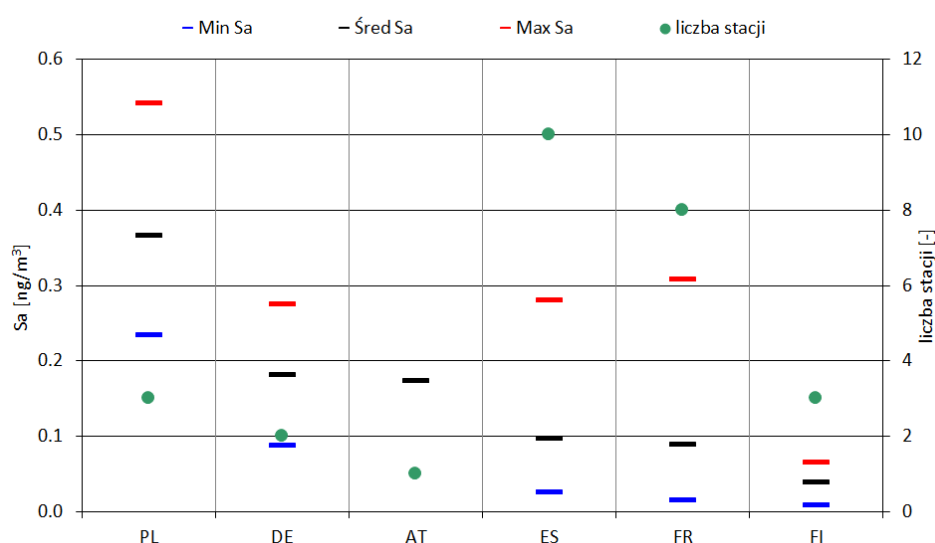


Rys. 7.1.17. Wartości stężeń średnich rocznych dla B(b)F w pyłe zawieszonym PM₁₀ (minimalne, średnie i maksymalne) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji pozamiejskich tła uwzględnionych w analizie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)

Tab. 7.1.9. Stężenia średnie roczne dla B(j)F oznaczanego w pyłe zawieszonym PM₁₀ (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła	Stężenie średnie roczne		
		Min	Średnia	Maks
	[-]	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[ng/m ³]
AT	1	0,192	0,192	0,192
DE	2	0,077	0,144	0,211
ES	9	0,030	0,108	0,280
FI	3	0,009	0,049	0,085
FR	9	0,006	0,071	0,284
LV	1	0,063	0,063	0,063
PL ^{*)}	3	0,219	0,331	0,536
Europa	28	0,006	0,137	0,536

^{*)} Stacje: Bory Tucholskie, KMŚ Puszcza Borecka, Osieczów

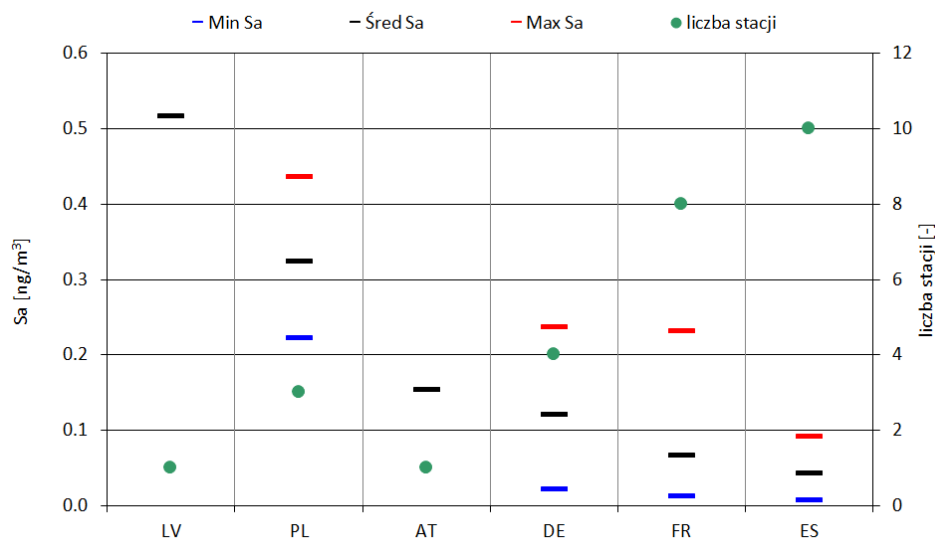


Rys. 7.1.18. Wartości stężeń średnich rocznych dla B(j)F w pyłe zawieszonym PM₁₀ (minimalne, średnie i maksymalne) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji pozamiejskich tła uwzględnionych w analizie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)

Tab. 7.1.10. Stężenia średnie roczne B(k)F oznaczanego w pyłe zawieszonym PM₁₀ (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

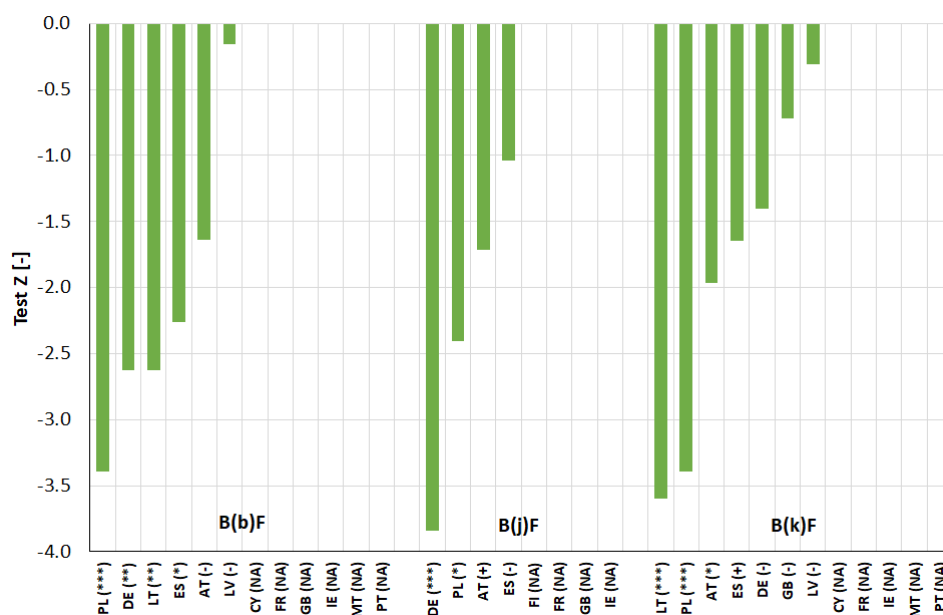
Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła	Stężenie średnie roczne		
		Min	Średnia	Maks
	[-]	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[ng/m ³]
AT	1	0,147	0,147	0,147
DE	4	0,018	0,092	0,167
ES	9	0,006	0,046	0,121
FR	9	0,005	0,049	0,180
LT	1	0,100	0,100	0,100
LV	1	0,058	0,058	0,058
PL ^{*)}	3	0,245	0,287	0,337
Europa	28	0,005	0,111	0,337

^{*)} Stacje: Bory Tucholskie, KMŚ Puszcza Borecka, Osieczów



Rys. 7.1.19. Wartości stężeń średnich rocznych dla B(k)F w pyłe zawieszonym PM10 (minimalne, średnie i maksymalne) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji pozamiejskich tła uwzględnionych w analizie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)

Analiza zmian stężeń średnich rocznych B(b)F (w analizie uwzględniono 6 krajów), B(j)F (uwzględniono 4 kraje) i B(k)F (uwzględniono 7 krajów) oznaczanych w pyłe zawieszonym PM10 obliczonych dla poszczególnych krajów europejskich w okresie 2010-2023 wskazuje na znaczące spadki. W przypadku Polski obserwuje się wyraźnie zaznaczone istotne statystycznie trendy malejące dla wszystkich 3 analizowanych WWA, w przypadku B(b)F najwyraźniej zaznaczony w Europie oraz nieco słabiej zaznaczony niż dla Niemiec w przypadku B(j)F oraz Litwy w przypadku B(k)F. Istotny statystycznie trend malejący, poza wymienionymi krajami, obserwuje się jeszcze dla Litwy (dla B(b)F), Hiszpanii (w przypadku B(b)F i B(k)F oraz dla Austrii (dla B(j)F) - Rys. 7.1.20.



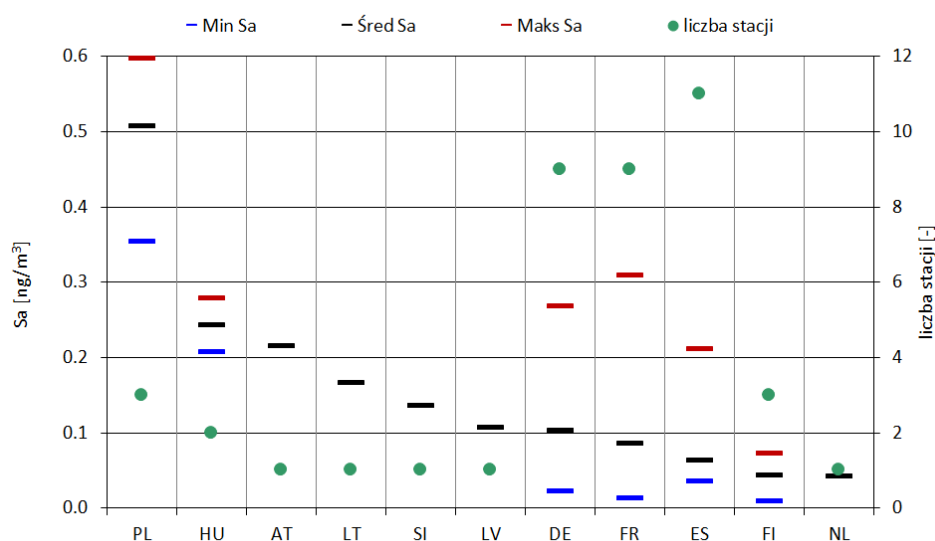
Rys. 7.1.20. Trendy i tendencje zmian stężeń średnich rocznych B(b)F, B(j)F i B(k)F w pyłe zawieszonym PM10 w poszczególnych krajach Europy w latach 2010-2023 (źródło danych: EAŚ)

Podobnie, jak w przypadku wcześniej omawianych rozkładów stężeń poszczególnych WWA w Europie, stężenie średnie roczne I(1,2,3-cd)P oznaczanego w pyłe zawieszonym PM₁₀ na obszarach tła pozamiejskiego w Polsce w roku 2023 było najwyższe w Europie. Najniższe wartości I(1,2,3-cd)P oznaczanego w pyłe zawieszonym PM₁₀ na obszarach pozamiejskich tła uzyskano dla Holandii (Tab. 7.1.11, Rys. 7.1.21).

Tab. 7.1.11. Stężenia średnie roczne I(1,2,3-cd)P oznaczanego w pyłe zawieszonym PM₁₀ (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła	Stężenie średnie roczne		
		Min	Średnia	Maks
	[-]	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[ng/m ³]
AT	1	0,214	0,214	0,214
DE	9	0,021	0,102	0,267
ES	11	0,035	0,063	0,210
FI	3	0,008	0,042	0,071
FR	9	0,012	0,085	0,308
HU	2	0,206	0,242	0,278
LT	1	0,165	0,165	0,165
LV	1	0,106	0,106	0,106
NL	1	0,041	0,041	0,041
PL ^{*)}	3	0,353	0,507	0,597
SI	1	0,135	0,135	0,135
Europa	42	0,008	0,155	0,597

^{*)} Stacje: Bory Tucholskie, KMŚ Puszcza Borecka, Osieczów



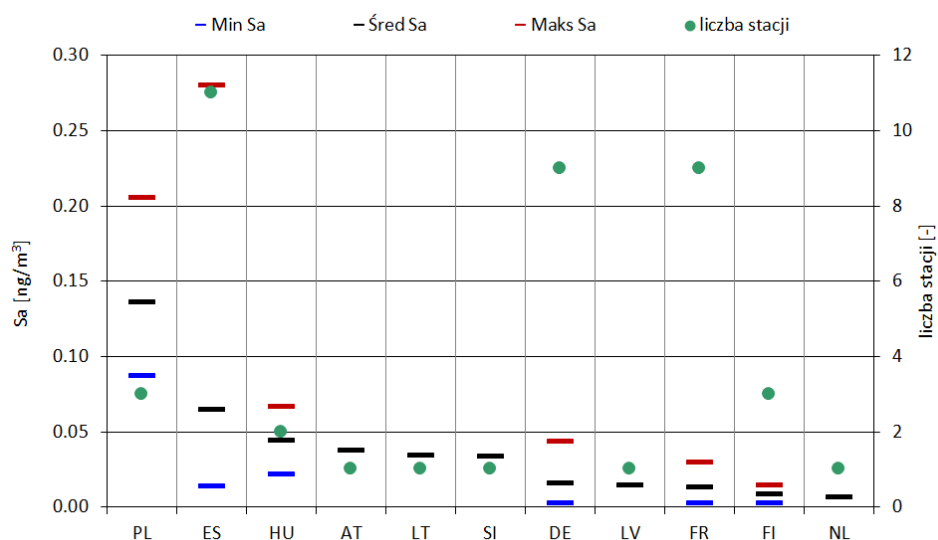
Rys. 7.1.21. Wartości stężeń średnich rocznych dla I(1,2,3-cd)P w pyłe zawieszonym PM₁₀ (minimalne, średnie i maksymalne) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji pozamiejskich tła uwzględnionych w analizie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)

Ocena różnic pomiędzy uśrednionymi dla poszczególnych krajów stężeniami rocznymi D(a,h)A oznaczanego w pyłe zwieszonym PM₁₀ na obszarach tła pozamiejskiego w roku 2023 wykazuje, że wśród 11 analizowanych krajów prowadzących pomiary tego zanieczyszczenia, najwyższe stężenie obserwowano w Polsce. Podobnie, jak w przypadku innych WWA, najniższe stężenie uzyskano dla Holandii (Tab. 7.1,12 Rys. 7.1.22).

Tab. 7.1.12. Stężenia średnie roczne dla $D(a,h)A$ oznaczanego w pyłe zawieszonym PM_{10} (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

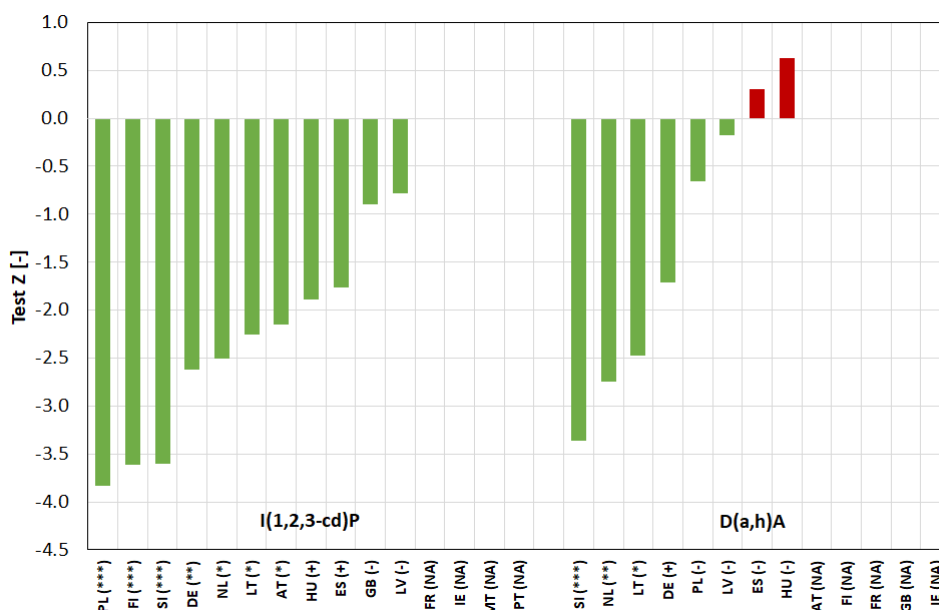
Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła	Stężenie średnie roczne		
		Min	Średnia	Maks
	[-]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]
AT	1	0,037	0,037	0,037
DE	9	0,002	0,015	0,043
ES	11	0,013	0,065	0,280
FI	3	0,002	0,008	0,014
FR	9	0,002	0,012	0,029
HU	2	0,021	0,044	0,066
LT	1	0,034	0,034	0,034
LV	1	0,014	0,014	0,014
NL	1	0,006	0,006	0,006
PL ^{*)}	3	0,087	0,136	0,205
SI	1	0,033	0,033	0,033
Europa	42	0,002	0,037	0,280

^{*)} Stacje: Bory Tucholskie, KMŚ Puszcza Borecka, Osieczów



Rys. 7.1.22. Wartości stężeń średnich rocznych dla $D(a,h)A$ w pyłe zawieszonym PM_{10} (minimalne, średnie i maksymalne) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji pozamiejskich tła uwzględnionych w analizie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)

Analiza zmian stężeń średnich rocznych w poszczególnych krajach europejskich $I(1,2,3-cd)P$ (analizą statystyczną objęto 11 krajów) i $D(a,h)A$ (analizą statystyczną objęto 8 krajów) oznaczanych w pyłe zawieszonym PM_{10} w okresie 2010-2023 wykazuje generalnie spadki, z wyjątkiem Hiszpanii i Węgier w przypadku $D(a,h)A$, dla których zaobserwowano nieistotną statystycznie niewielką tendencję rosnącą. Polska jest krajem, dla którego obserwuje się najwyraźniej zaznaczony w Europie istotny statystycznie trend malejący stężeń $I(1,2,3-cd)P$. Nieco słabiej statystycznie zaznaczone trendy malejące $I(1,2,3-cd)P$ obserwuje się w przypadku Finlandii i Słowenii. W przypadku $D(a,h)A$, istotne statystycznie trendy malejące dotyczą Słowenii, Holandii, Litwy i Niemiec, zaś tendencje malejące – Polski i Łotwy (Rys. 7.1.23).



Rys. 7.1.23. Trendy i tendencje zmian stężeń średnich rocznych dla I(1,2,3-cd)P i D(a,h)A w pyłe zawieszonym PM10 w poszczególnych krajach Europy w latach 2010-2023 (źródło danych: EAŚ)

Wartości stężeń średnich rocznych WWA oznaczanych w pyłe zawieszonym PM10 na poszczególnych stacjach pozamiejskich tła w Europie przedstawiono na rysunku 7.1.24 (wartości stężeń średnich rocznych uszeregowano malejąco). Przeprowadzone analizy pokazują, że w 2023 roku w Europie stężenia średnie roczne dla poszczególnych WWA zawierały się odpowiednio w granicach: 0,001-4,165 ng/m³ dla B(a)P; 0,00-0,535 ng/m³ dla B(a)A; 0,017-0,740 ng/m³ dla B(b)F; 0,006-0,536 ng/m³ dla B(j)F; 0,005-0,337 ng/m³ dla B(k)F; 0,008-0,597 ng/m³ dla I(1,2,3-cd)P oraz 0,002-0,280 ng/m³ dla D(a,h)A.

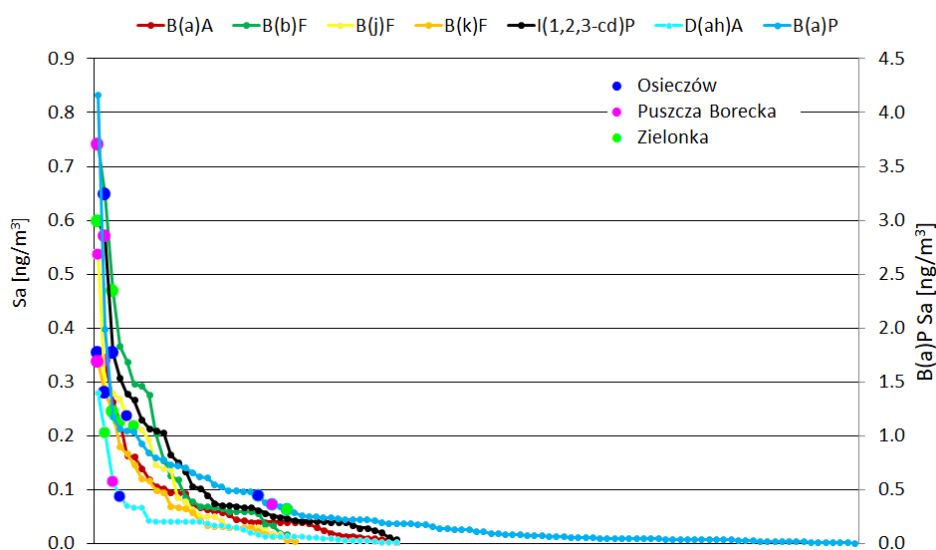
Ocena poziomów B(a)P oznaczanego w pyłe zawieszonym PM10 na stacjach europejskich tła pozamiejskiego pokazuje, że spośród 10% stacji z najwyższymi wartościami stężeń średnich rocznych (10 na a 105 stacji poddane analizie), w roku 2023 znajdowały się 4 stacje czeskie, 3 polskie (w tym z Godów z maksimum europejskim i Konieczynka z 3 maksimum europejskim) oraz po jednej stacji czeskiej, węgierskiej oraz włoskiej (w tym z 2 maksimum europejskim). Wartości stężenia średniego rocznego B(a)P na polskich stacjach tła regionalnego uplasowały je w strefie poziomów wysokich, odpowiednio: Osieczów, jako 23 maksimum, Puszcza Borecka z 25 maksimum europejskim oraz Zielonka na pozycji 27 wśród 105 stacji licząc od wartości najwyższych (Rys. 7.1.24). Najniższe stężenia średnie roczne tego WWA zaobserwowano na stacji w Bułgarii.

W przypadku stężeń średnich rocznych B(a)A oznaczanego w pyłe zawieszonym PM10, sytuacja w 2023 roku wyglądała dla Polski nieco mniej korzystnie niż w przypadku B(a)P. Wśród 6 stacji z najwyższymi stężeniami w Europie (na 42 analizowane) znalazły się wszystkie trzy polskie stacje tła regionalnego (w tym Osieczów z maksimum europejskim, Puszcza Borecka z 2 maksimum i Zielonka z 4 maksimum) oraz po jednej stacji z Francji (3 maksimum europejskie) oraz Niemiec i Węgier. Najniższe stężenie B(a)A na obszarach tła pozamiejskiego w Europie w 2023 roku zanotowano na jednej ze stacji francuskich.

Jedne z najwyższych stężeń w Europie w 2023 roku wystąpiły na polskich stacjach tła regionalnego w przypadku B(b)F, B(j)F, B(k)F oznaczanych w pyłe zawieszonym PM10. Dla wspomnianych WWA najwyższe stężenia zanotowano na stacji Puszcza Borecka.

W przypadku B(b)F i B(k)F drugie maksimum wystąpiło odpowiednio na stacjach Osieczów i Zielonka. Stężenia na tych stacjach w przypadku B(j)F sklasyfikowały je na pozycjach 5 i 6 maksimum europejskiego. Najniższe stężenie średnie roczne dla trzech analizowanych WWA zanotowano na jednej ze stacji francuskich.

Nieco odmienny rozkład stężeń pomiędzy polskimi stacjami tła regionalnego w 2023 roku zaobserwowano w przypadku I(1,2,3-cd)P oznaczanego w pyłe zawieszonym PM₁₀, gdzie najwyższe stężenia w Europie obserwowano kolejno na stacjach Zielonka, Puszcza Borecka i Osieczów. Niemal identycznie sytuacja wyglądała w przypadku D(a,h)A z tym wyjątkiem, że najwyższe stężenie w Europie zanotowano na jednej ze stacji hiszpańskich (polskie stacje uplasowały się na pozycjach od 2 do 4 maksimum europejskiego). Najniższe stężenie średnie roczne I(1,2,3-cd)P oraz D(a,h)A w Europie zanotowano na stacji fińskiej.



Rys. 7.1.24. Wartości stężeń średnich rocznych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych oznaczanych w pyłach zawieszonych PM₁₀ na poszczególnych stacjach pozamiejskich tła w Europie w roku 2023 (źródło danych: EAS)

7.2. Zanieczyszczenia zawarte w pyłe zawieszonym PM_{2,5}

W niniejszym rozdziale przedstawiono analizę w zakresie zanieczyszczenia powietrza pyłem PM_{2,5} oraz oznaczanymi w nim anionami i kationami oraz węglem (elementarnym i organicznym) na europejskich stacjach pozamiejskich tła w latach 2010-2023. Analogicznie, jak dla pyłu zawieszonego PM₁₀, w tej części opracowania przedstawiono uśrednione wyniki stężeń uzyskane dla poszczególnych krajów oraz odrębnie wartości średnie roczne dla pojedynczych stanowisk pomiarowych, ze wskazaniem wyników pomiarów obserwowanych na stacjach tła regionalnego w Polsce.

7.2.1. Pył zawieszony PM_{2,5}

Ocenę zanieczyszczenia powietrza pyłem PM_{2,5} dla 2023 roku przeprowadzono z uwzględnieniem pomiarów prowadzonych na 301 stacjach pozamiejskich tła funkcjonujących w 31 krajach europejskich. W stosunku do ubiegłego roku, liczba stacji nieznacznie się zwiększyła, przy niedostępnych danych z Wielkiej Brytanii. Najwięcej stacji uwzględnionych w analizie (powyżej 30 stacji w każdym kraju) zlokalizowanych było w Niemczech, Włoszech i Hiszpanii. W 6 krajach (Cypr, Dania, Luksemburg, Łotwa, Malta i Rumunia) o wynikach oceny zdecydowały pomiary z pojedynczych stacji. Uśrednione wyniki dla poszczególnych krajów przedstawiono w Tab. 7.2.1 i na Rys. 7.2.1.

Stężenie średnie roczne pyłu zawieszonego PM_{2,5} obliczone dla Polski na obszarach tła pozamiejskiego w 2023 roku (10,8 µg/m³), znajdowało się w strefie stężeń nieco powyżej średniej obliczonej dla Europy wynoszącej 9,3 µg/m³. Wyższe wartości uśrednione dla kraju niż w Polsce, uzyskano dla 7 krajów - dla Bośni i Hercegowiny (najwyższe w Europie, ponad 3 krotnie wyższe niż w Polsce), Rumunii, Turcji, Grecji, Włoch, Słowenii i Węgier. Najniższe wartości (poniżej 4 µg/m³) zaobserwowano dla krajów skandynawskich, tj. Norwegii, Finlandii i Szwecji.

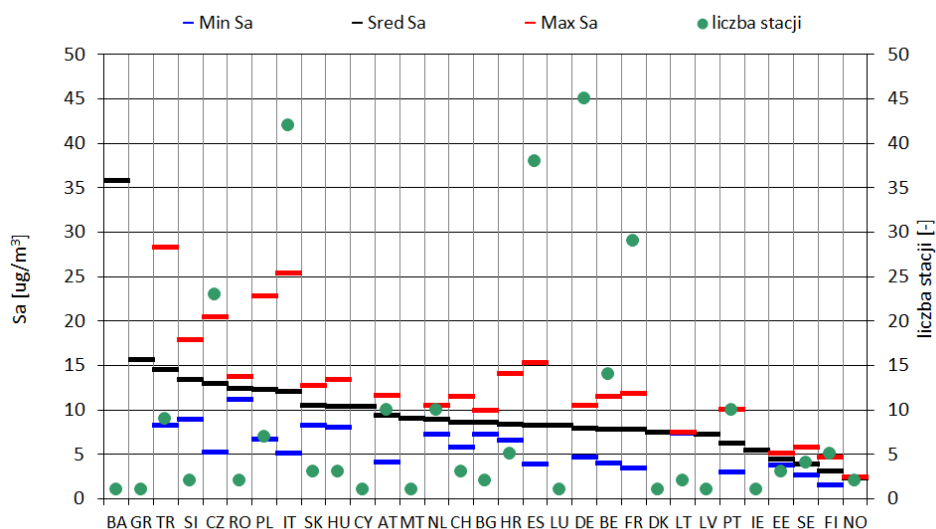
Przekroczenie rocznej wartości poziomu dopuszczalnego wynoszącego 20 µg/m³ wystąpiło na 7 z 301 analizowanych stacji – 5 tureckich oraz po jednej w Bośni i Hercegowinie oraz we Włoszech (Tab. 7.2.1).

Tab. 7.2.1. Stężenia średnie roczne pyłu PM_{2,5} (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła		Stężenie średnie roczne		
	Uwzględnione	Przekroczenie Da	Min	Średnia	Maks
	[-]	[-]	[µg/m ³]	[µg/m ³]	[µg/m ³]
AT	12	0	3,6	7,7	9,7
BA	1	1	37,0	37,0	37,0
BE	14	0	3,0	6,7	10,5
BG	2	0	8,2	8,5	8,7
CH	3	0	4,4	6,7	9,1
CY	1	0	10,7	10,7	10,7
CZ	22	0	4,3	10,6	15,8
DE	53	0	3,8	6,6	9,6
DK	1	0	6,4	6,4	6,4
EE	3	0	4,0	4,2	4,6
ES	41	0	3,9	7,4	13,2
FI	5	0	1,5	2,8	3,9
FR	29	0	3,2	7,0	9,4

Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła		Stężenie średnie roczne		
	Uwzględnione	Przekroczenie Da	Min	Średnia	Maks
	[-]	[-]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
GR	2	0	8,7	13,2	17,8
HR	5	0	7,2	9,0	11,2
HU	3	0	8,0	10,9	12,7
IE	2	0	5,3	6,1	6,8
IT	42	1	4,9	11,3	22,8
LT	2	0	6,1	6,6	7,0
LU	1	0	7,5	7,5	7,5
LV	1	0	6,9	6,9	6,9
MT	1	0	8,9	8,9	8,9
NL	11	0	6,0	7,9	10,4
NO	3	0	1,6	2,1	2,6
PL ^{*)}	6	0	5,9	10,8	16,3
PT	12	0	1,9	5,0	9,3
RO	1	0	18,6	18,6	18,6
SE	4	0	3,0	3,9	5,6
SI	2	0	6,8	11,1	15,5
SK	3	0	7,6	10,0	12,6
TR	13	5	3,2	16,6	34,6
Europa	301	7	1,5	9,3	37,0

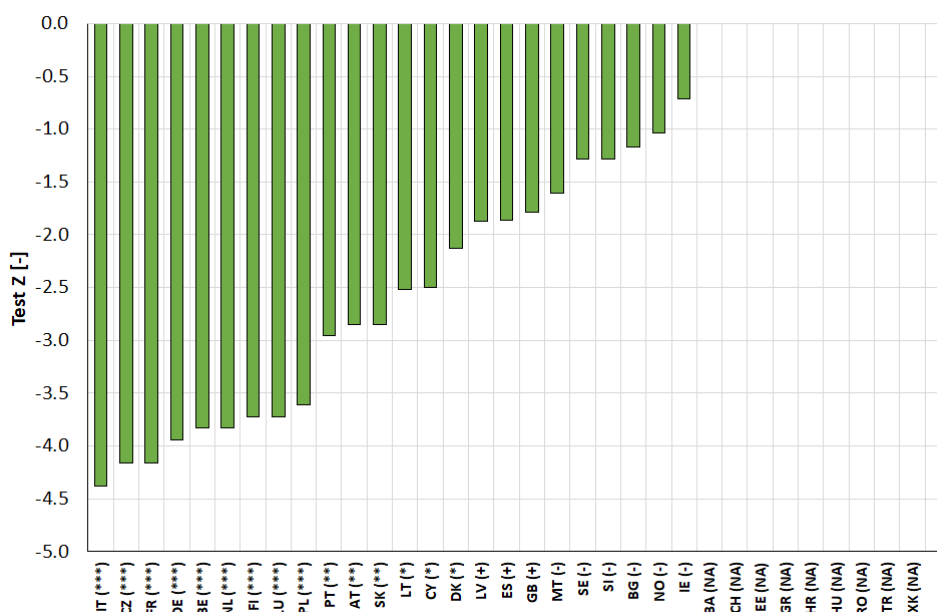
^{*)} Stacje: Borsukowizna-Wiejska, Bory Tucholskie, Godów, KMS Puszca Borecka, Osieczów, Złoty Potok Leśniczówka



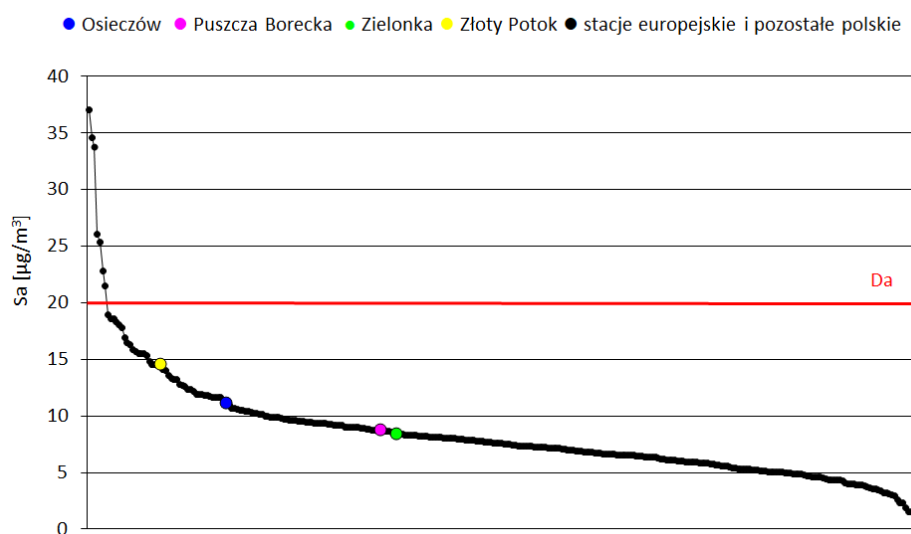
Rys. 7.2.1. Wartości stężeń średnich rocznych pyłu zawieszonego PM_{2,5} (minimalne, średnie i maksymalne) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji pozamiejskich tła uwzględnionych w analizie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)

Analiza trendów zmian stężeń średnich rocznych pyłu zawieszonego PM_{2,5} w poszczególnych krajach w okresie 2010-2023 wskazuje na generalne tendencje spadkowe. Dla żadnego z analizowanych krajów, dla których możliwe było przeprowadzenie testów statystycznych (24 kraje na 33 poddane analizie), nie zaobserwowano wzrostu stężeń. W przypadku 18 krajów zaobserwowano istotne statystycznie trendy malejące, w tym dla Polski, a w przypadku 6 krajów (Malta, Szwecja, Słowenia, Bułgaria, Norwegia i Irlandia) zaobserwowano nieistotne statystycznie tendencje spadkowe. Najbardziej wyraźnie zarysowany

i z najwyższą istotnością statystyczną trend spadkowy (licząc od najbardziej istotnego) zanotowano w przypadku Włoch, Czech, Francji, Niemiec, Holandii, Finlandii, Luksemburga i Polski (Rys. 7.2.2).



Rys. 7.2.2. Trendy i tendencje zmian średnich rocznych stężeń pyłu PM_{2,5} w poszczególnych krajach Europy w latach 2010-2023 (źródło danych: EAŚ)



Rys. 7.2.3. Wartości stężeń średnich rocznych pyłu zawieszonego PM_{2,5} na poszczególnych stacjach pozamiejskich tła w Europie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)

Wartości stężeń średnich rocznych pyłu zawieszonego PM_{2,5} na poszczególnych stacjach w Europie w 2023 roku zawierały się w granicach od 1,5 µg/m³ do 37,1 µg/m³. Wśród 5% stacji z najwyższymi stężeniami (15 z 301) znalazło się 7 zlokalizowanych we Włoszech, 5 z Turcji (w tym z 2 i 3 maksimum europejskim) oraz po jednej z Bośni i Hercegowiny (z maksimum europejskim), Grecji oraz z Rumunii. Stężenia średnie roczne wśród polskich stacji tła regionalnego w roku 2023 zlokalizowały je odpowiednio (licząc od wartości najwyższych)

na pozycjach: 27 maksimum europejskiego w przypadku stacji Żłoty Potok, 51 maksimum w Osieczowie oraz 107 dla Puszczy Boreckiej i 113 w Zielonce (Rys. 7.2.3). Najniższe wartości na poziomie $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ obserwowano na dwóch stacjach Finlandii oraz jednej stacji w Norwegii i Portugalii.

7.2.2. Jony zawarte w pyłe zawieszonym $\text{PM}_{2,5}$

Ocenę zanieczyszczenia powietrza dla oznaczanych składników zawartych w pyłe zawieszonym $\text{PM}_{2,5}$ dla 2023 roku (dla 8 analizowanych jonów oraz 2 rodzajów węgla) przeprowadzono z uwzględnieniem 35 stacji funkcjonujących w 18 krajach. Najwięcej stacji uwzględnionych w analizie w 2023 roku zlokalizowanych było w Niemczech, Hiszpanii i Polsce (po 5 stacji), we Francji (4 stacje) oraz w Finlandii (3 stacje). W pozostałych 13 krajach pomiary stężeń jonów oznaczanych w pyłe zawieszonym $\text{PM}_{2,5}$ prowadzono na pojedynczych stacjach. Warto zaznaczyć, że w 13 krajach wykonujących pomiary pyłu zawieszonego $\text{PM}_{2,5}$, oznaczenia jonów w pyłe $\text{PM}_{2,5}$ nie są w ogóle prowadzone. Od 2020 roku nie są dostępne dane z Wielkiej Brytanii.

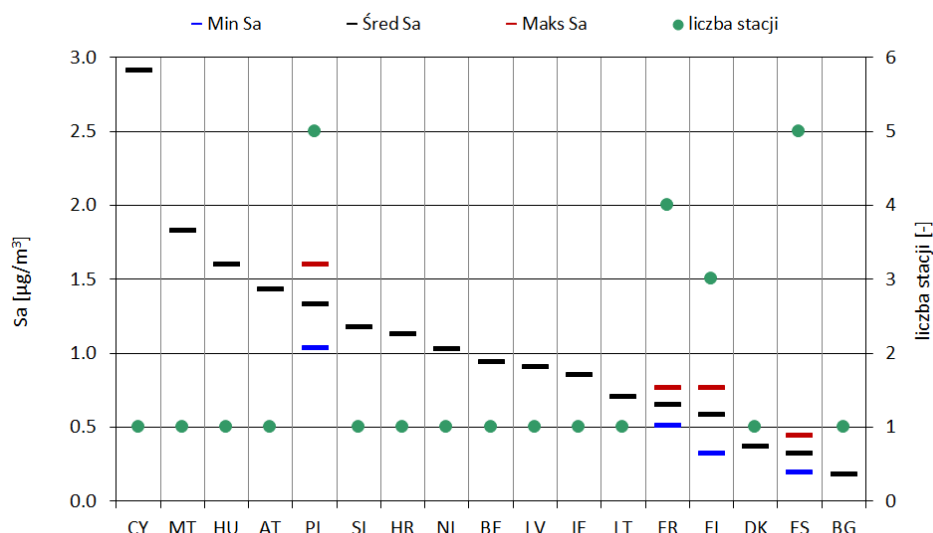
Wartości obliczonych parametrów statystycznych dla oznaczanych w pyłe zawieszonym $\text{PM}_{2,5}$ anionów i kationów oraz węgla elementarnego i organicznego w poszczególnych krajach, przedstawiono w tabelach 7.2.3 - 7.2.11 oraz na rysunkach 7.2.4 - 7.2.16.

Analiza stężeń średnich rocznych z 30 stacji europejskich dla jonu siarczanowego oznaczanego w pyłe zawieszonym $\text{PM}_{2,5}$ w roku 2023 pokazuje, że spośród 17 analizowanych państw europejskich, przeciętne stężenie w Polsce znajdowało się w strefie poziomów nieco powyżej średniej europejskiej. Wyższe stężenia niż w Polsce zanotowano dla Cypru (najwyższe w Europie), Malty, Węgier i Austrii. Najniższe wartości wśród krajów europejskich uzyskano dla Bułgarii i Hiszpanii (Tab. 7.2.2, Rys. 7.2.4).

Tab. 7.2.2. Stężenia średnie roczne SO_4^{2-} oznaczanego w pyłe zawieszonym $\text{PM}_{2,5}$ (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła	Stężenie średnie roczne		
		Min	Średnia	Maks
	[-]	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$
AT	1	1,430	1,430	1,430
BE	1	0,938	0,938	0,938
BG	1	0,177	0,177	0,177
CY	1	2,910	2,910	2,910
DK	1	0,365	0,365	0,365
ES	5	0,187	0,319	0,441
FI	3	0,318	0,577	0,763
FR	4	0,509	0,646	0,763
HR	1	1,122	1,122	1,122
HU	1	1,599	1,599	1,599
IE	1	0,848	0,848	0,848
LT	1	0,702	0,702	0,702
LV	1	0,901	0,901	0,901
MT	1	1,822	1,822	1,822
NL	1	1,022	1,022	1,022
PL ^{*)}	5	1,029	1,325	1,599
SI	1	1,175	1,175	1,175
Europa	30	0,177	1,052	2,910

^{*)} Stacje: Bory Tucholskie, Godów, KMS Puszcza Borecka, Osieczów, Żłoty Potok Leśniczówka



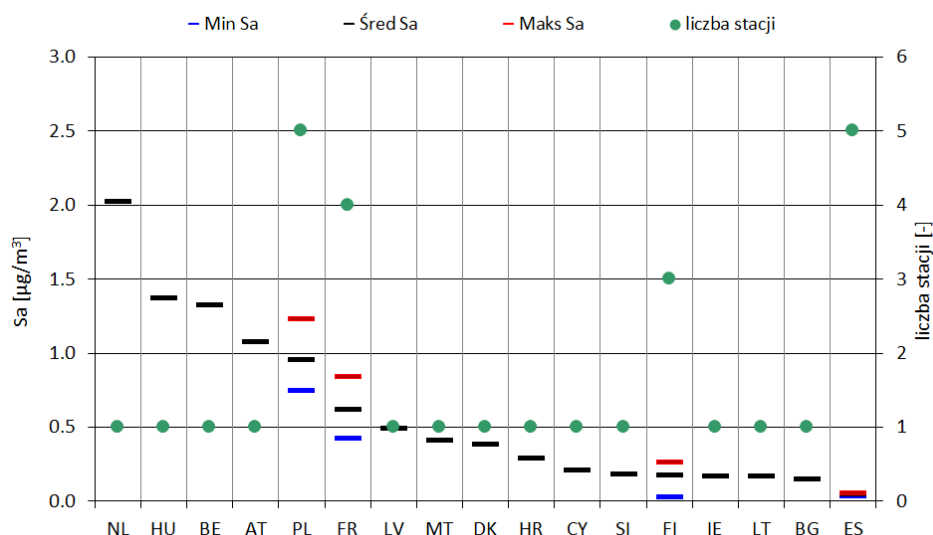
Rys. 7.2.4. Wartości stężeń średnich rocznych SO_4^{2-} oznaczanego w pył zawieszonym $PM_{2,5}$ (minimalne, średnie i maksymalne) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji pozamiejskich tła uwzględnionych w analizie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)

Podobnie sytuacja wyglądała w przypadku stężeń jonu azotanowego oznaczanego w pył zawieszonym $PM_{2,5}$ (analizę przeprowadzono dla 30 stacji wykonujących pomiary w 17 krajach Europy). W tym przypadku stężenie średnie roczne w Polsce na tle krajów europejskich pokazało wartości wyższą niż średnia europejska. Wyższe stężenia niż w Polsce zanotowano dla 4 krajów: Holandii (najwyższe w Europie), Węgier, Belgii i Austrii. Najniższe stężenia średnie roczne jonu NO_3^- uzyskano dla Hiszpanii (Tab. 7.2.3, Rys. 7.2.5).

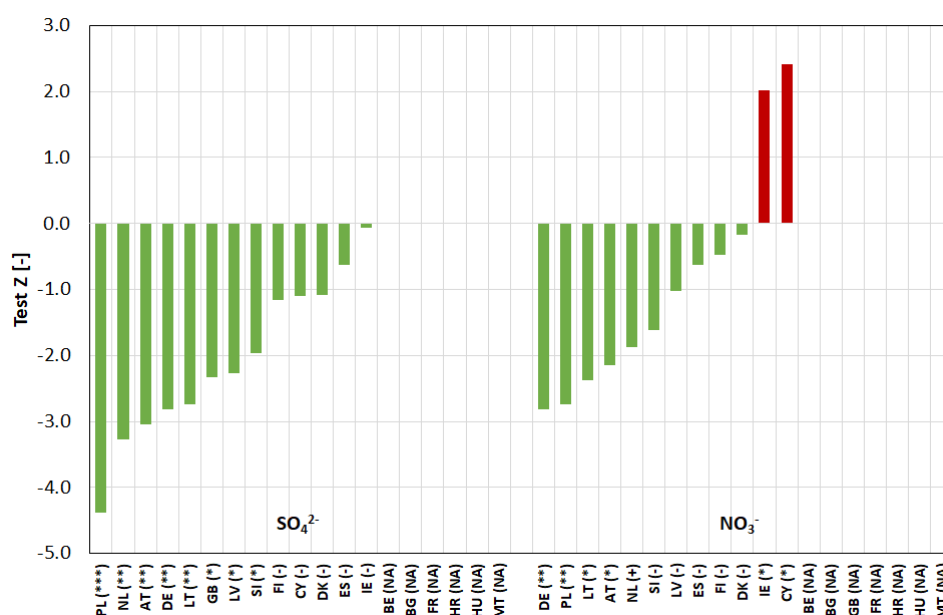
Tab. 7.2.3. Stężenia średnie roczne NO_3^- oznaczanego w pył zawieszonym $PM_{2,5}$ (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła [-]	Stężenie średnie roczne		
		Min [µg/m³]	Średnia [µg/m³]	Maks [µg/m³]
AT	1	1,073	1,073	1,073
BE	1	1,317	1,317	1,317
BG	1	0,147	0,147	0,147
CY	1	0,208	0,208	0,208
DK	1	0,378	0,378	0,378
ES	5	0,030	0,046	0,053
FI	3	0,022	0,171	0,256
FR	4	0,423	0,616	0,838
HR	1	0,286	0,286	0,286
HU	1	1,364	1,364	1,364
IE	1	0,164	0,164	0,164
LT	1	0,164	0,164	0,164
LV	1	0,490	0,490	0,490
MT	1	0,406	0,406	0,406
NL	1	2,022	2,022	2,022
PL ^{*)}	5	0,740	0,953	1,227
SI	1	0,175	0,175	0,175
Europa	30	0,022	0,587	2,022

^{*)} Stacje: Bory Tucholskie, Godów, KMŚ Puszcza Borecka, Osieczów, Żłoty Potok Leśniczówka



Rys. 7.2.5. Wartości stężeń średnich rocznych NO_3^- oznaczanego w pyłach zawieszonych $\text{PM}_{2,5}$ (minimalne, średnie i maksymalne) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji pozamiejskich tła uwzględnionych w analizie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)



Rys. 7.2.6. Trendy i tendencje zmian stężeń średnich rocznych SO_4^{2-} i NO_3^- oznaczanych w pyłach zawieszonych $\text{PM}_{2,5}$ w poszczególnych krajach Europy w latach 2010-2023 (źródło danych: EAŚ)

Analiza trendów stężeń średnich rocznych jonów siarczanowego i azotanowego oznaczanych w pyłach zawieszonych $\text{PM}_{2,5}$ w okresie 2010-2023 przeprowadzona odpowiednio dla 13 i 12 spośród 17 krajów (dla których możliwe było przeprowadzenie testów statystycznych) wskazuje na generalne tendencje spadkowe. Wyjątek stanowią istotne statystycznie trendy rosnące jonu NO_3^- w przypadku Irlandii i Cypru. Dla Polski, w przypadku obu jonów obserwuje się istotne statystycznie trendy malejące, najwyraźniej zaznaczony w Europie w przypadku SO_4^{2-} (najwyższa istotność statystyczna). Trendy malejące dla jonu SO_4^{2-} dotyczą również Holandii, Austrii, Niemiec, Litwy, Wielkiej Brytanii, Łotwy i Słowenii. Dla pozostałych krajów 5 krajów obserwuje się tendencję spadkową tego jonu. W przypadku jonu NO_3^- , trend malejący poza Polską dotyczy również Niemiec (najwyraźniej zarysowany

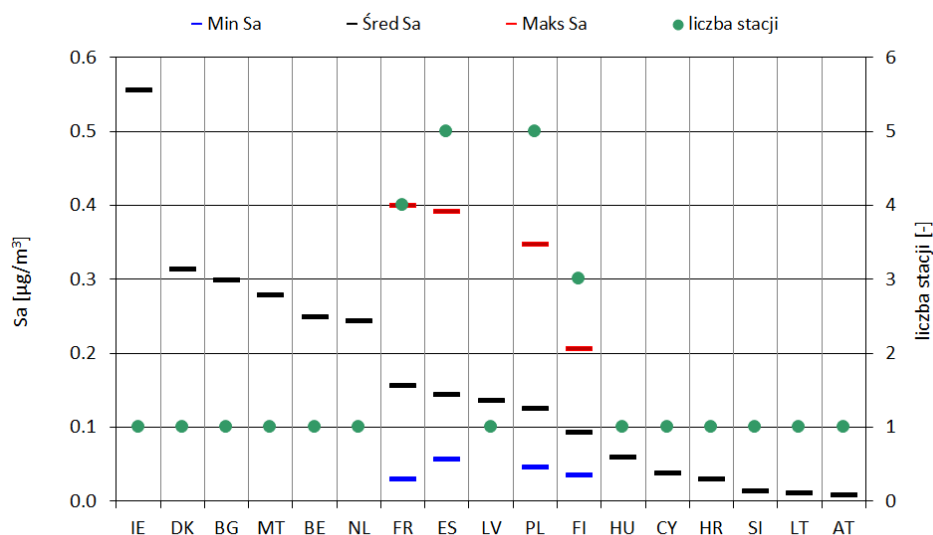
w Europie), Litwy, Austrii oraz Holandii. W przypadku pozostałych 4 krajów obserwuje się nieistotne statystycznie tendencje malejące w analizowanym okresie (Rys. 7.2.6).

Analiza różnic stężeń jonu chlorkowego oznaczanego w pyłe zawieszonym PM_{2,5} pomiędzy krajami wskazuje, że stężenie roczne obliczone dla Polski w 2023 roku było niższe od średniej obliczonej dla 17 krajów Europy. Wyższe wartości niż dla Polski uzyskano dla 9 krajów, najwyższe dla Irlandii (najwyższe w Europie). Najniższe stężenia jonu Cl⁻ obserwowano dla Austrii (Tab. 7.2.4, Rys. 7.2.7).

Tab. 7.2.4. Stężenia średnie roczne Cl⁻ oznaczanego w pyłe zawieszonym PM_{2,5} (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła	Stężenie średnie roczne		
		Min	Średnia	Maks
	[-]	[µg/m ³]	[µg/m ³]	[µg/m ³]
AT	1	0,007	0,007	0,007
BE	1	0,248	0,248	0,248
BG	1	0,297	0,297	0,297
CY	1	0,036	0,036	0,036
DK	1	0,312	0,312	0,312
ES	5	0,056	0,143	0,390
FI	3	0,034	0,092	0,205
FR	4	0,028	0,155	0,399
HR	1	0,029	0,029	0,029
HU	1	0,058	0,058	0,058
IE	1	0,555	0,555	0,555
LT	1	0,010	0,010	0,010
LV	1	0,135	0,135	0,135
MT	1	0,277	0,277	0,277
NL	1	0,243	0,243	0,243
PL ^{*)}	5	0,045	0,124	0,346
SI	1	0,013	0,013	0,013
Europa	30	0,007	0,161	0,555

^{*)} Stacje: Bory Tucholskie, Godów, KMŚ Puszcza Borecka, Osieczów, Żłoty Potok Leśniczówka



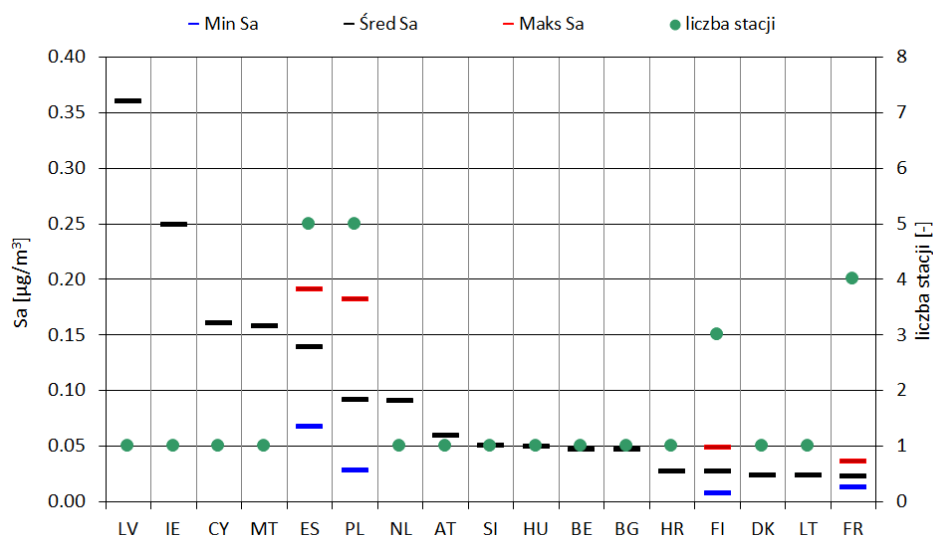
Rys. 7.2.7. Wartości stężeń średnich rocznych Cl⁻ oznaczanego w pył zawieszonym PM_{2,5} (minimalne, średnie i maksymalne) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji pozamiejskich tła uwzględnionych w analizie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)

W przypadku jonu wapniowego, gdzie stężenie średnie roczne dla Polski w 2023 roku było zbliżone do średniej europejskiej. Wyższe wartości niż w Polsce zaobserwowano dla 5 krajów, w tym zdecydowanie najwyższe w Europie dotyczyło Łotwy (ponad 3 krotnie wyższe niż uzyskane dla Polski). Najniższe w Europie stężenia średnie roczne jonu wapniowego uzyskano dla Francji i Litwy (Tab. 7.2.5, Rys. 7.2.8).

Tab. 7.2.5. Stężenia średnie roczne Ca²⁺ oznaczanego w pył zawieszonym PM_{2,5} (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

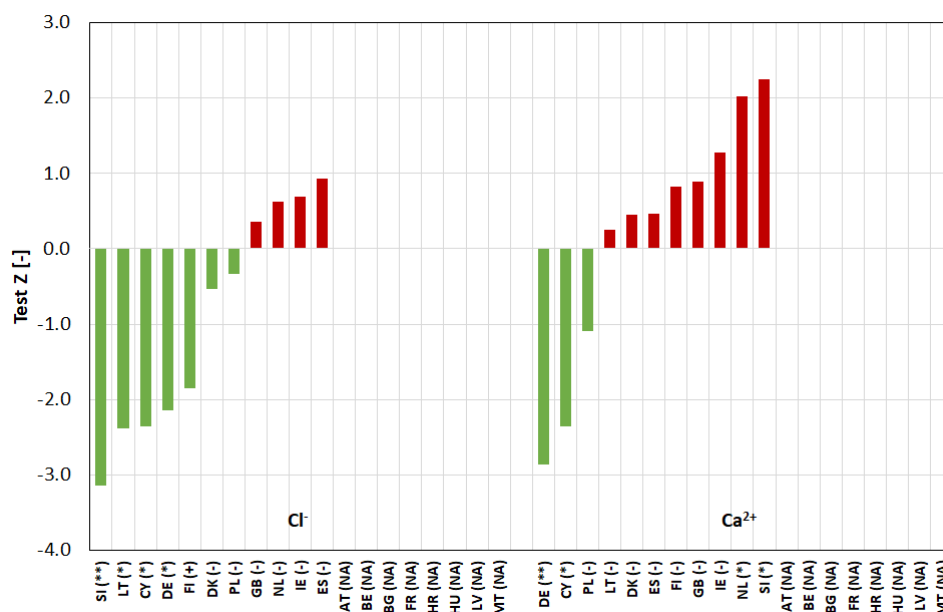
Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła [-]	Stężenie średnie roczne		
		Min [µg/m ³]	Średnia [µg/m ³]	Maks [µg/m ³]
AT	1	0,059	0,059	0,059
BE	1	0,046	0,046	0,046
BG	1	0,046	0,046	0,046
CY	1	0,160	0,160	0,160
DK	1	0,023	0,023	0,023
ES	5	0,067	0,139	0,191
FI	3	0,007	0,026	0,048
FR	4	0,012	0,022	0,036
HR	1	0,027	0,027	0,027
HU	1	0,049	0,049	0,049
IE	1	0,249	0,249	0,249
LT	1	0,023	0,023	0,023
LV	1	0,360	0,360	0,360
MT	1	0,157	0,157	0,157
NL	1	0,090	0,090	0,090
PL ^{*)}	5	0,028	0,091	0,182
SI	1	0,050	0,050	0,050
Europa	30	0,007	0,095	0,360

^{*)} Stacje: Bory Tucholskie, Godów, KMŚ Puszcza Borecka, Osieczów, Żłoty Potok Leśniczówka



Rys. 7.2.8. Wartości stężeń średnich rocznych Ca^{2+} oznaczanego w pyłach zawieszonych $\text{PM}_{2,5}$ (minimalne, średnie i maksymalne) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji pozamiejskich tła uwzględnionych w analizie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)

Analiza zmian wartości średnich rocznych jonu chlorkowego oraz wapniowego oznaczanych w pyłach zawieszonych $\text{PM}_{2,5}$ w poszczególnych krajach Europy w okresie 2010-2023 pokazuje znaczne różnice pomiędzy krajami. Istotne statystycznie trendy malejące obserwuje się jedynie dla Słowenii (najbardziej istotny), Litwy, Cypru i Finlandii w przypadku jonu Cl^- oraz Niemiec i Cypru w przypadku jonu Ca^{2+} . Co więcej, obliczone zmiany stężeń jonu wapniowego w okresie 2010-2023 wskazały na istotny statystycznie trend rosnący dla Holandii i Słowenii. Tendencje rosnące dotyczyły 4 krajów w przypadku Cl^- i 6 krajów w przypadku Ca^{2+} , przy czym były one wyraźniej zarysowane dla jonu wapniowego. W przypadku Polski dla obu jonów zauważalne są nieistotne statystycznie tendencje spadkowe (Rys. 7.2.9).



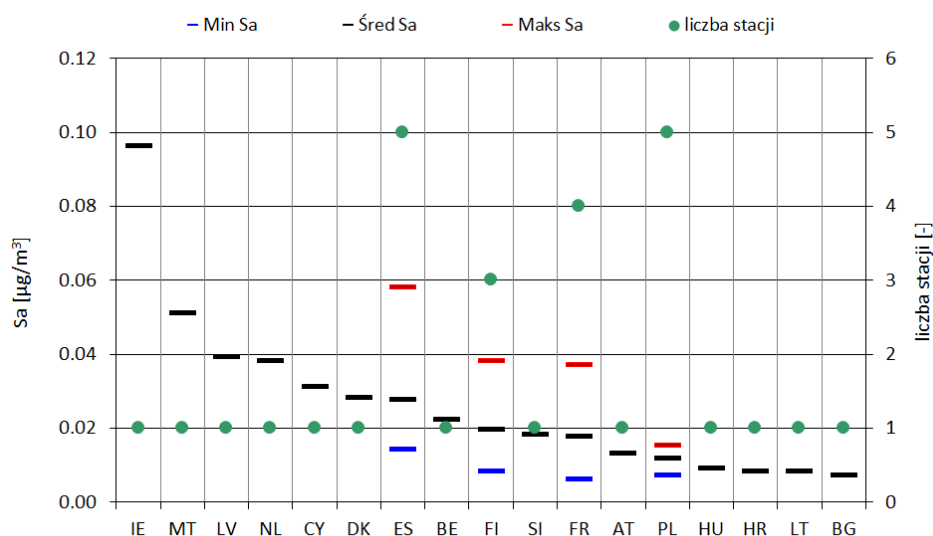
Rys. 7.2.9. Trendy i tendencje zmian stężeń średnich rocznych Cl^- i Ca^{2+} oznaczanych w pyłach zawieszonych $\text{PM}_{2,5}$ w poszczególnych krajach Europy w latach 2010-2023 (źródło danych: EAŚ)

Odmienne od omówionych powyżej jonów sytuacja wygląda w przypadku jonu magnezowego. Uzyskane wyniki na obszarach pozamiejskich tła w Europie pokazały, że w Polsce stężenie tego jonu oznaczanego w pyłe zawieszonym PM_{2,5} znajdowało się znacznie poniżej średniej europejskiej, na jednym z najniższych poziomów wśród 17 analizowanych krajów (Tab. 7.2.6, Rys. 7.2.10). Niższe niż w Polsce wartości uzyskano jedynie dla Bułgarii (najniższe w Europie), Litwy, Chorwacji i Węgier (Tab. 7.2.6, Rys. 7.2.10).

Tab. 7.2.6. Stężenia średnie roczne Mg^{2+} oznaczanego w pyłe zawieszonym PM_{2,5} (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła	Stężenie średnie roczne		
		Min	Średnia	Maks
		[$\mu g/m^3$]	[$\mu g/m^3$]	[$\mu g/m^3$]
AT	1	0,013	0,013	0,013
BE	1	0,022	0,022	0,022
BG	1	0,007	0,007	0,007
CY	1	0,031	0,031	0,031
DK	1	0,028	0,028	0,028
ES	5	0,014	0,027	0,058
FI	3	0,008	0,019	0,038
FR	4	0,006	0,018	0,037
HR	1	0,008	0,008	0,008
HU	1	0,009	0,009	0,009
IE	1	0,096	0,096	0,096
LT	1	0,008	0,008	0,008
LV	1	0,039	0,039	0,039
MT	1	0,051	0,051	0,051
NL	1	0,038	0,038	0,038
PL ^{*)}	5	0,007	0,012	0,015
SI	1	0,018	0,018	0,018
Europa	30	0,006	0,026	0,096

^{*)} Stacje: Bory Tucholskie, Godów, KMŚ Puszcza Borecka, Osieczów, Złoty Potok Leśniczówka



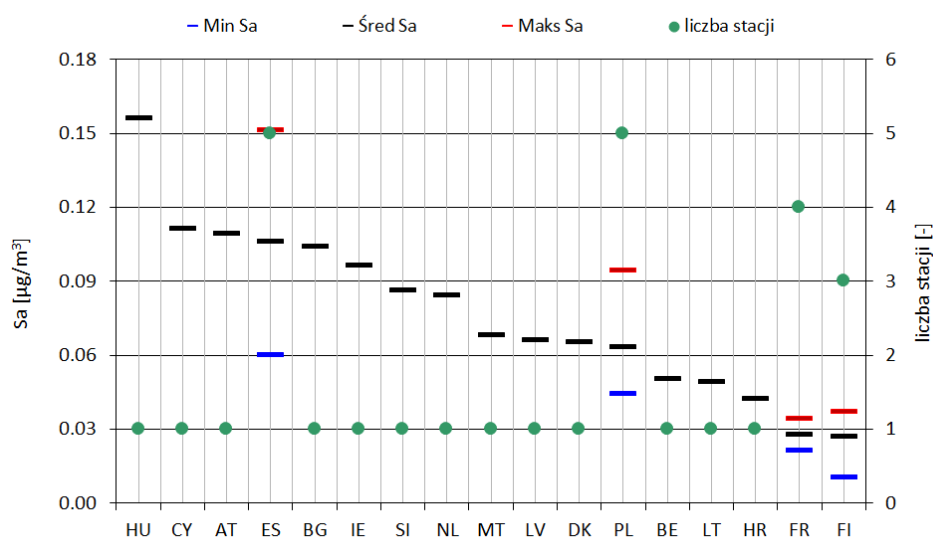
Rys. 7.2.10. Wartości stężeń średnich rocznych Mg^{2+} oznaczanego w pyłe zawieszonym PM_{2,5} (minimalne, średnie i maksymalne) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji pozamiejskich tła uwzględnionych w analizie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)

Bardzo podobnie do jonu magnezowego sytuacja wyglądała w przypadku stężeń jonu potasowego oznaczanego w pyłe zawieszonym PM_{2,5}. Przeprowadzone analizy wśród 17 krajów europejskich wskazują, że stężenie jonu K⁺ uzyskane dla Polski dla obszarów tła pozamiejskiego w roku 2023 było na poziomie poniżej średniej w Europie. Niższe niż w Polsce wartości uzyskano dla 5 krajów – Finlandii (najniższe w Europie), Francji, Chorwacji, Litwy i Belgii. Najwyższe stężenie tego jonu na obszarach pozamiejskich tła dotyczyło Węgier i Cypru (Tab. 7.2.7, Rys. 7.2.11).

Tab. 7.2.7. Stężenia średnie roczne K⁺ oznaczanego w pyłe zawieszonym PM_{2,5} (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

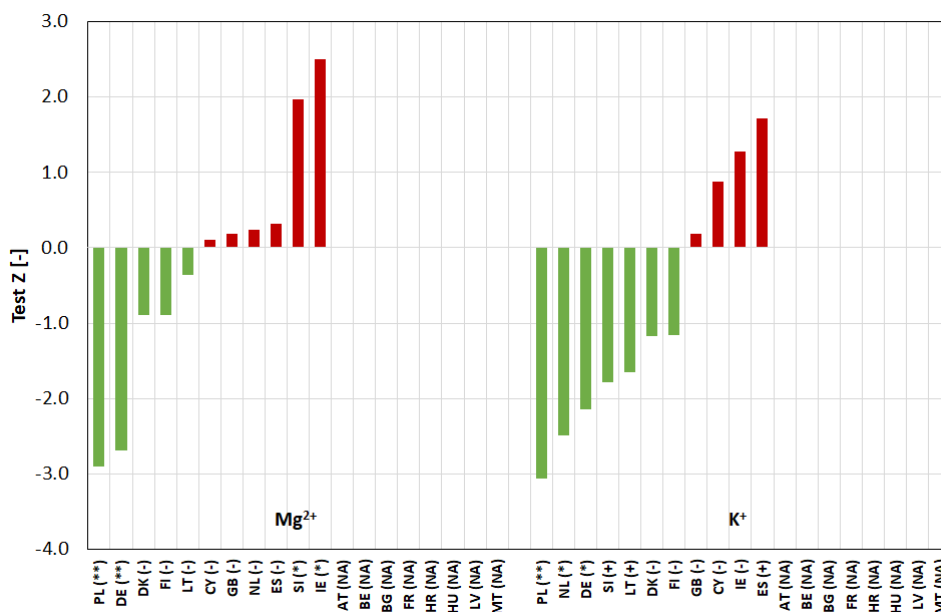
Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła	Stężenie średnie roczne		
		Min	Średnia	Maks
		[μg/m ³]	[μg/m ³]	[μg/m ³]
AT	1	0,109	0,109	0,109
BE	1	0,050	0,050	0,050
BG	1	0,104	0,104	0,104
CY	1	0,111	0,111	0,111
DK	1	0,065	0,065	0,065
ES	5	0,060	0,106	0,151
FI	3	0,010	0,027	0,037
FR	4	0,021	0,028	0,034
HR	1	0,042	0,042	0,042
HU	1	0,156	0,156	0,156
IE	1	0,096	0,096	0,096
LT	1	0,049	0,049	0,049
LV	1	0,066	0,066	0,066
MT	1	0,068	0,068	0,068
NL	1	0,084	0,084	0,084
PL ^{*)}	5	0,044	0,063	0,094
SI	1	0,086	0,086	0,086
Europa	30	0,010	0,077	0,156

^{*)} Stacje: Bory Tucholskie, Godów, KMŚ Puszcza Borecka, Osieczów, Żłoty Potok Leśniczówka



Rys. 7.2.11. Wartości stężeń średnich rocznych K⁺ oznaczanego w pyłe zawieszonym PM_{2,5} (minimalne, średnie i maksymalne) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji pozamiejskich tła uwzględnionych w analizie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)

Wśród 11 krajów, dla których możliwe było przeprowadzenie testów statystycznych zmian stężeń średnich rocznych jonów Mg^{2+} i K^+ w pyłe zawieszonym $PM_{2,5}$ w okresie 2010-2023, tylko w Polsce i w Niemczech obserwuje się istotne statystycznie trendy malejące dla jonu magnezowego, zaś w przypadku jonu potasowego również w Holandii, Słowenii i Litwie. Co więcej, dla 3 krajów w analizowanym okresie zanotowano istotne statystycznie trendy rosnące: dla Słowenii i Irlandii w przypadku jonu magnezowego oraz Hiszpanii w przypadku jonu potasowego. Tendencje rosnące dla obu jonów w analizowanym okresie dotyczyły 4 krajów dla jonu Mg^{2+} i 3 dla jonu K^+ . Dla pozostałych krajów zmiany stężeń obu jonów w analizowanym okresie wykazują nieistotne statystycznie tendencje malejące (Rys. 7.2.12).



Rys. 7.2.12. Trendy i tendencje zmian stężeń średnich rocznych Mg^{2+} i K^+ oznaczanych w pyłe zawieszonym $PM_{2,5}$ w poszczególnych krajach Europy w latach 2010-2023 (źródło danych: EAŚ)

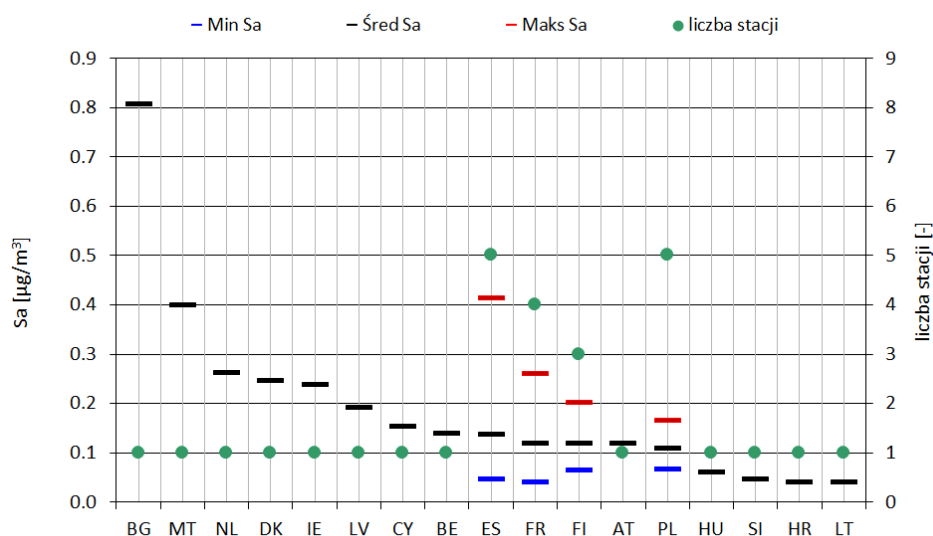
Ocena stężeń średnich rocznych dla kraju jonu sodowego oznaczanego w pyłe zawieszonym $PM_{2,5}$ pokazuje, że w 2023 roku wśród 17 analizowanych krajów Polska znajdowała się w strefie stężeń znacznie poniżej średniej europejskiej. Niższe stężenia niż w Polsce uzyskano tylko dla 4 krajów – Litwy (najniższe w Europie), Chorwacji, Słowenii i Węgier. Zdecydowanie najwyższe stężenia tego jonu w 2023 roku zanotowano dla Bułgarii (Tab. 7.2.8, Rys. 7.2.13).

Tab. 7.2.8. Stężenia średnie roczne Na^+ oznaczanego w pyłe zawieszonym $PM_{2,5}$ (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejscowych tła	Stężenie średnie roczne		
		Min	Średnia	Maks
	[-]	[$\mu g/m^3$]	[$\mu g/m^3$]	[$\mu g/m^3$]
AT	1	0,117	0,117	0,117
BE	1	0,137	0,137	0,137
BG	1	0,805	0,805	0,805
CY	1	0,152	0,152	0,152
DK	1	0,245	0,245	0,245
ES	5	0,044	0,136	0,413
FI	3	0,062	0,117	0,200

Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła	Stężenie średnie roczne		
		Min	Średnia	Maks
		[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
FR	4	0,039	0,118	0,259
HR	1	0,039	0,039	0,039
HU	1	0,058	0,058	0,058
IE	1	0,236	0,236	0,236
LT	1	0,039	0,039	0,039
LV	1	0,191	0,191	0,191
MT	1	0,397	0,397	0,397
NL	1	0,261	0,261	0,261
PL ^{*)}	5	0,064	0,107	0,163
SI	1	0,045	0,045	0,045
Europa	30	0,039	0,188	0,805

^{*)} Stacje: Bory Tucholskie, Godów, KMS Puszcz Borecka, Osieczów, Żłoty Potok Leśniczówka



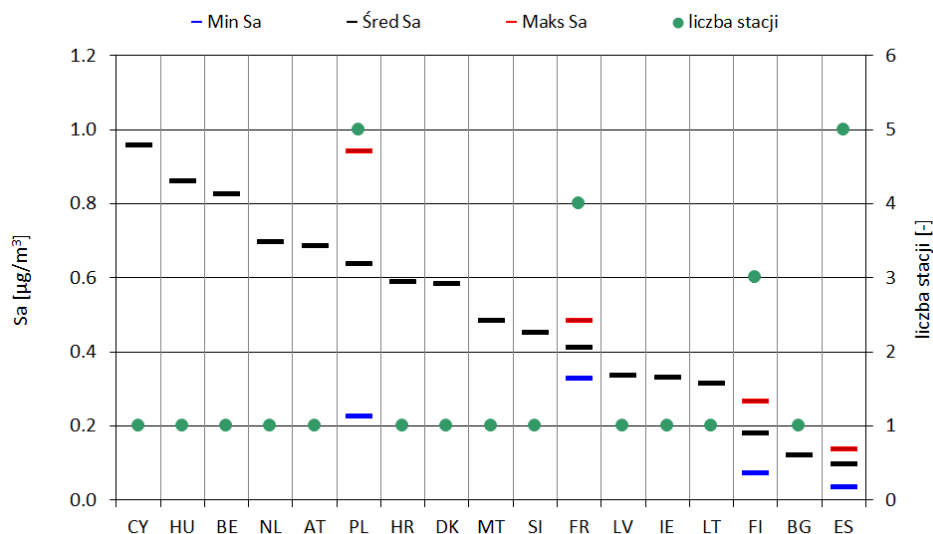
Rys. 7.2.13. Wartości stężeń średnich rocznych Na^+ oznaczanego w pylenie zawieszonym $\text{PM}_{2,5}$ (minimalne, średnie i maksymalne) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji pozamiejskich tła uwzględnionych w analizie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)

Nieco odmiennie sytuacja wyglądała w przypadku stężenia średniego rocznego jonu amonowego oznaczanego w pylenie zawieszonym $\text{PM}_{2,5}$. Uśrednione stężenia dla obszarów pozamiejskich tła z uwzględnieniem pomiarów pochodzących z 17 krajów wskazują, że w Polsce w roku 2023 stężenie średnie roczne tego jonu znajdowało się nieznacznie powyżej średniej europejskiej. Wyższe stężenia niż w Polsce uzyskano dla 5 krajów: Cypru (najwyższe w Europie), Węgier, Belgii, Holandii i Austrii. Najniższe stężenia średnie roczne jonu NH_4^+ uzyskano dla Hiszpanii (Tab. 7.2.9, Rys. 7.2.14).

Tab. 7.2.9. Stężenia średnie roczne NH_4^+ oznaczanego w pyłe zawieszonym $\text{PM}_{2,5}$ (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła	Stężenie średnie roczne		
		Min	Średnia	Maks
	[–]	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$
AT	1	0,683	0,683	0,683
BE	1	0,824	0,824	0,824
BG	1	0,118	0,118	0,118
CY	1	0,955	0,955	0,955
DK	1	0,582	0,582	0,582
ES	5	0,034	0,095	0,134
FI	3	0,070	0,177	0,263
FR	4	0,327	0,408	0,483
HR	1	0,586	0,586	0,586
HU	1	0,859	0,859	0,859
IE	1	0,330	0,330	0,330
LT	1	0,313	0,313	0,313
LV	1	0,334	0,334	0,334
MT	1	0,482	0,482	0,482
NL	1	0,695	0,695	0,695
PL ^{*)}	5	0,223	0,635	0,940
SI	1	0,451	0,451	0,451
Europa	30	0,034	0,502	0,955

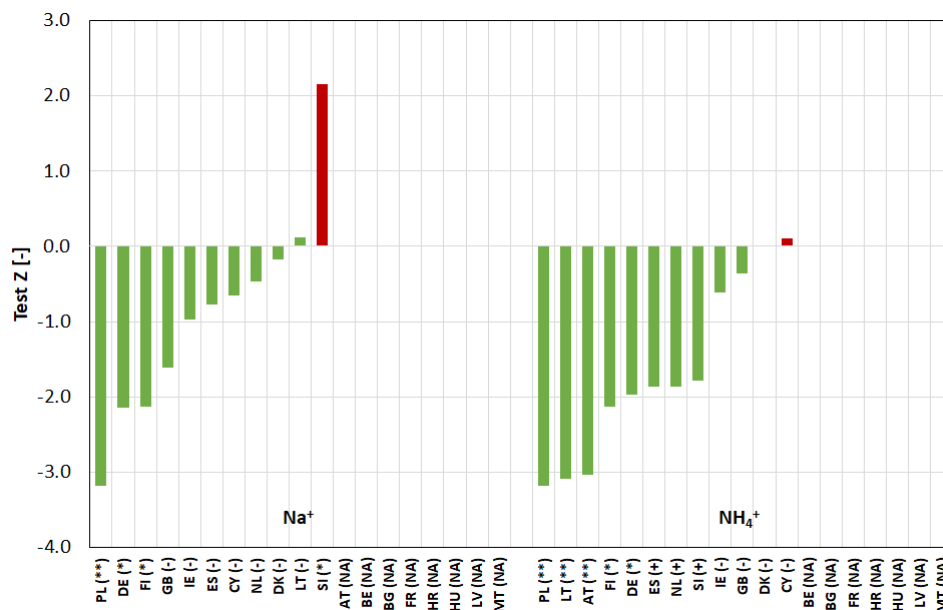
^{*)} Stacje: Bory Tucholskie, Godów, KMS Puszca Borecka, Osieczów, Żłoty Potok Leśniczówka



Rys. 7.2.14. Wartości stężeń średnich rocznych NH_4^+ oznaczanego w pyłe zawieszonym $\text{PM}_{2,5}$ (minimalne, średnie i maksymalne) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji pozamiejskich tła uwzględnionych w analizie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)

Ocena zmian średnich rocznych stężeń jonów Na^+ i NH_4^+ oznaczanych w pyłe zawieszonym $\text{PM}_{2,5}$ w latach 2010-2023 przeprowadzona dla 12 krajów, dla których dostępne były wyniki w analizowanym okresie i możliwe było przeprowadzenie obliczeń pokazuje istotne statystycznie trendy malejące dla obu jonów w przypadku Polski (najbardziej wyraźnie i istotne statystycznie w Europie), Niemiec oraz Finlandii. Ponadto, istotne statystycznie trendy malejące dotyczą Litwy, Austrii, Hiszpanii, Holandii i Słowenii w przypadku jonu amonowego.

Warto podkreślić, że dla dwóch krajów zaobserwowano nieistotne statystycznie tendencje rosnące dla jonu Na^+ w przypadku Słowenii oraz NH_4^+ dla Cypru (Rys. 7.2.15).



Rys. 7.2.15. Trendy i tendencje zmian stężeń średnich rocznych Na^+ i NH_4^+ oznaczanych w pyłe zawieszonym $\text{PM}_{2,5}$ w poszczególnych krajach Europy w latach 2010-2023 (źródło danych: EAŚ)

Dla omówionych powyżej jonów oznaczanych w pyłe zawieszonym $\text{PM}_{2,5}$, wartości średnie roczne uzyskane dla pojedynczych stacji pozamiejskich tła działających na obszarze Europy w 2023 roku zawierały się w granicach odpowiednio: $0,177\text{--}2,910\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ dla SO_4^{2-} ; $0,022\text{--}2,022\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ dla NO_3^- ; $0,007\text{--}0,550\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ dla Cl^- ; $0,006\text{--}0,096\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ dla Mg^{2+} ; $0,007\text{--}0,036\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ dla Ca^{2+} ; $0,039\text{--}0,805\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ dla Na^+ ; $0,010\text{--}0,156\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ dla K^+ oraz $0,034\text{--}0,955\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ dla NH_4^+ .

Przeprowadzona analiza obliczonych wartości średnich rocznych w 2023 roku dla pojedynczych stacji pokazuje, że w przypadku jonu SO_4^{2-} w pyłe zawieszonym $\text{PM}_{2,5}$ spośród 30 analizowanych stacji, najwyższe stężenia w Europie zanotowano na stacji cypryjskiej (maksimum europejskie), maltańskiej i węgierskiej. Polskie stacje tła regionalnego znajdowały się w strefie wartości wyższych: stacja Złoty Potok z 5 maksimum europejskim, Osieczów – z 7 maksimum oraz Zielonka i Puszcza Borecka z 10 i 11 maksimum licząc od wartości najwyższych (Rys. 7.2.16). Najniższe wartości stężeń średnich rocznych tego jonu zaobserwowano na stacji bułgarskiej.

Podobnie sytuacja wyglądała w przypadku rozkładu stężeń średnich rocznych jonu NO_3^- zawartego w pyłe zawieszonym $\text{PM}_{2,5}$ na poszczególnych stacjach. Stężenia średnie roczne tego jonu na polskich stacjach tła regionalnego znajdowały się w strefie wartości wyższych, blisko siebie odpowiednio: stacja Zielonka (6 pozycja licząc od wartości najwyższych na 30 analizowanych stacji), Puszcza Borecka (7 maksimum), Złoty Potok (8 maksimum) i Osieczów (10 maksimum) - Rys. 7.2.16. Najwyższe stężenie w Europie zanotowano na stacjach holenderskiej, węgierskiej oraz belgijskiej. W przypadku tego jonu najniższe wartości średnie roczne wystąpiły na jednej ze stacji fińskich.

W przypadku jonu Cl^- w pyłe zawieszonym $\text{PM}_{2,5}$, najwyższe stężenie średnie roczne w 2023 roku, spośród 30 analizowanych stacji europejskich wykonujących te oznaczenia, zaobserwowano na stacjach irlandzkiej, francuskiej i hiszpańskiej. Polskie stacje tła

regionalnego uplasowały się w strefie wartości poniżej średniej europejskiej, odpowiednio na pozycjach: Zielonka - 13 maksimum, Puszcza Borecka - 17 maksimum, Żłoty Potok i Osieczów – na pozycjach 21 i 22 licząc od wartości najwyższych (Rys. 7.2.17). Dla tego jonu najniższe wartości w Europie uzyskano na stacji austriackiej.

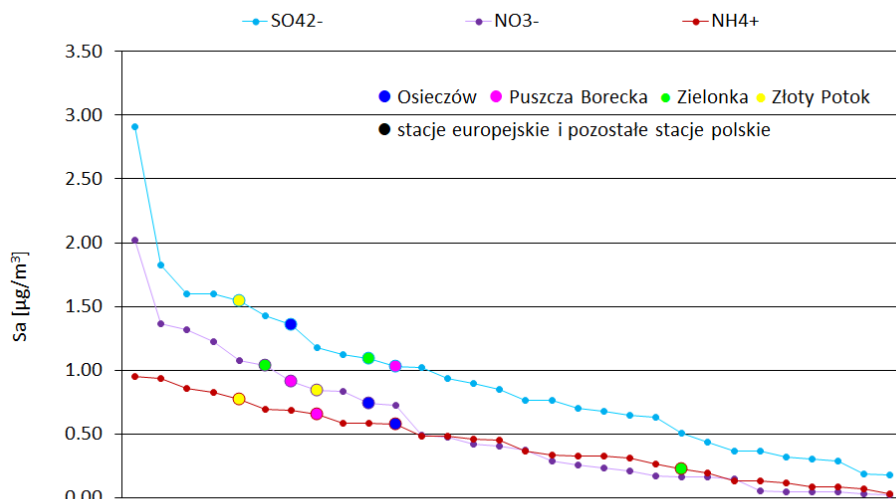
Analizy przeprowadzone dla jonu Mg^{2+} oznaczanego w pyłe zawieszonym $PM_{2,5}$ na 30 stacjach tła pozamiejskiego w Europie pokazują, że stężenia średnie roczne w 2023 roku na polskich stacjach tła regionalnego lokowały je w strefie wartości niskich, znacznie poniżej średniej w Europie, odpowiednio: Zielonka na pozycji 16 maksimum licząc od wartości najwyższych, Osieczów na 18, Żłoty Potok i Puszcza Borecka na pozycjach 21 i 22 maksimum. Jedynie na stacji Żłoty Potok stężenie tego jonu uplasowało ją w strefie wartości średnich na pozycji 14 maksimum europejskiego (Rys. 7.2.17). Najwyższe wartości zaobserwowano na stacjach w Irlandii i Hiszpanii, zaś najniższe – we Francji.

W przypadku jonu Ca^{2+} oznaczanego w pyłe zawieszonym $PM_{2,5}$, polskie stacje tła regionalnego charakteryzowały się znaczną zmiennością, lokując się zarówno wśród wartości wyższych, średnich i jak i niskich. Najwyższe stężenie w Europie dla obszarów pozamiejskich tła zaobserwowano na stacji łotewskiej i irlandzkiej, zaś najniższe – na stacji fińskiej. Stężenia średnie roczne na polskich stacjach tła regionalnego uplasowały je odpowiednio (licząc od stężeń najwyższych): Żłoty Potok na pozycji 4 maksimum europejskiego, Zielonka – na 11, Puszcza Borecka na 20 zaś Osieczów na 22 pozycji (Rys. 7.2.17).

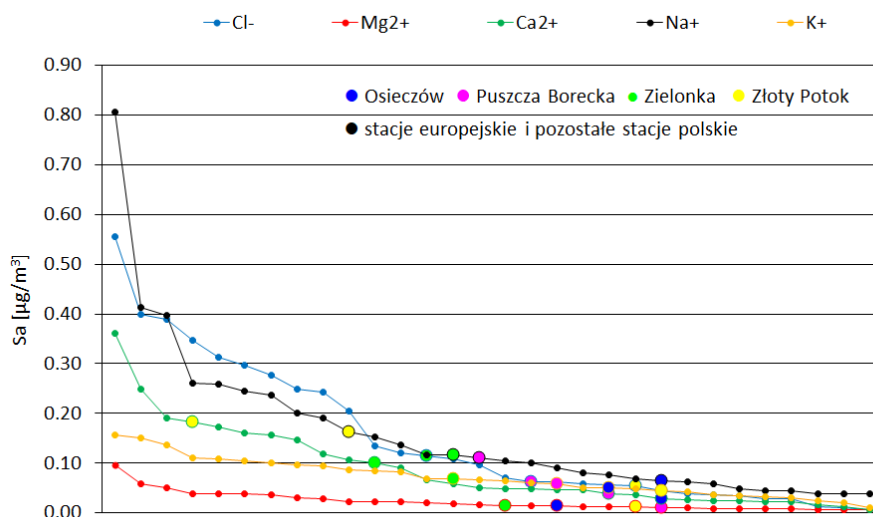
Nieco inaczej w stosunku do opisanych zależności powyżej sytuacja wyglądała w przypadku rozkładu jonu Na^+ w pyłe zawieszonym $PM_{2,5}$. Wartości stężeń na polskich stacjach tła regionalnego były dość oddalone od siebie. Stacja Żłoty Potok znajdowała się w strefie stężeń wyższych (10 maksimum), Zielonka i Puszcza Borecka w połowie stawki (z 14 i 15 maksimum europejskim), zaś Osieczów w strefie stężeń niskich (22 maksimum) - Rys. 7.2.17. Wśród 30 rozważanych stacji europejskich, najwyższe stężenia tego jonu zanotowano na stacji bułgarskiej, zaś najniższe na stacji litewskiej.

Podobny rozkład wartości na stacjach polskich tła regionalnego zaobserwowano w przypadku rozkładu stężeń jonu potasowego oznaczanego w pyłe zawieszonym $PM_{2,5}$. Uzyskane stężenia uplasowały polskie stacje odpowiednio: Zielonkę na pozycji 14 maksimum europejskiego na 30 analizowanych stacji, Puszcę Borecką - na 18, Osieczów na pozycji 20 zaś Żłoty Potok na pozycji 22 licząc od najwyższych (Rys. 7.2.17). Najwyższe stężenie tego jonu zanotowano na stacji węgierskiej, zaś najniższe na jednej ze stacji fińskich.

W przypadku oznaczanego w pyłe zawieszonym $PM_{2,5}$ jonu NH_4^+ najwyższe stężenie średnie roczne w Europie wystąpiło na stacji Cypryjskiej oraz w Godowie (2 maksimum europejskie). Polskie stacje tła regionalnego znalazły się odpowiednio: Żłoty Potok na 5 miejscu, Puszcza Borecka na 8, Osieczów na 11, zaś Zielonka na 22 (Rys. 7.2.16). Najniższe stężenie średnie roczne tego jonu zanotowano na stacji hiszpańskiej.



Rys. 7.2.16. Wartości stężeń średnich rocznych SO_4^{2-} , NO_3^- i NH_4^+ w pyle zawieszonym $\text{PM}_{2,5}$ na poszczególnych stacjach pozaeuropejskich tła w Europie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)



Rys. 7.2.17. Wartości stężeń średnich rocznych Cl^- , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ i K^+ oznaczanych w pyle zawieszonym $\text{PM}_{2,5}$ na poszczególnych stacjach pozaeuropejskich tła w Europie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)

Pomiary węgla organicznego (OC) i elementarnego (EC) oznaczanego w pyle zawieszonym $\text{PM}_{2,5}$ na stacjach pozaeuropejskich tła w Europie prowadzone są od 2011 roku. Dla 2023 roku analizy węgla przeprowadzono na podstawie pomiarów pochodzących z 34 stacji pozaeuropejskich tła funkcjonujących w 17 krajach (wszystkie oznaczenia wykonywane były metodą termooptyczną).

Dla przypadku EC średnie roczne stężenie w Polsce było najwyższe w Europie, zaś OC – drugie, po Węgrzech. Należy podkreślić, że tylko w 5 krajach oznaczenia OC i EC w pyle zawieszonym $\text{PM}_{2,5}$ na obszarach tła pozaeuropejskiego prowadzone są na więcej niż 1 stacji – najwięcej w Niemczech, Hiszpanii i Polsce (5 stacji) oraz Francji (4 stacje) i Finlandii (3). Najniższe stężenia obu rodzajów węgla zanotowano dla Irlandii (Tab. 7.2.10-11, Rys. 7.2.18).

Tab. 7.2.10. Stężenia średnie roczne EC oznaczanego w pyłe zawieszonym PM_{2,5} (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

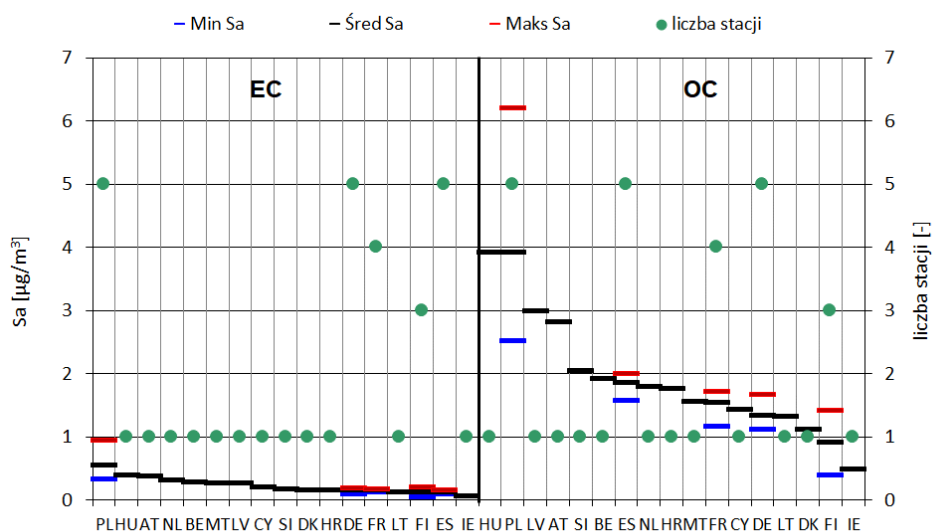
Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła	Stężenie średnie roczne		
		Min	Średnia	Maks
		[μg/m ³]	[μg/m ³]	[μg/m ³]
AT	1	0,364	0,364	0,364
BE	1	0,267	0,267	0,267
CY	1	0,197	0,197	0,197
DE	5	0,087	0,142	0,183
DK	1	0,148	0,148	0,148
ES	5	0,091	0,113	0,144
FI	3	0,040	0,123	0,199
FR	4	0,119	0,141	0,164
HR	1	0,144	0,144	0,144
HU	1	0,388	0,388	0,388
IE	1	0,047	0,047	0,047
LT	1	0,125	0,125	0,125
LV	1	0,254	0,254	0,254
MT	1	0,260	0,260	0,260
NL	1	0,300	0,300	0,300
PL ^{*)}	5	0,315	0,537	0,936
SI	1	0,169	0,169	0,169
Europa	34	0,040	0,219	0,936

^{*)} Stacje: Bory Tucholskie, Godów, KMŚ Puszcza Borecka, Osieczów, Złoty Potok Leśniczówka

Tab. 7.2.11. Stężenia średnie roczne OC oznaczanego w pyłe zawieszonym PM_{2,5} (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

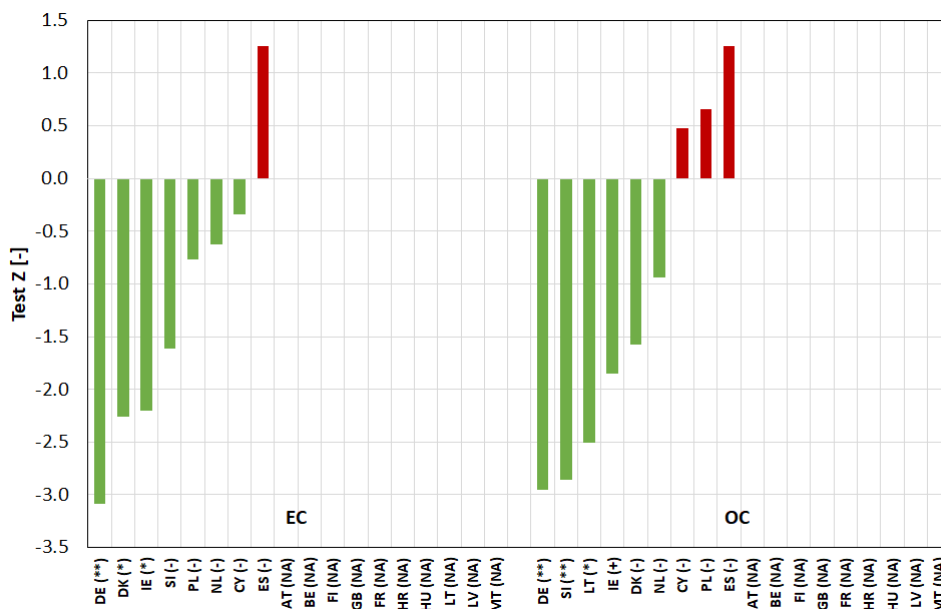
Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła	Stężenie średnie roczne		
		Min	Średnia	Maks
		[μg/m ³]	[μg/m ³]	[μg/m ³]
AT	1	2,816	2,816	2,816
BE	1	1,907	1,907	1,907
CY	1	1,425	1,425	1,425
DE	5	1,101	1,335	1,667
DK	1	1,110	1,110	1,110
ES	5	1,572	1,854	1,984
FI	3	0,388	0,896	1,410
FR	4	1,160	1,530	1,701
HR	1	1,756	1,756	1,756
HU	1	3,909	3,909	3,909
IE	1	0,484	0,484	0,484
LT	1	1,313	1,313	1,313
LV	1	2,983	2,983	2,983
MT	1	1,546	1,546	1,546
NL	1	1,786	1,786	1,786
PL ^{*)}	5	2,517	3,908	6,190
SI	1	2,035	2,035	2,035
Europa	34	0,388	1,917	6,190

^{*)} Stacje: Bory Tucholskie, Godów, KMŚ Puszcza Borecka, Osieczów, Złoty Potok Leśniczówka



Rys. 7.2.18. Wartości stężeń średnich rocznych EC i OC oznaczanego w pyłach zawieszonych PM_{2,5} (minimalne, średnie i maksymalne) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji pozamiejskich tła uwzględnionych w analizie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)

Dostępne wyniki z okresu 2011-2023 pozwoliły na przeprowadzenie testów statystycznych analizy trendów dla 9 krajów. Uzyskane wyniki dla obu rodzajów węgla wskazują na istotny statystycznie trend malejący dla Niemiec i Irlandii oraz dodatkowo dla Danii w przypadku węgla elementarnego oraz Słowenii i Litwy w przypadku węgla organicznego. W pozostałych krajach obserwuje się nieistotne statystycznie tendencje malejące obu rodzajów węgla oznaczanego w pyłach zawieszonych PM_{2,5} w analizowanym okresie, z wyjątkiem Hiszpanii dla EC i OC oraz Polski i Cypru dla OC (Rys. 7.2.19).



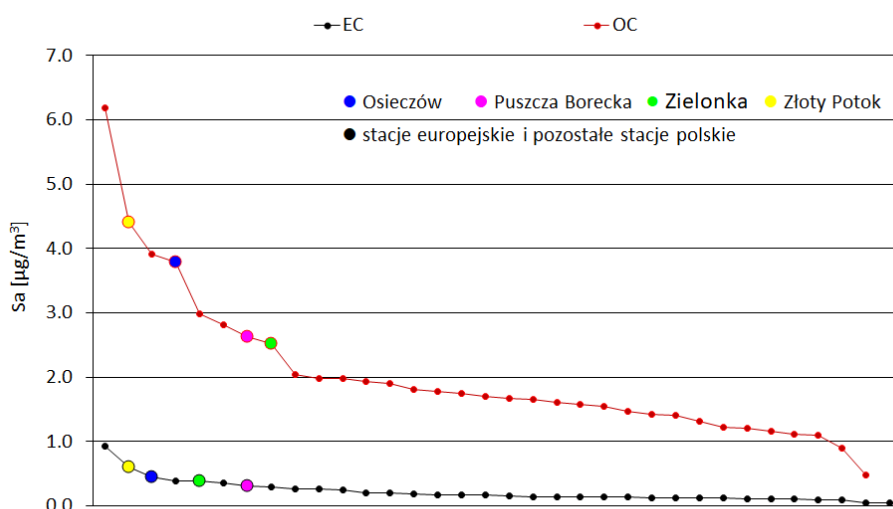
Rys. 7.2.19. Trendy i tendencje zmian stężeń średnich rocznych EC i OC oznaczanych w pyłach zawieszonych PM_{2,5} w poszczególnych krajach Europy w latach 2011-2023 (źródło danych: EAŚ)

Wartości średnie roczne na pojedynczych stacjach pozamiejskich tła Europy w 2023 roku mieściły się w granicach odpowiednio: 0,040-0,936 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dla EC oraz 0,388-6,190 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dla OC (Rys. 7.2.20).

W przypadku EC najwyższe stężenie średnie roczne w Europie zaobserwowano na polskich stacjach w Godowie, Złotym Potoku i Osieczowie (maksyma europejskie). Stężenia średnie roczne na pozostałych dwóch polskich stacjach tła regionalnego plasowały je w gronie wyników wysokich i blisko siebie, odpowiednio: Zielonka jako 5 najwyższa wartość w Europie na 34 analizowane stacje oraz Puszcza Borecka jako 7 maksimum.

Dla stężeń OC w 2023 roku było podobnie, z maksimum europejskim na polskich stacjach Godów i Złoty Potok. Pozostałe polskie stacje znajdowały się blisko siebie, jako 4, 7 i 8 maksimum w kolejności – Osieczów, Puszcza Borecka i Zielonka.

Dla obu związków węgla oznaczanego w pyłe zawieszonym $\text{PM}_{2,5}$, najniższe wartości w Europie w 2023 roku zanotowano na jednej ze stacji fińskich.



Rys. 7.2.20. Wartości stężeń średnich rocznych węgla oznaczanych w pyłe zawieszonym $\text{PM}_{2,5}$ na poszczególnych stacjach pozamiejskich tła w Europie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)

7.3. Udział pyłu zawieszonego $\text{PM}_{2,5}$ w pyłe zawieszonym PM_{10}

Analizę udziału pyłu zawieszzonego $\text{PM}_{2,5}$ w pyłe zawieszonym PM_{10} wykonano na podstawie stężeń średnich rocznych uzyskanych dla roku 2023 na 273 stacjach pozamiejskich tła w Europie prowadzących równoległe pomiary obu frakcji pyłu, funkcjonujących w 31 krajach. W analizach odniesiono się do różnic w udziale w ostatnich dwóch latach, tj. 2022-2023.

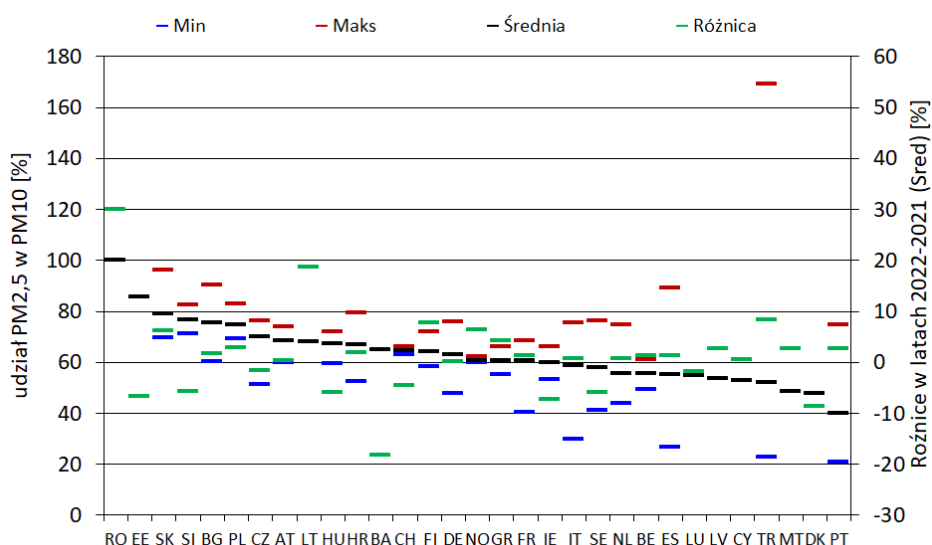
Najwięcej stacji prowadzących równoległe pomiary obu frakcji pyłu w krajach europejskich (powyżej 30) zlokalizowanych było w Niemczech (49 stacji), Hiszpanii (39) i we Włoszech (36). W 9 krajach pomiary równoległe obu frakcji pyłu zawieszonego prowadzone były tylko na jednej stacji (Tab. 7.3.1).

Tab. 7.3.1. Udział pyłu zawieszonego PM_{2,5} w pyłe zawieszonym PM₁₀ w poszczególnych krajach Europy w roku 2023 na stacjach pozamiejskich tła (źródło danych: EAŚ)

Kraj	Liczba stacji pozamiejskich tła	Udział pyłu PM _{2,5} w PM ₁₀			
		Minimum	Średnia	Maksimum	Różnica 2023-2022
	[-]	[%]	[%]	[%]	[%]
AT	12	60,1	68,3	74,0	0,3
BA	1	65,1	65,1	65,1	-18,2
BE	13	49,2	55,5	61,0	1,3
BG	2	60,3	75,4	90,5	1,8
CH	3	63,1	64,6	66,1	-4,5
CY	1	53,0	53,0	53,0	0,6
CZ	21	51,2	70,1	76,2	-1,6
DE	49	47,8	63,1	76,0	0,1
DK	1	47,9	47,9	47,9	-8,6
EE	1	85,8	85,8	85,8	-6,7
ES	39	26,9	55,4	89,2	1,3
FI	5	58,1	64,1	72,2	7,7
FR	24	40,4	60,8	68,5	1,3
GR	2	55,4	60,8	66,2	4,2
HR	5	52,3	67,0	79,4	1,8
HU	3	59,4	67,3	72,0	-5,9
IE	2	53,2	59,8	66,3	-7,2
IT	36	29,9	58,8	75,4	0,7
LT	1	68,0	68,0	68,0	18,7
LU	1	54,7	54,7	54,7	-1,9
LV	1	53,8	53,8	53,8	2,7
MT	1	48,6	48,6	48,6	2,6
NL	11	43,9	55,5	74,6	0,8
NO	3	59,9	60,8	62,2	6,4
PL ^{*)}	6	69,2	74,8	82,8	2,8
PT	11	20,7	39,9	74,9	2,6
RO	1	100,0	100,0	100,0	29,9
SE	4	41,0	57,8	76,3	-6,0
SI	2	71,2	76,8	82,4	-5,6
SK	3	69,7	79,1	96,3	6,1
TR	10	22,8	52,2	169,3	8,4
Europa	275	20,7	63,4	169,3	1,2

^{*)} Stacje: Borsukowizna-Wiejska, Bory Tucholskie, Godów, KMŚ Puszcza Borecka, Osieczów, Złoty Potok Leśniczówka

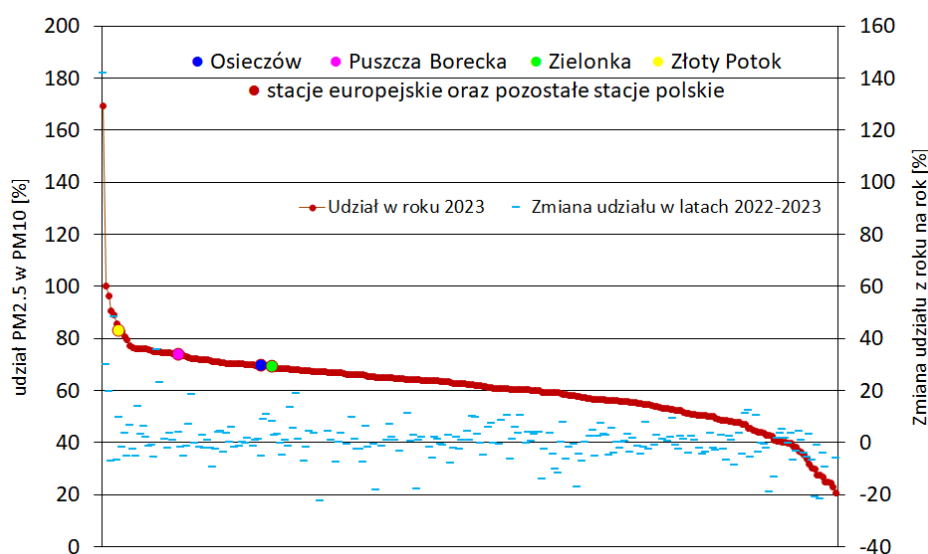
Przeprowadzone analizy pokazują, że uśredniony udział pyłu zawieszonego PM_{2,5} w pyłe zawieszonym PM₁₀ w poszczególnych krajach na obszarach tła pozamiejskiego w Europie w roku 2023 zawierał się w granicach od 39,9% do 100,0%. Największy średni udział obliczony dla kraju na obszarach pozamiejskich tła, wyższy od 80%, zaobserwowano dla Rumunii i Estonii, zaś najmniejszy, nieprzekraczający 50%, dla Portugalii, Danii i Malty. W przypadku Polski, średni udział pyłu zawieszonego PM_{2,5} w pyłe zawieszonym PM₁₀ na obszarach tła pozamiejskiego w 2023 roku wyniósł 74,8% (Tab. 7.3.1). Najwyższy wzrost udziału pyłu zawieszonego PM_{2,5} w pyłe zawieszonym PM₁₀ z roku na rok (w okresie 2022-2023) zaobserwowano dla Rumunii (blisko 30%) oraz Litwy (blisko 19%). W 15 krajach zanotowano wzrosty, w tym w Polsce (2,8%), a w 5 krajach zmiany udziału nie przekraczały 1%. Wyniki analizy pokazują, że dla pozostałych 10 krajów udział pyłu zawieszonego PM_{2,5} w pyłe zawieszonym PM₁₀ spadł z roku na rok, najbardziej widoczny dotyczył Bośni i Hercegowiny (nieco ponad 18%) oraz Danii (blisko 9%) - Tab. 7.3.1, Rys. 7.3.1.



Rys. 7.3.1. Udział pyłu zawieszonego PM_{2,5} w pylenie zawieszonym PM₁₀ w poszczególnych krajach Europy w 2023 roku ze wskazaniem różnic w udziale średnim w stosunku do 2022 roku (udział obliczony podstawie stężeń średnich rocznych na stacjach pozamiejskich tła) (źródło danych: EAŚ)

Ocena wartości obliczonego udziału pyłu zawieszonego PM_{2,5} w pylenie zawieszonym PM₁₀ na poszczególnych stacjach pozamiejskich tła w Europie pokazuje bardzo duże różnice – od 20,7% (jedna ze stacji portugalskich) do 169,3% (jedna ze stacji tureckich). Analizowane stacje tła regionalnego z Polski znajdowały się w strefie stacji z wysokimi wartościami omawianego wskaźnika (udziału). Najwyższy udział zanotowano dla stacji Złoty Potok (blisko 83%) i było to 7 maksimum europejskie. Wśród 9 stacji z najwyższym współczynnikiem udziału pyłu zawieszonego PM_{2,5} w pylenie zawieszonym PM₁₀, przekraczającym 80%, znajdowały się pojedyncze stacje z 8 krajów, a najwyższe wartości zanotowano na stacjach tureckiej, rumuńskiej i słowackiej. W tej grupie znalazły się dwie stacje z Polski – wspomniany Złoty Potok oraz Borsukowizna-Wiejska, jako 9 maksimum europejskie. Wysokie wartości dotyczyły również Puszczy Boreckiej (blisko 74% stanowiło 29 maksimum europejskie wśród 275 analizowanych stacji). Uzyskane udziały pyłu zawieszonego PM_{2,5} w pylenie PM₁₀ na stacjach Osieczów i Zielonka były zbliżone (nieco poniżej 70%) - na pozycjach 60 i 64 maksimum europejskiego. Najniższe udziały (nieprzekraczające 30%) zanotowano na 9 stacjach, w tym trzech tureckich i portugalskich, dwóch hiszpańskich oraz jednej ze stacji włoskich.

Zmianę udziału pyłu zawieszonego PM_{2,5} w pylenie zawieszonym PM₁₀ z roku na rok (2022-2023) obliczono dla 230 stacji, z których wyniki dostępne były dla obu lat. W przypadku 105 stacji zaobserwowano wzrost współczynnika udziału z roku na rok; największy – przekraczający 25% – dotyczył 4 stacji: tureckiej, hiszpańskiej, portugalskiej i rumuńskiej. W przypadku 35 stacji w Europie nie zanotowano zmian przekraczających 1%. Na pozostałych 92 stacjach zanotowano spadki wskaźnika udziału pyłu PM_{2,5} w PM₁₀, najwyższe przekraczające 20% zaobserwowano na pojedynczych stacjach czeskich, tureckich i włoskich. W przypadku polskich stacji tła regionalnego, wzrosty udziału pyłu zawieszonego PM_{2,5} w PM₁₀ z roku na rok wynosiły: dla Złotego Potoku – 9,8%, Zielonki – 8,2% a dla Puszczy Boreckiej – 4,0% (Rys. 7.3.2).



Rys. 7.3.2. Udział pyłu zawieszonego PM_{2,5} w pył zawieszonym PM₁₀ na poszczególnych stacjach pomiarowych tła w Europie w 2023 roku oraz różnica w udziale w okresie 2022-2023 (źródło danych: EAŚ)

7.4. Depozycja zanieczyszczeń do podłoża

W tym rozdziale przedstawiono wyniki przeprowadzonej oceny w zakresie depozycji metali ciężkich oraz wielopierścieniowych węglowodórów aromatycznych (WWA) w Europie na obszarach tła pozamiejskiego. Ocenę przedstawiono z wykorzystaniem wartości dobowego wskaźnika depozycji.

Ocenę depozycji dla roku 2023 przeprowadzono dla wyników pomiarów prowadzonych na 51 stacjach, gdzie prowadzono pomiary pod kątem oznaczenia przynajmniej jednego z metali ciężkich i/lub jednego WWA. W 2023 roku pomiary depozycji na stacjach pozamiejskich tła w Europie prowadzono w 14 krajach: Austrii, Belgii, Niemczech, Danii, Hiszpanii, Finlandii, Francji, Irlandii, Litwie, Łotwie, Malcie, Polsce, Szwecji i Węgrzech. Aż 43% europejskich stacji pozamiejskich tła zlokalizowanych było w Niemczech (22). Pomiary depozycji na więcej niż jednej stacji wykonywano w Hiszpanii i Francji (po 5), Finlandii, Polsce i Szwecji (po 3 stacje) oraz Belgii i Dani (po 2). W pozostałych krajach 6 krajach funkcjonowały pojedyncze stacje.

O liczbie stacji uwzględnionych w analizach w 2023 roku decydowały przede wszystkim pomiary metali ciężkich (46 stacji). Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne oznaczane były znacznie rzadziej – na 26 stacjach.

7.4.1. Metale ciężkie

W 2023 roku pomiary zawartości metali ciężkich (arsenu, niklu i kadmu) w opadzie prowadzono na 46 stacjach pozamiejskich tła w Europie. Wartości parametrów statystycznych jako uśrednione wartości dla poszczególnych krajów dla depozycji analizowanych metali ciężkich przedstawiono w tabelach 7.4.1 - 7.4.3 oraz na rysunkach 7.4.1 - 7.4.7.

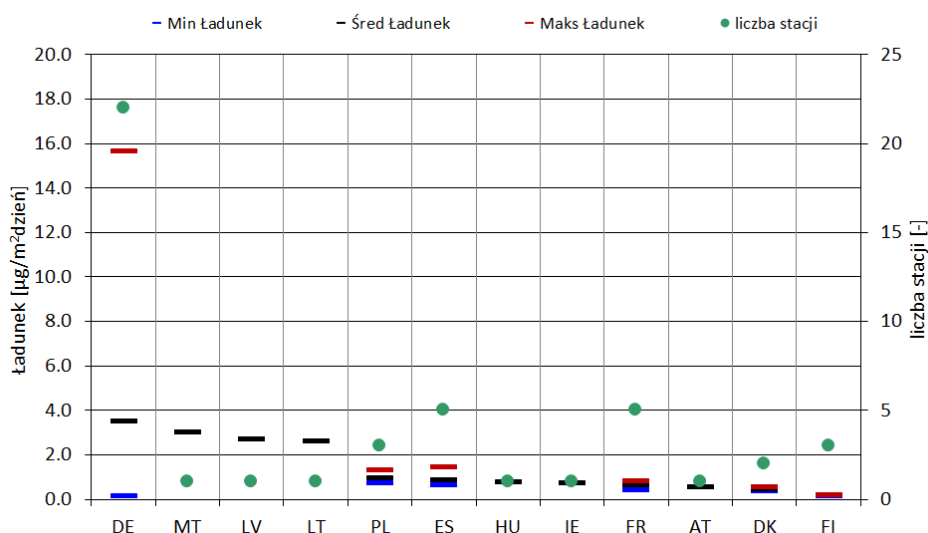
Uśredniony dobowy wskaźnik depozycji Ni na obszarach tła pozamiejskiego dla poszczególnych krajów europejskich pokazuje, że w Polsce depozycja tego metalu była na nieco niższym poziomie od średniej europejskiej. Wyższe niż w Polsce wartości wskaźnika

depozycji tego metalu uzyskano dla 4 krajów: Niemiec (przy największej różnicy wskaźników depozycji Ni na stacjach), Malty, Łotwy i Litwy. Najniższe wartości uśrednionego wskaźnika zanotowano dla Finlandii (Tab. 7.4.1 i Rys. 7.4.1).

Tab. 7.4.1. Dobowy wskaźnik depozycji Ni (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła	Dobowy wskaźnik depozycji		
		Min	Średnia	Maks
	[-]	[$\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień]	[$\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień]	[$\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień]
AT	1	0,515	0,515	0,515
DE	22	0,123	3,459	15,631
DK	2	0,336	0,422	0,507
ES	5	0,590	0,832	1,402
FI	3	0,119	0,147	0,170
FR	5	0,386	0,617	0,778
HU	1	0,761	0,761	0,761
IE	1	0,678	0,678	0,678
LT	1	2,565	2,565	2,565
LV	1	2,650	2,650	2,650
MT	1	3,000	3,000	3,000
PL ^{*)}	3	0,700	0,927	1,287
Europa	46	0,119	1,381	15,631

^{*)} Stacje: Bory Tucholskie, KMŚ Puszcza Borecka, Osieczów



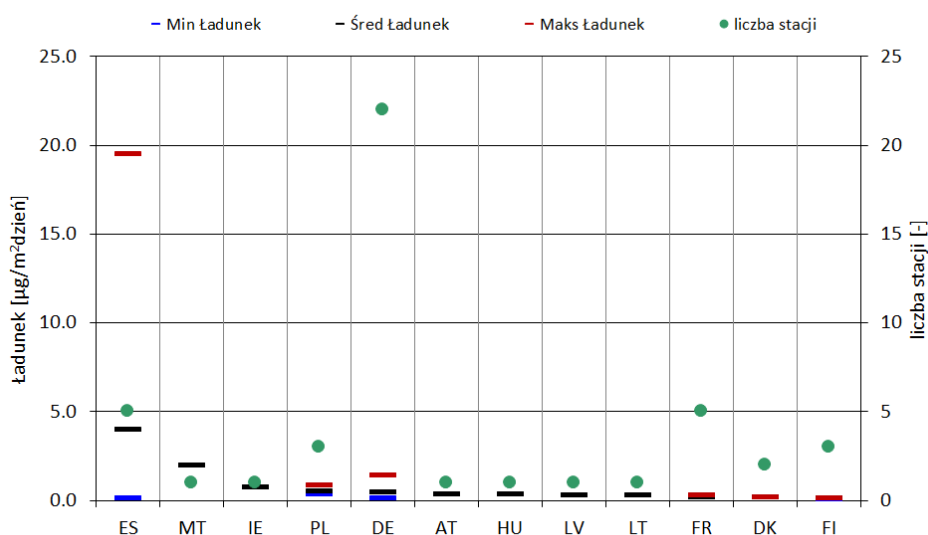
Rys. 7.4.1. Średni dobowy wskaźnik depozycji Ni (wartości minimalne, średnie i maksymalne) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji pozamiejskich tła uwzględnionych w analizie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)

Podobnie sytuacja wyglądała w przypadku depozycji arsenu, gdzie wartość średniego dobowego wskaźnika depozycji dla Polski w 2023 roku była na poziomie niższym od średniej obliczonej dla Europy. Wyższą wartość wskaźnika depozycji dla As niż w Polsce, co prawda jedynie dla 3 spośród 12 analizowanych krajów (Hiszpanii, Malty i Irlandii), ale wskaźniki depozycji w tych krajach miały znaczący wpływ na wysokość średniej europejskiej. Najniższą wartość wskaźnika depozycji As zaobserwowano dla Finlandii (Tab. 7.4.2 i Rys. 7.4.3).

Tab. 7.4.2. Dobowy wskaźnik depozycji As (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła	Dobowy wskaźnik depozycji		
		Min	Średnia	Maks
	[-]	[$\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień]	[$\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień]	[$\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień]
AT	1	0,325	0,325	0,325
DE	22	0,082	0,424	1,357
DK	2	0,141	0,148	0,154
ES	5	0,073	3,979	19,500
FI	3	0,043	0,074	0,109
FR	5	0,121	0,166	0,265
HU	1	0,287	0,287	0,287
IE	1	0,678	0,678	0,678
LT	1	0,245	0,245	0,245
LV	1	0,267	0,267	0,267
MT	1	1,953	1,953	1,953
PL ^{*)}	3	0,335	0,494	0,795
Europa	46	0,043	0,753	19,500

^{*)} Stacje: Bory Tucholskie, KMŚ Puszcza Borecka, Osieczów



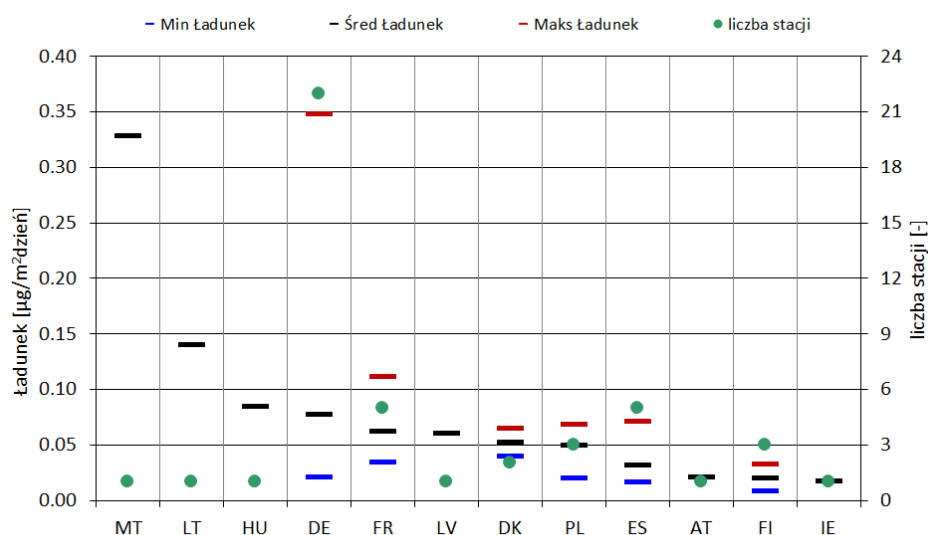
Rys. 7.4.2. Średni dobowy wskaźnik depozycji As (wartości minimalne, średnie i maksymalne) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji pozamiejskich tła uwzględnionych w analizie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)

Analiza uśrednionego wskaźnika depozycji kadmu w 2023 roku na obszarach tła pozamiejskiego w Europie wskazuje na wartości w Polsce na jednym z najniższych poziomów w Europie, znacznie poniżej średniej europejskiej. Spośród 12 analizowanych krajów, niższe wartości dobowego wskaźnika depozycji na obszarach tła pozamiejskiego niż obliczony dla Polski zaobserwowano dla 4 krajów: Hiszpanii, Austrii, Finlandii i Irlandii (najniższa wartość w Europie). Zdecydowanie najwyższe wartości wskaźnika depozycji Cd uzyskano dla Malty (Tab. 7.4.3, Rys. 7.4.5).

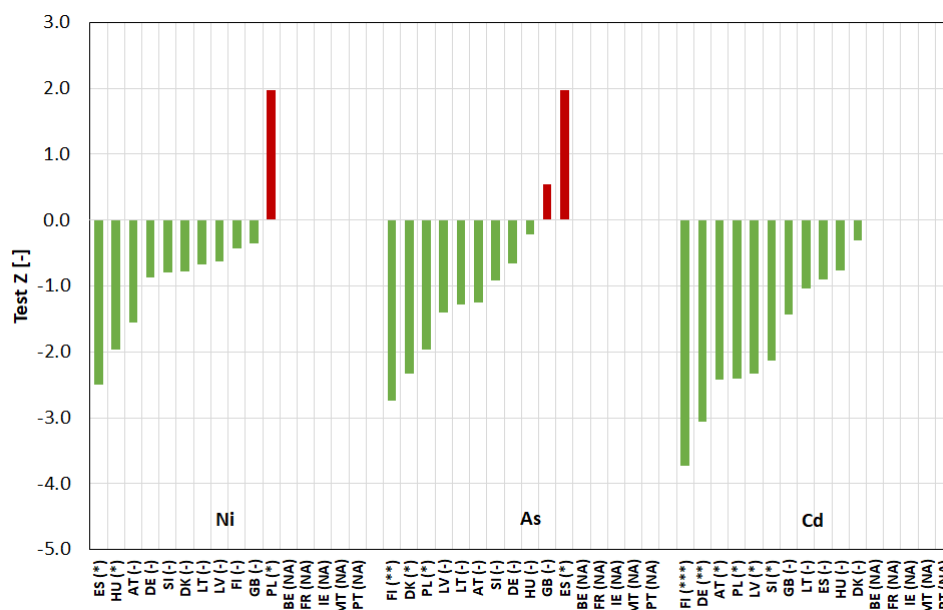
Tab. 7.4.3. Dobowy wskaźnik depozycji Cd (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła	Dobowy wskaźnik depozycji		
		Min	Średnia	Maks
		[$\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień]	[$\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień]	[$\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień]
AT	1	0,020	0,020	0,020
DE	22	0,020	0,077	0,347
DK	2	0,039	0,052	0,064
ES	5	0,016	0,031	0,070
FI	3	0,008	0,020	0,032
FR	5	0,034	0,061	0,111
HU	1	0,084	0,084	0,084
IE	1	0,017	0,017	0,017
LT	1	0,139	0,139	0,139
LV	1	0,060	0,060	0,060
MT	1	0,328	0,328	0,328
PL ^{*)}	3	0,019	0,049	0,068
Europa	46	0,008	0,078	0,347

^{*)} Stacje: Bory Tucholskie, KMŚ Puszcza Borecka, Osieczów



Rys. 7.4.3. Średni dobowy wskaźnik depozycji Cd (wartości minimalne, średnie i maksymalne) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji pozamiejskich tła uwzględnionych w analizie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)



Rys. 7.4.4. Trendy i tendencje zmian wartości średniego dobowego wskaźnika depozycji Ni, As i Cd w poszczególnych krajach Europy w latach 2010-2023 (źródło danych: EAŚ)

Analiza zmienności średniego dobowego wskaźnika depozycji metali ciężkich obliczonych dla poszczególnych krajów europejskich w okresie 2010-2023 (analizy przeprowadzono dla 11 krajów, dla których możliwe było przeprowadzenie testów statystycznych), wskazuje generalnie na spadki. Wyjątek stanowią: w przypadku wskaźnika depozycji Ni – Polska (z istotnym statystycznie trendem rosnącym) oraz w przypadku wskaźnika depozycji As – Hiszpania (z istotnym statystycznie trendem rosnącym) i Wielka Brytania (przy braku danych z okresu 2020-2023) z nieistotną statystycznie tendencją rosnącą. Istotne statystycznie trendy malejące depozycji metali na obszarach tła pozamiejskiego w Europie obserwuje się dla Hiszpanii i Węgier dla Ni, Finlandii, Danii i Polski dla As oraz Finlandii, Niemiec, Austrii, Polski, Łotwy oraz Słowenii dla Cd. W przypadku pozostałych krajów można mówić o nieistotnych statystycznie tendencjach malejących wskaźników depozycji metali ciężkich w Europie (Rys. 7.4.4).

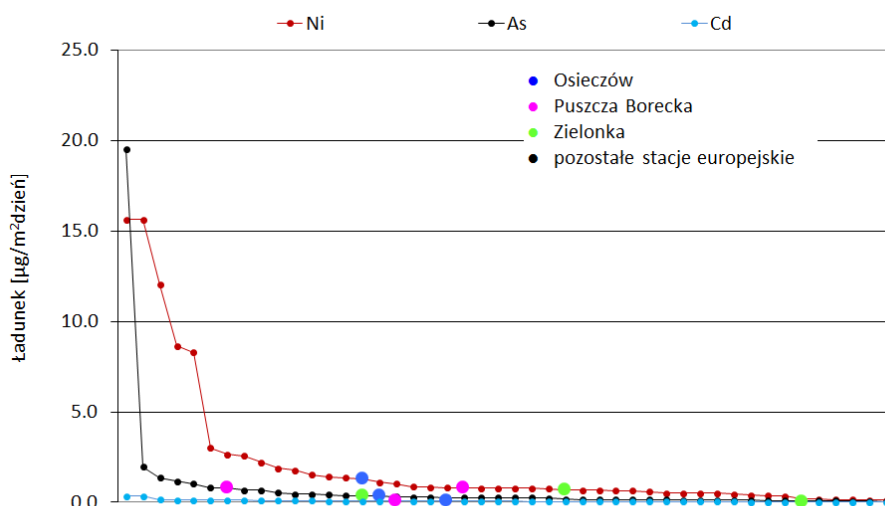
Wartości wskaźników depozycji metali ciężkich na pojedynczych stacjach pozamiejskich tła Europy w 2023 roku zawierały się w granicach: 0,119-15,631 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ na dzień dla Ni; 0,043-19,500 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ na dzień dla As oraz 0,008-0,347 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ na dzień dla Cd. Analiza depozycji metali ciężkich na poszczególnych europejskich stacjach pozamiejskich tła spełniających przyjęte w opracowaniu kryteria kompletności serii (por. rozdział 2) pokazuje, że stacje tła regionalnego z Polski znajdowały się wśród stacji ze średnimi i niskimi wartościami średniego dobowego wskaźnika depozycji.

W przypadku niklu wśród 10% stacji z najwyższymi średnimi wskaźnikami depozycji (na 46 analizowanych stacji) znajdowały się tylko stacje niemieckie (5 z najwyższymi wartościami w Europie). Wskaźniki depozycji tego metalu na polskich stacjach tła regionalnego uplasowały je odpowiednio: Osieczów na 15 pozycji licząc od najwyższych wartości w Europie, Puszcza Borecka jako 21 maksimum oraz Zielonka jako 27 maksimum (Rys. 7.4.5). Najniższe wartości wskaźnika depozycji Ni obserwowano na stacji fińskiej i dwóch niemieckich.

Uzyskane wartości średnich wskaźników depozycji arsenu na stacjach europejskich tła pokazują, że wśród 10% stacji z najwyższymi wartościami wskaźnika depozycji As (spośród

46 stacji wykonujących to oznaczenie), znajdowały się 3 stacje z Niemiec (w tym jedna z 3 maksimum europejskim) oraz stacja z Hiszpanii (maksimum europejskie) i z Malty (2 maksimum). Polskie stacje tła regionalnego uplasowały się w strefie wartości wyższych: Puszcza Borecka na pozycji 7 licząc od wartości najwyższych, zaś Osieczów i Zielonka blisko siebie – na pozycjach 15 i 16 (Rys. 7.4.5). Najniższe wartości średniego rocznego wskaźnika depozycji As w Europie uzyskano na dwóch stacjach fińskich.

Analiza rozkładu średnich dobowych wskaźników depozycji kadmu na stacjach europejskich tła pozamiejskiego pokazuje, że wśród 10% stacji z najwyższymi wartościami, znajdowały się 3 stacje z Niemiec (w tym jedna z maksimum europejskim), stacja maltańska (2 maksimum) oraz litewska (3 maksimum europejskie). W przypadku polskich stacji tła regionalnego, uzyskany średni dobowy wskaźnik depozycji Cd w Puszczy Boreckiej i Osieczowie uplasował je nieco powyżej średniej w Europie, na pozycjach 17 i 22 maksimum europejskiego, zaś Zielonkę w strefie wartości bardzo niskich, jako 41 wartość wśród 46 poddanych analizie (Rys. 7.4.5).



Rys. 7.4.5. Średni dobowy wskaźnik depozycji metali ciężkich na poszczególnych stacjach pozamiejskich tła w Europie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)

7.4.2. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne

Ocenę depozycji wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w Europie na obszarach pozamiejskich tła dla roku 2023 przeprowadzono z uwzględnieniem odpowiednio: 26 stacji dla benzo(a)pirenu, 24 dla benzo(a)antracenu, indeno(1,2,3-cd)pirenu i dibenzo(a,h)antracenu, 17 stacji w przypadku benzo(b)fluorantenu i benzo(k)fluorantenu oraz 16 w przypadku benzo(j)fluorantenu. Wartości parametrów statystycznych dla depozycji analizowanych WWA, uśrednionych dla poszczególnych krajów, przedstawiono w tabelach 7.4.4 – 7.4.10 oraz na rysunkach 7.4.6 - 7.4.12.

Wartości przeciętne dobowych wskaźników depozycji w krajach europejskich dla obszarów tła pozamiejskiego w 2023 roku dla benzo(a)pirenu pokazują, że spośród 12 analizowanych krajów, gdzie wykonywano pomiary tego zanieczyszczenia, Polska znajdowała się znacznie poniżej średniej obliczonej dla Europy. Wyższy niż w Polsce wskaźnik

depozycji B(a)P zanotowano na Malcie (o rząd wielkości wyższy niż w innych krajach europejskich), a bardzo zbliżony na Łotwie i w Belgii. Najniższe wartości wskaźnika depozycji B(a)P uzyskano dla Danii (Tab. 7.4.4 i Rys. 7.4.6).

Tab. 7.4.4. Dobowy wskaźnik depozycji B(a)P (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła [-]	Dobowy wskaźnik depozycji		
		Min [µg/m ² dzień]	Średnia [µg/m ² dzień]	Maks [µg/m ² dzień]
AT	1	0,002	0,002	0,002
BE	1	0,013	0,013	0,013
DE	6	0,003	0,009	0,015
DK	1	0,001	0,001	0,001
FI	2	0,002	0,005	0,008
FR	5	0,002	0,006	0,012
HU	1	0,005	0,005	0,005
LT	1	0,007	0,007	0,007
LV	1	0,014	0,014	0,014
MT	1	0,188	0,188	0,188
PL ^{*)}	3	0,007	0,013	0,023
SE	3	0,002	0,004	0,007
Europa	26	0,001	0,022	0,188

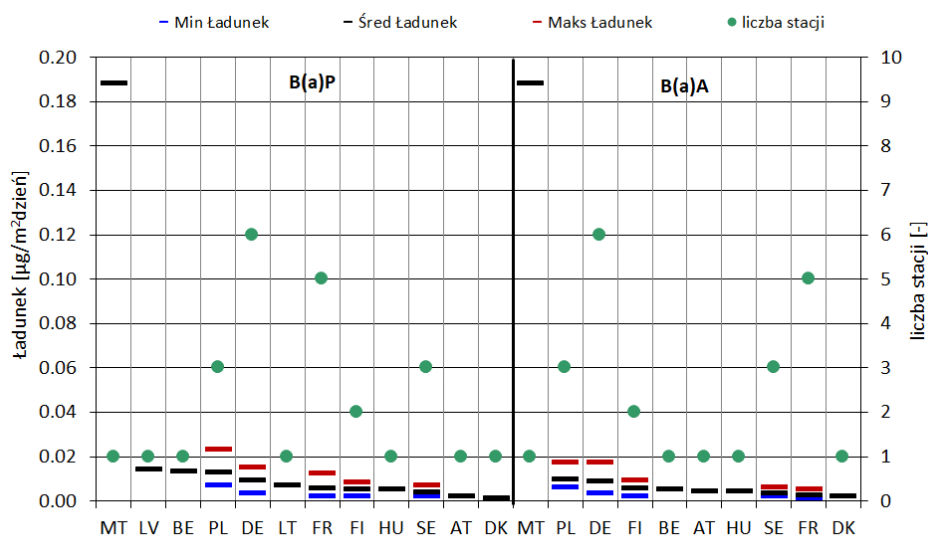
^{*)} Stacje: Bory Tucholskie, KMŚ Puszcza Borecka, Osieczów

W przypadku uśrednionego wskaźnika depozycji benzo(a)antracenu, wyższe wartości wskaźnika depozycji niż w Polsce, wśród 10 analizowanych krajów, uzyskano tylko dla Malty (rząd wielkości wyższy niż w Polsce). Najniższe wartości dobowego wskaźnika depozycji B(a)A uzyskano dla Danii (Tab. 7.4.5, Rys. 7.4.6).

Tab. 7.4.5. Dobowy wskaźnik depozycji B(a)A (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

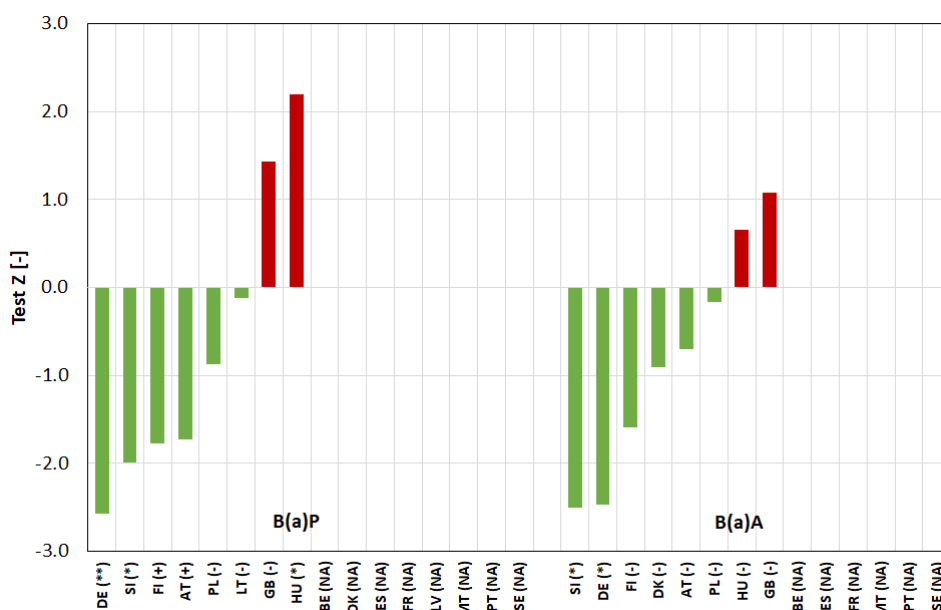
Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła [-]	Dobowy wskaźnik depozycji		
		Min [µg/m ² dzień]	Średnia [µg/m ² dzień]	Maks [µg/m ² dzień]
AT	1	0,004	0,004	0,004
BE	1	0,005	0,005	0,005
DE	6	0,003	0,009	0,017
DK	1	0,002	0,002	0,002
FI	2	0,002	0,006	0,009
FR	5	0,001	0,002	0,005
HU	1	0,004	0,004	0,004
MT	1	0,188	0,188	0,188
PL ^{*)}	3	0,006	0,010	0,017
SE	3	0,002	0,003	0,006
Europa	24	0,001	0,023	0,188

^{*)} Stacje: Bory Tucholskie, KMŚ Puszcza Borecka, Osieczów



Rys. 7.4.6. Średni dobowy wskaźnik depozycji B(a)P i B(a)A (wartości minimalne, średnie i maksymalne) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji pozamiejskich tła uwzględnionych w analizie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)

Analiza zmian wartości wskaźników depozycji w okresie 2010-2023 obydwu omawianych powyżej WWA, przeprowadzona dla 8 krajów (dla których możliwe było przeprowadzenie testów statystycznych), pokazuje bardzo zróżnicowany obraz w Europie. W przypadku depozycji B(a)P istotny statystycznie trend malejący zaobserwowano dla Niemiec (najwyraźniej zarysowany), Słowenii, Finlandii oraz Austrii, zaś dla B(a)A - tylko dla Słowenii i Niemiec. Spadki wskaźników depozycji B(a)P na poziomie nieistotnej statystycznie tendencji dotyczyły Polski i Litwy, zaś w przypadku B(a)A - Polski, Austrii, Danii i Finlandii. Należy podkreślić, że w przypadku Węgier obserwowany jest istotny statystycznie trend rosnący depozycji B(a)P, jako jedynego kraju w Europie, przy rosnącej nieistotnej statystycznie tendencji depozycji B(a)A. Podobnie sytuacja wygląda w przypadku Wielkiej Brytanii, ale dla tego kraju nie są dostępne dane po roku 2020 (Rys. 7.4.7).



Rys. 7.4.7. Trendy i tendencje zmian dobowego wskaźnika depozycji B(a)P i B(a)A w poszczególnych krajach Europy w latach 2010-2023 (źródło danych: EAŚ)

Poziom depozycji benzo(b)fluorantenu i benzo(j)fluorantenu oraz benzo(k)fluorantenu na obszarach pozamiejskich tła w 2023 roku, podobnie jak w poprzednich latach, był monitorowany na najmniejszej liczbie stacji i w nielicznych krajach.

Analizy średniego dobowego wskaźnika depozycji B(b)F, B(j)F i B(k)F obliczonego dla obszarów tła pozamiejskiego w 2023 roku w poszczególnych krajach, gdzie wykonywano oznaczenia tych trzech WWA, wskazuje, że w przypadku Polski wartości tych wskaźników były niższe od średnich dla Europy. Wynika to z faktu, że najwyższe w Europie wartości wskaźników depozycji B(b)F, B(j)F i B(k)F uzyskane dla Malty były o rząd wielkości wyższe niż w pozostałych krajach europejskich, co miało istotny wpływ na obliczaną średnią. W przypadku B(b)F i B(k)F wyższe wartości niż w Polsce obserwowano jedynie dla Malty, zaś dla B(j)F również dla Niemiec. Najniższe wartości średniego dobowego wskaźnika depozycji dla każdego z omawianych 3 WWA dotyczyły Austrii (Tab. 7.4.6 - 7.4.8, Rys. 7.4.8).

Tab. 7.4.6. Dobowy wskaźnik depozycji B(b)F (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła	Dobowy wskaźnik depozycji		
		Min	Średnia	Maks
	[-]	[$\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień]	[$\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień]	[$\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień]
AT	1	0,002	0,002	0,002
BE	1	0,009	0,009	0,009
DE	1	0,020	0,020	0,020
FI	2	0,005	0,011	0,016
FR	5	0,004	0,014	0,025
MT	1	0,188	0,188	0,188
PL ^{*)}	3	0,010	0,023	0,037
SE	3	0,004	0,007	0,012
Europa	17	0,002	0,034	0,188

^{*)} Stacje: Bory Tucholskie, KMŚ Puszcza Borecka, Osieczów

Tab. 7.4.7. Dobowy wskaźnik depozycji B(j)F (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła	Dobowy wskaźnik depozycji		
		Min	Średnia	Maks
	[-]	[$\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień]	[$\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień]	[$\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień]
AT	1	0,002	0,002	0,002
DE	1	0,025	0,025	0,025
FI	2	0,003	0,007	0,011
FR	5	0,001	0,006	0,012
MT	1	0,507	0,507	0,507
PL ^{*)}	3	0,005	0,011	0,021
SE	3	0,002	0,004	0,008
Europa	16	0,001	0,080	0,507

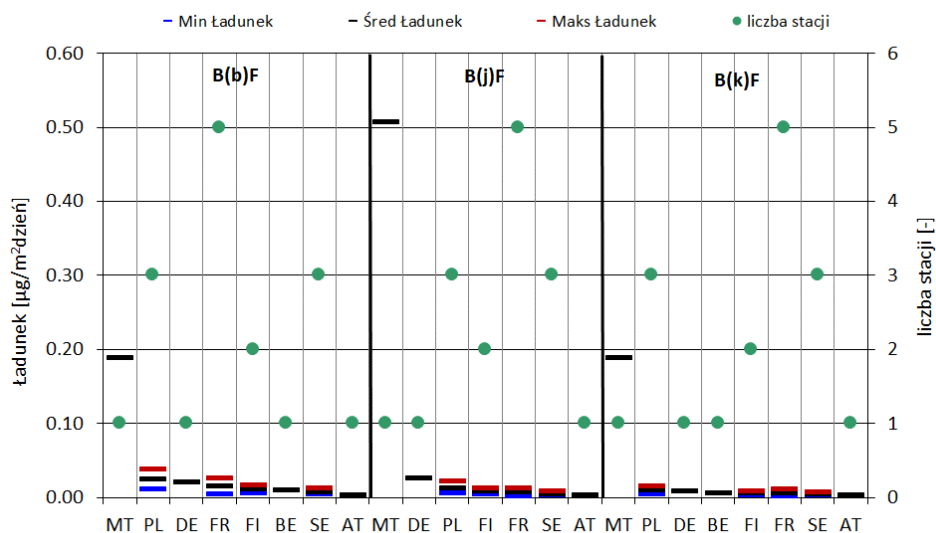
^{*)} Stacje: Bory Tucholskie, KMŚ Puszcza Borecka, Osieczów

Tab. 7.4.8. Dobowy wskaźnik depozycji B(k)F (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

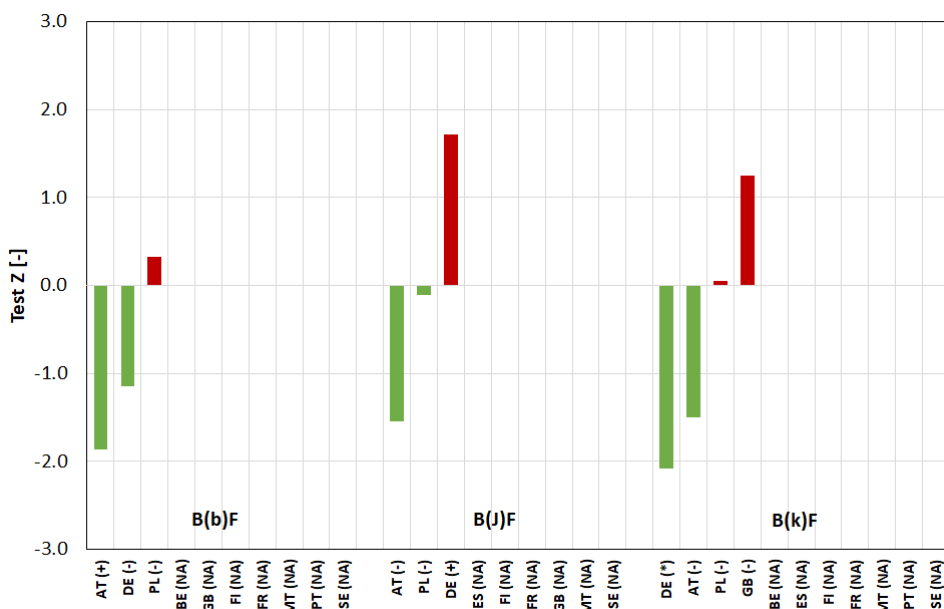
Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła	Dobowy wskaźnik depozycji		
		Min	Średnia	Maks
	[-]	[$\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień]	[$\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień]	[$\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień]
AT	1	0,002	0,002	0,002
BE	1	0,005	0,005	0,005
DE	1	0,007	0,007	0,007
FI	2	0,002	0,005	0,008

Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła	Dobowy wskaźnik depozycji		
		Min	Średnia	Maks
		[$\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień]	[$\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień]	[$\mu\text{g}/\text{m}^2$ dzień]
FR	5	0,001	0,005	0,010
MT	1	0,188	0,188	0,188
PL ^{*)}	3	0,004	0,009	0,014
SE	3	0,002	0,003	0,006
Europa	17	0,001	0,028	0,188

^{*)} Stacje: Bory Tucholskie, KMŚ Puszcza Borecka, Osieczęw



Rys. 7.4.8. Średni dobowy wskaźnik depozycji B(b)F, B(j)F i B(k)F (wartości minimalne, średnie i maksymalne) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji pozamiejskich tła uwzględnionych w analizie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)



Rys. 7.4.9. Trendy i tendencje zmian dobowego wskaźnika depozycji B(b)F, B(j)F i B(k)F w poszczególnych krajach Europy w latach 2010-2023 (źródło danych: EAŚ)

Ze względu na niewielką liczbę stacji i krajów w Europie, analizę zmian omówionych powyżej wskaźników depozycji WWA w latach 2010-2023, przeprowadzono jedynie dla 4 krajów w przypadku B(k)F (Austrii, Niemiec, Polski i Wielkiej Brytanii), oraz 3 krajów w przypadku B(b)F i B(j)F (Austrii, Niemiec i Polski). Istotne statystycznie trendy malejące dotyczą jedynie Austrii w przypadku B(b)F oraz Niemiec dla B(k)F. W przypadku Niemiec zanotowano istotny statystycznie trend rosnący dla B(j)F. W przypadku Polski można mówić o nieistotnych statystycznie tendencjach rosnących wskaźników depozycji B(b)F i B(k)F oraz nieistotnej statystycznie tendencji malejącej w przypadku B(j)F (Rys. 7.4.9).

Analiza wartości średnich dobowych wskaźników depozycji indeno(1,2,3-cd)pirenu i dibenzo(a,h)antracenu wskazuje, że w 2023 roku depozycja na obszarach tła pozamiejskiego w Polsce znajdowała się na poziomie poniżej średniej obliczonej dla Europy. Wśród 10 krajów poddanych analizie, najwyższą wartość wskaźnika depozycji I(1,2,3-cd)P zaobserwowano dla Malty, a następnie dla Polski, zaś w przypadku D(a,h)A dla Węgier. Wyższe wartości wskaźnika depozycji D(a,h)A niż dla Polski wystąpiło dla 5 krajów. Najniższe wskaźniki depozycji I(1,2,3-cd)P dotyczyły Austrii, zaś D(a,h)A - Danii (Tab. 7.4.9 – 7.4.10, Rys. 7.4.10).

Tab. 7.4.9. Dobowy wskaźnik depozycji I(1,2,3-cd)P (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

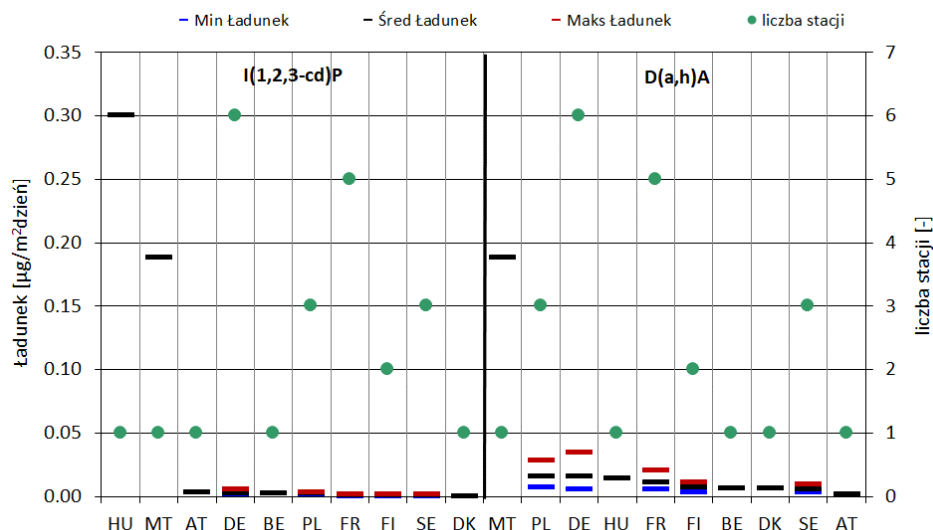
Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła [-]	Dobowy wskaźnik depozycji		
		Min	Średnia	Maks
		[µg/m ² dzień]	[µg/m ² dzień]	[µg/m ² dzień]
AT	1	0,001	0,001	0,001
BE	1	0,006	0,006	0,006
DE	6	0,005	0,015	0,034
DK	1	0,006	0,006	0,006
FI	2	0,003	0,007	0,011
FR	5	0,005	0,011	0,020
HU	1	0,014	0,014	0,014
MT	1	0,188	0,188	0,188
PL ^{*)}	3	0,007	0,016	0,028
SE	3	0,003	0,005	0,009
Europa	24	0,001	0,027	0,188

^{*)} Stacje: Bory Tucholskie, KMŚ Puszcza Borecka, Osieczów

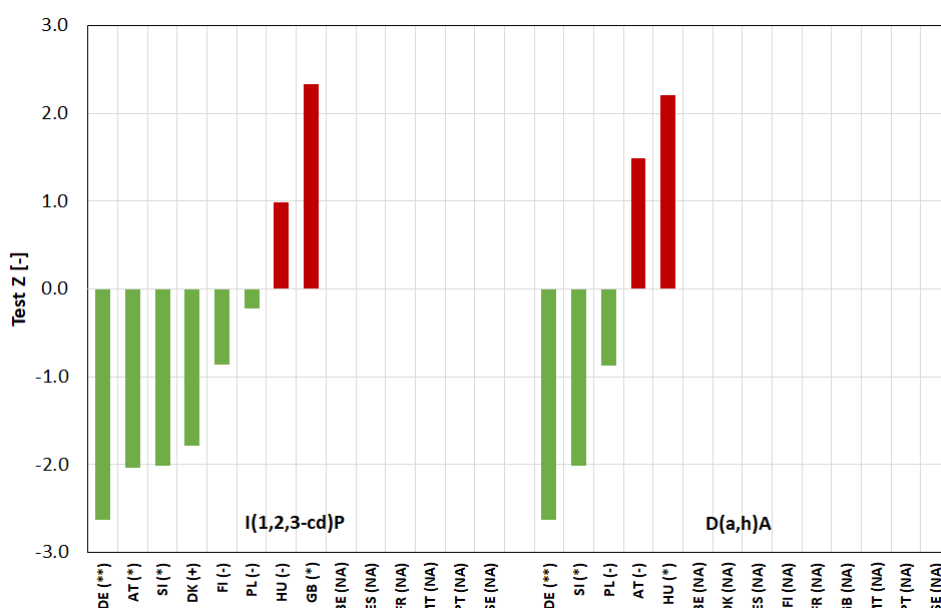
Tab. 7.4.10. Dobowy wskaźnik depozycji D(a,h)A (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane w roku 2023 w poszczególnych krajach Europy (źródło danych: EAŚ)

Kod kraju wg ISO	Liczba stacji pozamiejskich tła [-]	Dobowy wskaźnik depozycji		
		Min	Średnia	Maks
		[µg/m ² dzień]	[µg/m ² dzień]	[µg/m ² dzień]
AT	1	0,003	0,003	0,003
BE	1	0,002	0,002	0,002
DE	6	0,001	0,002	0,005
DK	1	0,000	0,000	0,000
FI	2	0,000	0,001	0,001
FR	5	0,000	0,001	0,001
HU	1	0,300	0,300	0,300
MT	1	0,188	0,188	0,188
PL ^{*)}	3	0,001	0,002	0,003
SE	3	0,000	0,000	0,001
Europa	24	0,000	0,050	0,300

^{*)} Stacje: Bory Tucholskie, KMŚ Puszcza Borecka, Osieczów



Rys. 7.4.10. Średni dobowy wskaźnik depozycji I(1,2,3-cd)P i D(a,h)A (wartości minimalne, średnie i maksymalne) w poszczególnych krajach Europy na tle liczby stacji pozamiejskich tła uwzględnionych w analizie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)



Rys. 7.4.11. Trendy i tendencje zmian dobowego wskaźnika depozycji I(1,2,3-cd)P i D(a,h)A w poszczególnych krajach Europy w latach 2010-2023 (źródło danych: EAŚ)

Podobnie jak dla wcześniej omówionych WWA, ocena zmian wartości średnich dobowych wskaźników depozycji I(1,2,3-cd)P i D(a,h)A w Europie w latach 2010-2023 wskazuje na znacznie zróżnicowanie.

Spośród 8 krajów, dla których możliwe było przeprowadzenie testów statystycznych zmian wskaźników depozycji I(1,2,3-cd)P, istotne statystycznie trendy malejące dotyczyły Niemiec (o największej istotności), Austrii, Słowenii i Danii. W przypadku Finlandii i Polski zaobserwowano nieistotne statystycznie tendencje malejące, zaś dla Węgier - rosnące. W przypadku Wielkiej Brytanii istotny statystycznie trend dotyczył okresu do roku 2020 (brak danych z ostatnich 3 lat).

Analiza zmian średnich dobowych wskaźników depozycji D(a,h)A wśród 5 krajów, dla których możliwe było przeprowadzenie testów statystycznych wskazuje, że dla Niemiec i Słowenii obserwuje się istotne statystycznie trendy malejące, zaś dla Węgier – trend rosnący. W przypadku Polski zauważalna jest nieistotna statystycznie tendencja malejąca, zaś dla Austrii - rosnąca (Rys. 7.4.11).

Wartości średnich dobowych wskaźników depozycji analizowanych WWA na poszczególnych stacjach pozamiejskich tła w Europie przedstawiono na rysunku 7.4.12 (wartości stężeń średnich rocznych uszeregowano malejąco). Przeprowadzone analizy pokazują, że w 2023 roku w Europie roczne wskaźniki depozycji WWA zawierały się odpowiednio w granicach: 0,001-0,188 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ na dzień dla B(a)P, B(a)A, B(k)F i I(1,2,3-cd)P; 0,002-0,188 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ na dzień dla B(b)F; 0,001-0,507 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ na dzień dla B(j)F; 0,001-0,299 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ na dzień oraz 0,000-0,300 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ na dzień dla D(a,h)A.

Zestawienie wyników średnich dobowych wskaźników depozycji WWA na polskich stacjach na tle pozostałych stacji europejskich tła pozamiejskiego w Europie w 2023 roku pokazuje, że w przypadku B(a)P wśród 5 najwyższych wartości znalazły się: 2 stacje z Niemiec (w tym jedna z 3 maksimum europejskim) oraz po jednej stacji z Malty (maksimum europejskie), Polski (Puszcza Borecka jako 2 maksimum) i Łotwy. Pozostałe polskie stacje tła regionalnego w Osieczowie i Zielonce znalazły się obok siebie w strefie wartości średnich, na pozycjach 11 i 12 maksimum licząc od wartości najwyższych (Rys. 7.4.12). Najniższe wskaźniki depozycji wśród 26 analizowanych stacji uzyskano na stacji duńskiej.

W przypadku depozycji B(a)A, wartości średnich dobowych wskaźników na polskich stacjach tła regionalnego wskazują na duże rozpiętości. Najwyższe wartości wskaźnika depozycji wśród 24 analizowanych stacji zanotowano dla stacji maltańskiej, polskiej stacji tła regionalnego w Puszczy Boreckiej (2 maksimum europejskie) oraz na jednej ze stacji niemieckich. Wartość wskaźnika depozycji dla pozostałych stacji tła regionalnego w Zielonce i Osieczowie uplasowała je na pozycjach 8 i 9 maksimum (Rys. 7.4.12). Najniższe wartości średniego dobowego wskaźnika depozycji B(a)A obserwowano na 3 stacjach francuskich.

Spośród analizowanych 17 stacji tła pozamiejskiego, wykonujących oznaczenia depozycji B(b)F w Europie, najwyższy średni dobowy wskaźnik zaobserwowano ponownie na stacji maltańskiej (maksimum europejskie), a następnie na polskiej stacji tła regionalnego w Puszczy Boreckiej oraz na jednej ze stacji francuskich. Wysoką wartość wskaźnika depozycji tego WWA zaobserwowano również na stacji w Osieczowie, jako 4 maksimum europejskie. W przypadku Zielonki wartość wskaźnika B(b)F znalazła się wśród wartości niskich, na pozycji 10 licząc od wartości najwyższych (Rys. 7.4.12). Najniższą wartość wskaźnika depozycji B(b)F uzyskano na stacji austriackiej.

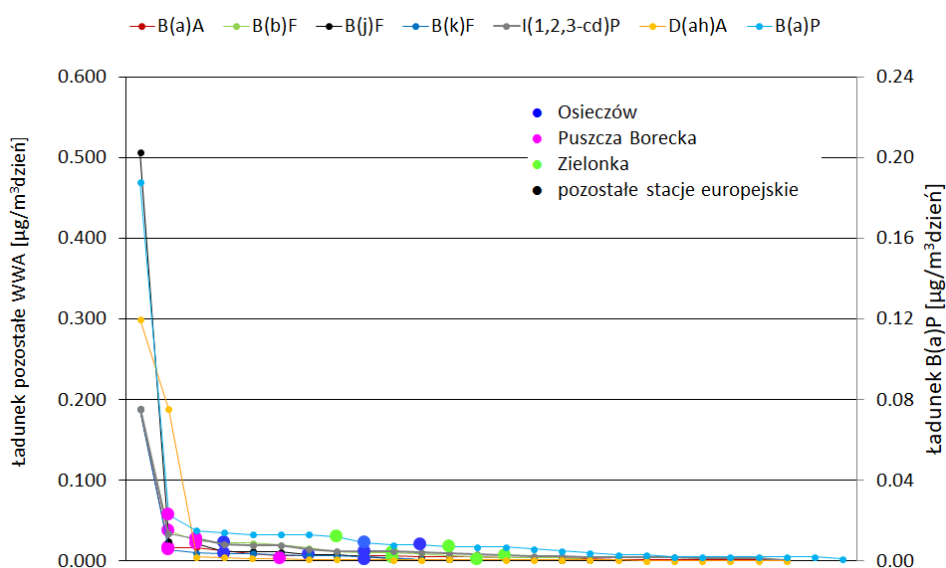
Analizę rozkładu średnich dobowych wskaźników depozycji B(j)F w Europie na obszarach tła pozamiejskiego przeprowadzono dla 16 stacji, z maksimum obserwowanym na stacji maltańskiej oraz jednej z niemieckich (2 maksimum). Uzyskane wartości wskaźników depozycji tego WWA dla polskich stacji tła regionalnego ułożyły je odpowiednio: Puszcza Borecka – jako 3 maksimum w Europie, Osieczów – 7 i Zielonka – 9 (Rys. 7.4.12). Najniższą wartość wskaźnika depozycji B(j)F uzyskano ponownie na 3 stacjach francuskich.

Bardzo podobnie zarysował się rozkład średnich dobowych wskaźników depozycji B(k)F na 17 stacjach europejskich, z maksimum na stacji maltańskiej, następnie polskiej stacji tła regionalnego Puszcza Borecka, jako 2 maksimum i jednej ze stacji francuskich. Wartości wskaźników depozycji dla pozostałych polskich stacji tła regionalnego w Osieczowie

(4 maksimum) i Zielonce (10 maksimum) były dość znacznie od siebie oddalone (Rys. 7.4.12). Najniższą wartość wskaźnika depozycji B(k)F w 2023 roku zanotowano na 2 stacjach francuskich.

Od omawianych powyżej rozkładów wskaźników pomiędzy stacjami nie odbiegał rozkład wskaźników depozycji I(1,2,3-cd)P. Najwyższe wartości wskaźnika depozycji tego WWA obserwowano na stacji na Malcie, następnie na jednej ze stacji niemieckich i polskiej stacji tła regionalnego w Puszczy Boreckiej (3 maksimum). Wartości wskaźnika depozycji uzyskane na pozostałych dwóch polskich stacjach tła regionalnego sklasyfikowały je na poziomie średnim w przypadku Osieczowa (9 maksimum na 24 analizowane stacje) oraz niskim w przypadku Zielonki, jako 14 wartość licząc od najwyższych (Rys. 7.4.12). Najniższy wskaźnik depozycji I(1,2,3-cd)P zanotowano na stacji austriackiej.

Odmienne od omawianych powyżej WWA wyglądał rozkład zmienności średnich dobowych wskaźników depozycji D(a,h)A, gdzie analizie poddano wyniki z 24 stacji pozamiejskich tła w Europie. Najwyższe wartości tego wskaźnika zanotowano na stacji węgierskiej, następnie na maltańskiej i dwóch stacjach niemieckich. Wartości wskaźnika depozycji tego WWA uzyskane na polskich stacjach tła regionalnego znajdowały się dość blisko siebie, odpowiednio: Puszcza Borecka – 6 maksimum, Osieczów – 9 maksimum, zaś Zielonka – na pozycji 13 licząc od najwyższych wartości (Rys. 7.4.12). Najniższe wartości średniego dobowego wskaźnika depozycji D(a,h)A odnotowano na stacji fińskiej.



Rys. 7.4.12. Średni dobowy wskaźnik depozycji wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych na poszczególnych stacjach pozamiejskich tła w Europie w roku 2023 (źródło danych: EAŚ)

8. Podsumowanie

Emisja

Wyniki inwentaryzacji krajowej emisji pierwotnej pyłu zawieszonego PM₁₀ i PM_{2,5} w roku 2023 pokazują wielkości o ok. 10% niższe od wartości szacowanych dla roku poprzedniego (przeliczonych z uwzględnieniem frakcji kondensującej). Dominującym sektorem w emisji pierwotnej pyłu było spalanie paliw, głównie spalanie węgla kamiennego i drewna w gospodarstwach domowych (1.A.4 – Inne sektory wg klasyfikacji NFR). Na kolejnych miejscach – ze znacznie mniejszym udziałem – dla grubszej frakcji znalazły się rolnictwo i procesy przemysłowe, a dla drobniejszej frakcji: transport, procesy przemysłowe oraz przemysł wytwórczy i budownictwo.

Główne źródła prekursorów pyłu zawieszonego są różne dla poszczególnych związków: dla tlenków siarki jest to energetyczne spalanie paliw w źródłach stacjonarnych, dla tlenków azotu - spalanie paliw w sektorach: transport, inne sektory (szczególnie gospodarstwa domowe) i przemysły energetyczne, dla amoniaku – rolnictwo, a dla niemetanowych lotnych związków organicznych najistotniejsze spośród antropogenicznych źródeł, to procesy przemysłowe, w których główną rolę odgrywa stosowanie rozpuszczalników i innych produktów (do emisji krajowej nie wchodzi źródła przyrodnicze) oraz rolnictwo.

Największy udział w emisji metali ciężkich w Polsce mają przemysły energetyczne (Ni, As) oraz procesy przemysłowe (Pb, Cd). W strukturze emisji WWA w Polsce dominują procesy spalania, przy czym główną część tej emisji stanowi emisja z gospodarstw domowych (B(a)P).

Warunki meteorologiczne

W roku 2024 średnie temperatury powietrza w większości rejonów stacji tła regionalnego były najwyższe w analizowanym okresie 2010-2024. Średnia temperatura dla 5 stacji była wyższa od wartości przeciętnej z wielolecia o prawie 2°C i wyższa niż w roku poprzednim o prawie 1°C. Cechą charakterystyczną warunków termicznych obserwowanych na stacjach osłonowych w roku 2024 była wyjątkowo ciepła zima i upalne lato, podobnie jak w roku ubiegłym. W sezonie chłodnym na wyróżnieni zasługuje wyjątkowo ciepły luty, który na wielu stacjach był rekordowo ciepłym w wieloleciu. W sezonie ciepłym, obok upalnego lipca, na szczególną uwagę zasługuje rekordowo ciepły wrzesień.

W 2024 roku sumy wysokości opadów w rejonach stacji tła regionalnego były na przeciętnym poziomie. Najwyższe opady wystąpiły w rejonie stacji Złoty Potok, a najniższe w rejonie stacji Osieczów. Cechą charakterystyczną warunków opadowych w roku 2024 na większości stacji osłonowych był rekordowo bogaty w opady luty.

Analiza trendów wykazała istnienie trendów rosnących temperatury i braku trendów wysokości opadów w rejonach wszystkich stacji tła.

Cechą charakterystyczną cyrkulacji w roku 2024 nad Polskę była ponad przeciętna częstość występowania napływu mas powietrza z kierunków sektora południowego, która odbywała się kosztem napływów z sektora wschodniego w stosunku do częstości przeciętnych z wielolecia 2010-2023.

Pył zawieszony PM10 oraz oznaczane w nim metale ciężkie i WWA

Przebieg dobowych wartości stężenia pyłu zawieszonego PM10 w roku 2024 był typowy. Na wszystkich stacjach zaznaczyły się wyższe stężenia w chłodnej połowie roku. W stosunku do roku poprzedniego wartości średnich rocznych stężeń pyłu zawieszonego PM10 były niższe na stacjach w Osieczowie i Zielonce a wyższe w Puszczy Boreckiej i na stacji monitorującej transgraniczny napływ zanieczyszczeń w Godowie, nieznacznie wzrosła liczba dni z przekroczeniami poziomu dopuszczalnego dla pyłu zawieszonego PM10 (poza Osieczowem). Po raz siódmy na żadnej stacji tła regionalnego, ani na stacji w Godowie nie odnotowano przekroczenia poziomu dopuszczalnego dla średniego rocznego stężenia pyłu zawieszonego PM10 (brak przekroczeń stwierdzono także w latach 2017, 2019, 2020, 2021, 2022 i 2023; we wcześniejszych latach miały one miejsce na stacji w Godowie).

Ocena stężeń średnich rocznych pyłu zawieszonego PM10 na obszarach tła pozamiejskiego w poszczególnych krajach Europy wskazuje, że w 2023 roku średnie roczne stężenie pyłu zawieszonego PM10 w Polsce znajdowało się wśród poziomów powyżej obliczonej średniej dla Europy. Wyższe niż dla Polski wartości uzyskano dla 8 spośród 33 analizowanych krajów. W 2023 roku na stacjach pozamiejskich tła w Europie przekroczenie rocznej wartości dopuszczalnej określonej w celu ochrony zdrowia zanotowano tylko na 5 stacjach - trzech zlokalizowanych w Turcji oraz po jednej w Bośni i Hercegowinie oraz Rumunii. Na 16 stacjach funkcjonujących w 5 krajach w 2023 roku wystąpiło przekroczenie dobowej wartości dopuszczalnej (1 w Bośni i Hercegowinie oraz Rumunii, 3 w Hiszpanii, 4 we Włoszech oraz 7 w Turcji). Przeprowadzona analiza statystyczna trendów stężeń pyłu zawieszonego PM10 w okresie 2010-2023 w poszczególnych krajach Europy wskazuje na zauważalne istotne statystycznie spadki. Taka sytuacja dotyczy 21 spośród 26 krajów, w tym dla Polski.

W latach 2010-2024 na żadnej stacji tłowej w Polsce nie zanotowano przekroczeń wartości normowanych dla metali ciężkich (poziomu dopuszczalnego ustanowionego dla Pb i poziomów docelowych dla As, Cd i Ni). Stężenia średnie roczne wyniosły kilka procent poziomu docelowego/dopuszczalnego z wyjątkiem arsenu w Osieczowie (24% poziomu docelowego) i w Godowie (11% poziomu docelowego) niklu w Godowie (11% poziomu docelowego). W 2024 roku na wszystkich stacjach zaobserwowano spadki stężeń metali ciężkich (odnosząc wartość z roku 2024 do średniej z wielolecia), za wyjątkiem kadmu w Godowie. W stosunku do wartości z roku 2023 stwierdzono dla: niklu w Godowie, arsenu na wszystkich stacjach poza Zielonką (ten sam poziom), kadmu w Puszczy Boreckiej i ołowiu w Godowie.

Analiza stężeń średnich rocznych metali ciężkich oznaczanych w pyłe zawieszonym PM10 w Europie w 2023 roku pokazuje, że na obszarach tła pozamiejskiego stężenia metali ciężkich w Polsce z wyjątkiem Ni, były jednymi z najwyższych w Europie. Analiza trendów stężeń średnich rocznych metali ciężkich w poszczególnych krajach Europy w okresie 2010-2023 pokazuje generalne tendencje spadkowe. Wyjątek stanowią Belgia i Polska w przypadku Ni, Bułgaria i Wielkiej Brytanii w przypadku As i Cd z nieistotnymi statystycznie wzrostami.

Przeprowadzona analiza WWA zawartych w pyłe zawieszonym PM10 pokazuje, że w okresie 2010-2024 średnie roczne stężenia WWA na większości stacji wykazują istotne statystycznie trendy i tendencje spadkowe (poza D(a,h)A w Puszczy Boreckiej). W 2024 roku – podobnie, jak rok wcześniej – tylko w Godowie średnie roczne stężenie benzo(a)pirenu

przekroczyło poziom docelowy. We wcześniejszych latach zdarzało się to również w Osieczowie.

W 2023 roku analiza uśrednionych w poszczególnych krajach europejskich rocznych stężeń WWA oznaczanych w pyłe zawieszonym PM₁₀ na obszarach pozamiejskich tła wskazuje na najwyższe poziomy w Polsce w przypadku wszystkich WWA, z wyjątkiem B(k)F, dla którego wyższe stężenie wystąpiło na Litwie. Analiza zmian stężeń średnich rocznych WWA zawartych w pyłe zawieszonym PM₁₀ w poszczególnych krajach europejskich w okresie 2010-2023 wskazuje na generalne tendencje spadkowe. Wyjątek stanowią Hiszpania, Polska i Wielka Brytania w przypadku B(a)P oraz Hiszpania i Węgry w przypadku D(a,h)A, z nieistotnymi statystycznie tendencjami rosnącymi.

Pył zawieszony PM_{2,5} i oznaczane w nim jony oraz węgiel

W roku 2024 na żadnej stacji tła w Polsce nie zanotowano przekroczenia stężenia średniego rocznego pyłu zawieszonego PM_{2,5} w stosunku do poziomu dopuszczalnego. We wcześniejszych latach notowano przekroczenia wartości normatywnych na stacji w Godowie. Na wszystkich stacjach, poza Godowem i Puszcą Borecką, odnotowano spadki stężenia średniego rocznego pyłu zawieszonego PM_{2,5} w stosunku do poprzedniego roku i na wszystkich spadki w stosunku do wartości średnich z lat 2010-20223. Dla wszystkich stacji stwierdzono istotny statystycznie trend malejący stężenia pyłu zawieszonego PM_{2,5}.

Stężenie średnie roczne pyłu zawieszonego PM_{2,5} na obszarach tła pozamiejskiego w 2023 roku obliczone dla Polski znajdowało się w strefie stężeń nieco powyżej średniej europejskiej. Wyższe wartości uśrednione dla kraju niż w Polsce, uzyskano dla 7 krajów. Przekroczenie rocznego poziomu dopuszczalnego wystąpiło na 7 z 301 analizowanych stacji – 5 tureckich oraz po jednej w Bośni i Hercegowinie oraz we Włoszech. Analiza trendów zmian stężeń średnich rocznych pyłu zawieszonego PM_{2,5} w poszczególnych krajach w okresie 2010-2023 wskazuje na spadki. W przypadku 18 krajów zaobserwowano istotne statystycznie trendy malejące, w tym dla Polski.

Głównym składnikiem kształtującym stężenie pyłu zawieszonego PM_{2,5} na wszystkich stacjach tła w Polsce jest węgiel organiczny. Wśród anionów oznaczanych w pyłe zawieszonym PM_{2,5} na stacjach dominował w 2024 roku jon siarczanowy, a na drugim miejscu był jon azotanowy. Wśród oznaczanych kationów dominował jon amonowy, a najmniej było magnezowego. Zmiany stężeń składników oznaczanych w pyłe zawieszonym PM_{2,5} w roku 2024 w stosunku do 2023 wskazywały na wzrosty dla jonów siarczanowego i potasowego na wszystkich stacjach, jonów azotanowego, amonowego, magnezowego oraz węgla elementarnego na czterech stacjach; dla jonów wapniowego i sodowego odnotowano wzrost na trzech stacjach, a dla chlorków i węgla organicznego na dwóch.

Uzyskane w 2023 roku stężenia średnie roczne w krajach europejskich na obszarach pozamiejskich tła dla jonów oznaczanych w pyłe zawieszonym PM_{2,5} wskazują Polskę, jako kraj z wartościami powyżej średniej obliczonej dla Europy (nie rzadko jednymi z najwyższych) w przypadku SO₄²⁻, NO₃⁻, Ca²⁺, NH₄⁺ oraz OC i EC. Dla pozostałych jonów, stężenie średnie roczne było niższe od średniej europejskiej. Analiza trendów stężeń średnich rocznych składników pyłu zawieszonego PM_{2,5} w okresie 2010-2023 pokazuje, że w przypadku Polski obserwuje się potwierdzone statystycznie trendy malejące, często z najwyższym wskaźnikiem istotności wśród krajów europejskich. W szczególności dotyczy to jonów: SO₄²⁻, NO₃⁻, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ oraz NH₄⁺). Należy podkreślić, że w przypadku Polski tylko dla OC obserwuje się nieistotną statystycznie tendencję rosnącą.

Udział pyłu zawieszonego PM_{2,5} w PM₁₀

W Polsce na stacjach tła regionalnego udział zawartości pyłu zawieszonego PM_{2,5} w PM₁₀ w okresie 2010-2024 był wysoki i w ostatnim roku zawierał się w granicach od 68% w Osieczowie i Zielonce do 71% w Puszczy Boreckiej, a na stacji monitoringu transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń w Godowie wyniósł 73%. W stosunku do początkowych lat pomiarów na wszystkich stacjach udział drobnej frakcji w stężeniu pyłu zawieszonego PM₁₀ z biegiem czasu malał.

Wśród krajów europejskich, największy średni udział pyłu zawieszonego PM_{2,5} w pyłe zawieszonym PM₁₀ obliczony na obszarach pozamiejskich tła w 2023 roku charakteryzował się znacząco zmiennością w granicach 40-100%. W przypadku Polski, średni udział pyłu zawieszonego PM_{2,5} w PM₁₀ wyniósł blisko 75% i był jednym z najwyższych w Europie. Wzrost udziału pyłu zawieszonego PM_{2,5} w PM₁₀ z roku na rok zaobserwowano dla 15 krajów, w tym niewielki dla Polski.

Depozycja

Wskaźniki depozycji arsenu i niklu w roku 2024 w stosunku do średniej z lat 2010-2023 zmalały na jednej ze stacji, na których badana jest depozycja całkowita – Osieczów, a wskaźniki dla kadmu zmalały na wszystkich trzech stacjach – Osieczów, Puszcza Borecka i Zielonka.

Analiza krajowych wartości średnich dobowych wskaźników depozycji metali ciężkich na obszarach tła pozamiejskiego w Europie obliczonych dla 2023 roku wskazuje na zróżnicowane poziomy. Uzyskane wartości wskaźników depozycji dla Polski były wyższe niż obliczona średnia dla Europy w przypadku Ni i As oraz poniżej średniej w przypadku Cd. Zmiany wskaźników depozycji metali ciężkich w krajach europejskich w latach 2010-2023 wskazują na generalne spadki. Wyjątek stanowią Polska (w przypadku Ni) oraz Hiszpania (w przypadku As) z istotnymi statystycznie trendami rosnącymi.

W 2024 roku odnotowano największe wskaźniki depozycji wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych na stacji Puszcza Borecka, mniejsze na stacji Osieczów, a najniższe na stacji Zielonka (poza B(a)P i B(k)F). W okresie 2010-2024 odnotowano tendencję wzrostową wszystkich wskaźników depozycji WWA w Zielonce, a spadkową w Puszczy Boreckiej. W Osieczowie tendencja wzrostowa dotyczyła B(a)A, B(b)F i B(j)F, a malejąca B(a)P, I(1,2,3-cd)P i D(a,h)A. Tylko w przypadku D(a,h)A i B(k)F stwierdzono słaby trend malejący w Puszczy Boreckiej.

Wartości średnich dobowych wskaźników depozycji WWA w 2023 roku obliczone dla krajów europejskich na obszarach tła pozamiejskiego pokazują, że w przypadku Polski z wyjątkiem I(1,2,3-cd)P oraz D(a,h)A, wartości te były powyżej średniej europejskiej. Analiza zmian wartości wskaźników depozycji WWA w okresie 2010-2023 pokazuje bardzo zróżnicowany obraz w Europie. W przypadku depozycji B(a)P oraz B(a)A zaobserwowano negatywne tendencje rosnące tylko w przypadku Węgier. W przypadku Polski można mówić o nieistotnych statystycznie tendencjach malejących. Dla wskaźników depozycji B(b)F, B(j)F i B(k)F oraz I(1,2,3-cd)P i D(a,h)A w przypadku Polski można stwierdzić praktycznie brak jakichkolwiek tendencji (zmiany są bardzo niewielkie, zależnie do danego WWA nieznacznie rosnące lub malejące).

9. Bibliografia

Prace wykonane na zlecenie GIOŚ w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska

1. Skotak K., Degórska A., Prządka Z.: Ocena zanieczyszczenia powietrza na stacjach monitoringu tła regionalnego w Polsce w roku 2023 w zakresie składu pyłu PM₁₀ i PM_{2,5} oraz depozycji metali ciężkich i WWA. Inspekcja Ochrony Środowiska. Warszawa, 2024.
2. Skotak K., Degórska A., Prządka Z.: Ocena zanieczyszczenia powietrza na stacjach monitoringu tła regionalnego w Polsce w roku 2022 w zakresie składu pyłu PM₁₀ i PM_{2,5} oraz depozycji metali ciężkich i WWA. Inspekcja Ochrony Środowiska. Warszawa, 2023.
3. Skotak K., Degórska A., Prządka Z.: Ocena zanieczyszczenia powietrza na stacjach monitoringu tła regionalnego w Polsce w roku 2021 w zakresie składu pyłu PM₁₀ i PM_{2,5} oraz depozycji metali ciężkich i WWA. Inspekcja Ochrony Środowiska. Warszawa, 2022.
4. Skotak K., Degórska A., Prządka Z.: Ocena zanieczyszczenia powietrza na stacjach monitoringu tła regionalnego w Polsce w roku 2020 w zakresie składu pyłu PM₁₀ i PM_{2,5} oraz depozycji metali ciężkich i WWA. Inspekcja Ochrony Środowiska. Warszawa, 2021.
5. Skotak K., Degórska A., Prządka Z.: Ocena zanieczyszczenia powietrza na stacjach monitoringu tła regionalnego w Polsce w roku 2019 w zakresie składu pyłu PM₁₀ i PM_{2,5} oraz depozycji metali ciężkich i WWA. Inspekcja Ochrony Środowiska. Warszawa, 2020.
6. Skotak K., Degórska A., Prządka Z.: Ocena zanieczyszczenia powietrza na stacjach monitoringu tła regionalnego w Polsce w roku 2018 w zakresie składu pyłu PM₁₀ i PM_{2,5} oraz depozycji metali ciężkich i WWA. Inspekcja Ochrony Środowiska. Warszawa, 2019.
7. Skotak K., Degórska A., Prządka Z.: Ocena zanieczyszczenia powietrza na stacjach monitoringu tła regionalnego w Polsce w roku 2017 w zakresie składu pyłu PM₁₀ i PM_{2,5} oraz depozycji metali ciężkich i WWA. Inspekcja Ochrony Środowiska. Warszawa, 2018.
8. Skotak K., Degórska A., Prządka Z.: Ocena zanieczyszczenia powietrza na stacjach monitoringu tła regionalnego w Polsce w roku 2016 w zakresie składu pyłu PM₁₀ i PM_{2,5} oraz depozycji metali ciężkich i WWA. Inspekcja Ochrony Środowiska. Warszawa, 2017.
9. Skotak K., Degórska A., Prządka Z.: Ocena zanieczyszczenia powietrza na stacjach monitoringu tła regionalnego w Polsce w roku 2015 w zakresie składu pyłu PM₁₀ i PM_{2,5} oraz depozycji metali ciężkich i WWA. Inspekcja Ochrony Środowiska. Warszawa, 2016.
10. Skotak K., Degórska A., Prządka Z.: Ocena zanieczyszczenia powietrza na stacjach monitoringu tła regionalnego w Polsce w roku 2014 w zakresie składu pyłu PM₁₀ i PM_{2,5} oraz depozycji metali ciężkich i WWA. Inspekcja Ochrony Środowiska. Warszawa, 2015.
11. Skotak K., Degórska A., Prządka Z.: Ocena zanieczyszczenia powietrza na stacjach monitoringu tła regionalnego w Polsce w roku 2013 w zakresie składu pyłu PM₁₀ i PM_{2,5} oraz depozycji metali ciężkich i WWA. Inspekcja Ochrony Środowiska. Warszawa, 2014.
12. Skotak K., Degórska A., Prządka Z., Śnieżek T.: Ocena zanieczyszczenia powietrza na stacjach monitoringu tła regionalnego w Polsce w roku 2012 w zakresie składu pyłu PM₁₀ i PM_{2,5} oraz depozycji metali ciężkich i WWA. Inspekcja Ochrony Środowiska. Warszawa, 2013.
13. Degórska A., Prządka Z., Skotak K., Śnieżek T.: Ocena zanieczyszczenia powietrza metalami ciężkimi i WWA oraz ocena składu pyłu PM_{2,5} na stacjach tła regionalnego w Polsce w latach 2010-2011. Inspekcja Ochrony Środowiska. Warszawa, 2012.
14. Degórska A., Skotak K., Syrzycki M., Bogucka M.: Monitoring tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce dla potrzeb EMEP, GAW/WMO i Komisji Europejskiej. Raport syntetyczny 2023. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Warszawa, 2024.

15. Bogucka M., Degórska A., Prządka Z., Skotak K.: Monitoring tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce dla potrzeb EMEP, GAW/WMO i Komisji Europejskiej. Raport syntetyczny 2022. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Warszawa, 2023.
16. Degórska A., Skotak K., Syrzycki M., Bogucka M.: Monitoring tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce dla potrzeb EMEP, GAW/WMO i Komisji Europejskiej. Raport syntetyczny 2021. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Warszawa, 2022.
17. Bogucka M., Degórska A., Prządka Z., Skotak K.: Monitoring tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce dla potrzeb EMEP, GAW/WMO i Komisji Europejskiej. Raport syntetyczny 2020. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Warszawa, 2021.
18. Degórska A., Prządka Z., Skotak K., Bogucka M.: Monitoring tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce dla potrzeb EMEP, GAW/WMO i Komisji Europejskiej. Raport syntetyczny 2019. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Warszawa, 2020
19. Bogucka M., Degórska A., Prządka Z., Skotak K.: Monitoring tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce dla potrzeb EMEP, GAW/WMO i Komisji Europejskiej. Raport syntetyczny 2018. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Warszawa, 2019
20. Degórska A., Prządka Z., Skotak K., Bogucka M.: Monitoring tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce dla potrzeb EMEP, GAW/WMO i Komisji Europejskiej. Raport syntetyczny 2017. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Warszawa, 2018
21. Bogucka M., Degórska A., Prządka Z., Skotak K.: Monitoring tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce dla potrzeb EMEP, GAW/WMO i Komisji Europejskiej. Raport syntetyczny 2016. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Warszawa, 2017
22. Degórska A., Prządka Z., Skotak K., Bogucka M.: Monitoring tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce dla potrzeb EMEP, GAW/WMO i Komisji Europejskiej. Raport syntetyczny 2015. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Warszawa, 2016
23. Bogucka M., Degórska A., Prządka Z., Skotak K.: Monitoring tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce dla potrzeb EMEP, GAW/WMO i Komisji Europejskiej. Raport syntetyczny 2014. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Warszawa, 2015
24. Degórska A., Prządka Z., Skotak K., Bogucka M.: Monitoring tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce dla potrzeb EMEP, GAW/WMO i Komisji Europejskiej. Raport syntetyczny 2013. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Warszawa, 2014.
25. Bogucka M., Degórska A., Prządka Z., Skotak K., Śnieżek T.: Monitoring tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce dla potrzeb EMEP, GAW/WMO i Komisji Europejskiej. Raport syntetyczny 2012. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Warszawa, 2013.
26. Śnieżek T., Degórska A., Prządka Z., Skotak K., Bogucka M.: Monitoring tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce dla potrzeb EMEP, GAW/WMO i Komisji Europejskiej. Raport syntetyczny 2011. Inspekcja Ochrony Środowiska, 2012.

Publikacje dostępne na stronach www

27. Krajowy bilans emisji SO₂, NO_x, CO, NH₃, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO za lata 1990-2023. Raport syntetyczny. Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE) Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy; Warszawa, 2025.
28. Ochrona środowiska 2024. Informacje i opracowania statystyczne. GUS 2024.

Przepisy prawne i wytyczne

29. 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.

30. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 roku w sprawie jakości powietrza i czystsze powietrze dla Europy (Dz. Urz. UE L 152 z 11.06.2008, str. 1 oraz Dz. Urz. UE L 226 z 29.08.2015, str. 4).
31. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2004/107/WE z dnia 15 grudnia 2004 r. w sprawie arsenu, kadmu, niklu, rtęci i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w otaczającym powietrzu (Dz. Urz. UE L 23 z 26.01.2005, str. 3, Dz. Urz. UE L 87 z 31.03.2009, str. 109 oraz Dz. Urz. UE L 226 z 29.08.2015, str. 4).
32. 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)
33. Program Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 2021-2025. Główny Inspektor Ochrony Środowiska, 2020, Warszawa.
34. Program Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 2016-2020. Główny Inspektor Ochrony Środowiska, 2015, Warszawa.
35. Program Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 2013-2015. Główny Inspektor Ochrony Środowiska, 2012, Warszawa.
36. Program Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 2010-2012. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, 2009. Warszawa.
37. Wykonawczy program Państwowego Monitoringu Środowiska na rok 2024. Monitoring jakości powietrza. GIOŚ, 2023
38. Wykonawczy program Państwowego Monitoringu Środowiska na rok 2023. Monitoring jakości powietrza. GIOŚ, 2022
39. Wykonawczy program Państwowego Monitoringu Środowiska na rok 2022. Monitoring jakości powietrza. GIOŚ, 2021
40. Wykonawczy program Państwowego Monitoringu Środowiska na rok 2021. Monitoring jakości powietrza. GIOŚ, 2020
41. Wykonawczy program Państwowego Monitoringu Środowiska na rok 2020. Monitoring jakości powietrza. GIOŚ, 2020
42. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. z 2021, poz. 845)
43. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. z 2012, poz. 2031)
44. Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 11 grudnia 2020 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz.U. z 2024 r. poz. 870)
45. 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)
46. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8 czerwca 2018 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz. U. z 2018, poz. 1119)
47. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 września 2012 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz. U. z 2012, poz. 1032)
48. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. - Prawo ochrony środowiska (Dz.U. z 2024 poz. 54)

Bazy danych

49. Bank danych pomiarowych GIOŚ.
50. Dane publiczne IMGW-PIB.

- 51. AirBase - The European air quality database.
- 52. Air Quality e-Reporting (AQ e-Reporting).
- 53. CAMS <https://atmosphere.copernicus.eu/>

Publikacje metodyczne

- 54. Gibbons R.D, Coleman D.E. 2001. "Statistical Methods for Detection and Quantification of Environmental Contamination"
- 55. Gilbert R.O. 1987 "Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring"