



Główny Inspektorat Ochrony Środowiska

**MONITORING TŁA ZANIECZYSZCZENIA ATMOSFERY
W POLSCE DLA POTRZEB EMEP, GAW/WMO
I KOMISJI EUROPEJSKIEJ
RAPORT SYNTETYCZNY ZA 2024 ROK**



Praca wykonana na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (umowa nr GIOŚ.ZP.444.2023.DMŚ.NFOŚiGW z dnia 22.12.2023 r. oraz aneks nr 1 z dnia 17.10.2024 i aneks nr 2 z dnia 21.10.2025), finansowana ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

Warszawa, październik 2025 r.

Opracowano w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowym Instytucie Badawczym przez Magdalenę Bogucką

przy udziale zespołu w składzie:

Julita Biszczuk-Jakubowska

Beata Danowska

Mikołaj Kowal

Katarzyna Lewandowska

Hanna Mazur

Bartłomiej Wilman

Kamil Wawryniuk

na podstawie raportów rocznych IMGW-PIB, IOŚ-PIB i IGiPZ PAN za 2024 rok,
wykonanych przez następujących autorów:

Magdalena Bogucka

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej
– Państwowy Instytut Badawczy

Anna Degórska
Krzysztof Skotak
Zdzisław Prządka
Marcin Syrzycki

Instytut Ochrony Środowiska –
Państwowy Instytut Badawczy

Małgorzata Kijowska-Strugała
Witold Bochenek

Instytut Geografii i Przestrzennego
Zagospodarowania Polskiej Akademii
Nauk

Przy cytowaniu danych należy podawać źródło danych:

Państwowy Monitoring Środowiska, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska

Spis treści

1. Wstęp.....	5
2. Stacje monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce	5
3. Program pomiarowy	8
4. Warunki meteorologiczne w 2024 roku na tle wielolecia	15
5. Zanieczyszczenie powietrza w 2024 roku na tle wielolecia	21
5.1. Odniesienie wyników do poziomów dopuszczalnych i docelowych	21
5.2. Podstawowe zanieczyszczenia powietrza	25
5.3. Dwutlenek węgla	34
5.4. Rtęć gazowa.....	35
5.5. Pył zawieszony.....	37
5.5.1. Stężenie pyłu.....	37
5.5.2. Metale ciężkie w pyłe PM10	39
5.5.3. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w pyłe PM10.....	43
5.5.4. Składniki w pyłe PM2,5	45
6. Zanieczyszczenie opadów atmosferycznych w 2024 roku na tle wielolecia	47
6.1. Odczyn wody opadowej.....	47
6.2. Główne jony w wodzie opadowej.....	53
6.3. Metale ciężkie w opadzie	65
6.4. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w opadzie	72
7. Depozycja zanieczyszczeń do podłoża w 2024 roku na tle wielolecia	75
8. Sytuacja Polski na tle Europy	84
8.1. Zanieczyszczenie powietrza	84
8.2. Zanieczyszczenie opadów.....	92
9. Podsumowanie.....	98
Spis rysunków	103
Spis tabel.....	106

1. Wstęp

Program monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce jest realizowany celem wypełnienia jednego ze zobowiązań Polski, wynikających z „Konwencji w sprawie transgranicznego zanieczyszczania powietrza na dalekie odległości” oraz Protokołu do tej Konwencji w sprawie finansowania EMEP (Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long Range Transmission of Air Pollutants in Europe, roboczo - European Monitoring and Evaluation Programme). Uzyskiwane w ramach programu dane o zanieczyszczeniu atmosfery są przekazywane do międzynarodowych baz danych i zasilają programy GAW/WMO (Global Atmosphere Watch/World Meteorological Organization) i HELCOM Komisji Helsińskiej oraz wykorzystywane są do wspomagania oceny jakości powietrza w ramach działań prowadzonych przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska (GIOŚ) oraz na potrzeby Komisji Europejskiej.

Wyniki badań mają służyć do oceny działań podejmowanych w Europie oraz w Polsce na rzecz ochrony środowiska i zdrowia ludzkiego przed zakwaszającymi, utleniającymi i toksycznymi zanieczyszczeniami powietrza.

Niniejszy raport przygotowano w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowym Instytucie Badawczym (IMGW-PIB) na podstawie raportów rocznych IMGW-PIB [Bogucka, 2025], Instytutu Ochrony Środowiska – Państwowego Instytutu Badawczego (IOŚ-PIB) [Degórska i in., 2025] oraz Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN (IGiPZ PAN) [Kijowska-Strugała, Bochenek, 2025], wykonanych na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska zgodnie z umowami finansowanymi ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW).

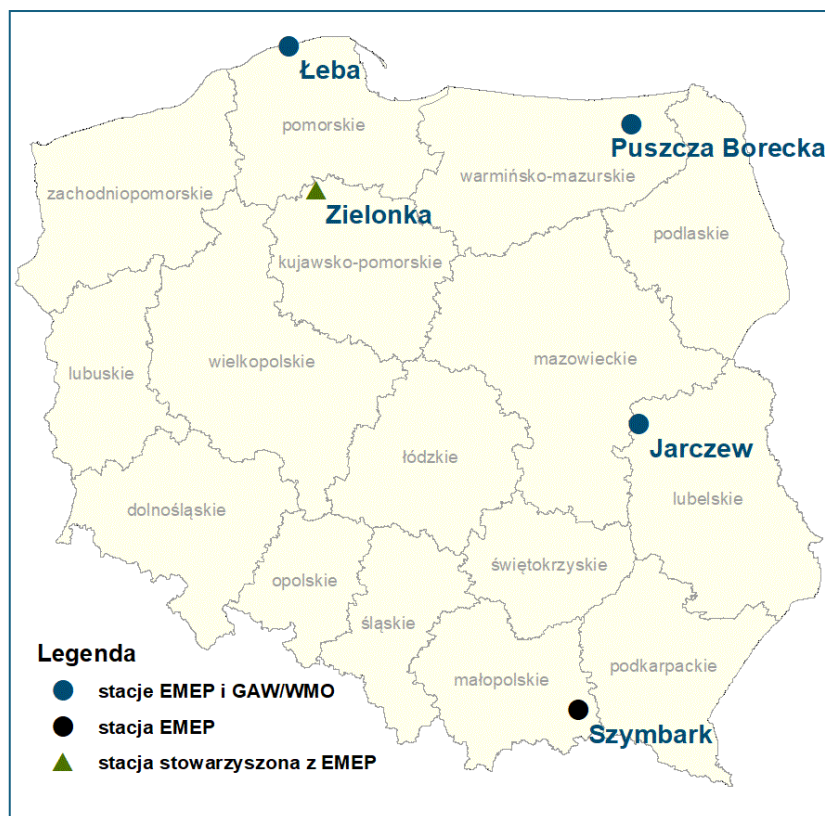
Niniejszy raport obejmuje wyniki pomiarów zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w 2024 roku na tle danych wieloletnich od 1994 roku (lub krótszego okresu, w zależności od długości serii pomiarowej). Omówiono również sytuację Polski na tle Europy.

W opracowaniu wykorzystano wyniki badań prowadzonych w Polsce na stacjach sieci pomiarowych EMEP i GAW/WMO w ramach monitoringu działającego na potrzeby tej sieci oraz na potrzeby Komisji Europejskiej, oraz stowarzyszonej z EMEP stacji Zielonka.

2. Stacje monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce

Sieć monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w 2024 roku obejmowała trzy stacje regionalne działające zarówno w ramach EMEP jak i GAW/WMO: Jarczew i Łebę, gdzie pomiary prowadzi IMGW-PIB oraz Puszcę Borecką (z posterunkiem pomiarowym zlokalizowanym w Diablej Górze), należącą do IOŚ-PIB, a także realizującą zadania monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery wyłącznie w ramach EMEP stację w Szymbarku, należącą do IGiPZ PAN.

Rozmieszczenie stacji monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce zaprezentowano na załączonej mapie (rysunek 1), zaś podstawowe informacje o stacjach zamieszczono w tabeli 1.



Rysunek 1. Lokalizacja stacji monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w 2024 roku

Jako pierwsza do sieci włączona została w 1978 roku, obsługiwana przez IMGW-PIB, ale nie działająca już stacja w Suwałkach (zlikwidowana w 1994 roku), a następnie sukcesywnie kolejne stacje: od 1985 roku Jarczew, od 1992 roku Śnieżka, która zaprzestała pomiarów na rzecz programów EMEP i GAW/WMO z końcem 2023 roku, od 1992 roku Puszcza Borecka oraz od 1993 roku Łeba. W roku 2015 dołączyła do nich - jako stowarzyszona z EMEP - stacja tła regionalnego Zielonka, gdzie pomiary w okresie objętym analizami prowadzone były przez Centralne Laboratorium Badawcze GIOŚ - Oddział w Bydgoszczy. W 2024 roku do sieci EMEP włączona została stacja w Szymbarku, stanowiąca, podobnie jak Puszcza Borecka, jedną z 12 stacji bazowych Zintegrowanego Monitoringu Środowiska przyrodniczego (ZMŚP) w Polsce, funkcjonującą w ZMŚP pod nazwą Beskid Niski.

Tabela 1. Stacje monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce

Stacja	φ	λ	Wysokość n.p.m. [m]	Położenie stacji	Instytucja prowadząca pomiar	Początek realizacji programu BAPMON/GAW	Początek realizacji programu EMEP	Kod stacji opadowej GAW/WMO	Indeks WDCGG	Symbol EMEP
Jarczew	51°48'51,87" N	21°58'20,71" E	180	region środkowowschodni; nizinny, rolniczy	IMGW-PIB	01.01.1984	01.10.1985	PL4500101Q08	JCZ651N00	PL02
Śnieżka*	50°44'11,07" N	15°44'23,70" E	1603	region południowo- zachodni; wysokogórski (park narodowy)	IMGW-PIB	01.01.1981	01.01.1991	PL5000101Q08	SNZ650N00	PL03
Łeba	54°45'14,02" N	17°32'03,35" E	2	region nadmorski (park narodowy)	IMGW-PIB	01.01.1993	01.01.1993	PL4000101Q08	LEB654N00	PL04
Puszcza Borecka	54°07'29,52"N	22°02'17,08"E	153	region północno- wschodni; pojezierze	IOŚ-PIB	01.01.1993	01.07.1992	PL5500101Q08	DIG654N00	PL05
Szymbark	49°38'01,4"N	21°07'00,6"E	327	region południowo- wschodni; gór- niskich i pogórzy; rolniczy	IGiPZ PAN	-	01.01.2024	-	-	PL16
Zielonka**	53°39'00,00"N	17°55'59,90"E	121	region północny; pojezierze; leśny	CLB Oddział Bydgoszcz	-	01.01.2015*	-	-	PL09

* pomiary tła zanieczyszczenia atmosfery na stacji na Śnieżce zostały zakończone 31 grudnia 2023 roku

** stacja stowarzyszona z EMEP; pierwsza seria danych przekazanych do bazy danych EMEP pochodzi z roku 2015

Oznaczenia symboli:

BAPMON/GAW – Background Air Pollution Monitoring Network/Global Atmosphere Watch

EMEP – Co-Operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long Range Transmission of Air Pollutants in Europe

GAW/WMO - Global Atmosphere Watch/World Meteorological Organization

WDCGG - World Data Centre for Greenhouse Gases

3. Program pomiarowy

Stacje monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w Łebie, w Jarczewie i stacja Puszcza Borecka wykonywały w 2024 roku program stacji regionalnych GAW/WMO oraz przeważającą część programu poziomu 1 EMEP. Stacja Puszcza Borecka realizowała dodatkowo pewne elementy programu poziomu 2 EMEP. Stowarzyszona z EMEP stacja Zielonka również realizowała elementy poziomu 2. Stacja w Szymbarku realizowała pewne elementy poziomu 1 EMEP. Zbierane w ramach tego programu wyniki badań zanieczyszczenia atmosfery są przekazywane i zasilają programy GAW/WMO (Global Atmosphere Watch/World Meteorological Organization) i HELCOM Komisji Helsińskiej oraz wykorzystywane są przez Regionalne Wydziały Monitoringu Środowiska do wspomagania oceny jakości powietrza w kraju oraz na potrzeby Komisji Europejskiej.

W 2024 roku program badań na stacjach w Łebie, Jarczewie i w Puszczy Boreckiej obejmował pomiary gazowych zanieczyszczeń powietrza, aerozoli oraz sum związków gazowych i aerozoli, jak również pomiar składu chemicznego opadów atmosferycznych. Program pomiarowy na stacji Puszcza Borecka obejmował dodatkowo pył zawieszony PM₁₀ oraz zawarte w nim metale ciężkie i wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne jak również pył zawieszony PM_{2,5} oraz zawarte w nim wybrane jony, węgiel elementarny i węgiel organiczny, a także pomiary rtęci w powietrzu za pomocą automatycznego analizatora. Na stacji Puszcza Borecka badano również zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w opadzie całkowitym. W Łebie i Puszczy Boreckiej mierzono zawartość metali ciężkich w opadach atmosferycznych. Zakres programu pomiarowego stacji Zielonka, który realizowano na potrzeby EMEP, obejmował badania pyłu zawieszonego PM₁₀ i zawartych w nim metali ciężkich i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych oraz pyłu zawieszonego PM_{2,5} i zawartych w nim jonów i węgla. Zakres programu pomiarowego, działającej w ramach EMEP od 2024 roku stacji w Szymbarku obejmował pomiar gazowych zanieczyszczeń powietrza, stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀, oraz pomiar składu chemicznego opadów atmosferycznych i zawartości metali ciężkich w opadzie. W Szymbarku i w Łebie mierzono dodatkowo zawartość fosforu całkowitego i azotu całkowitego w opadzie.

Tabela 2 zawiera szczegółowe informacje o programie pomiarowym realizowanym na stacjach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce, oraz o sposobie poboru i metodach oznaczania substancji na stacjach uczestniczących w pomiarach.

Próbki zanieczyszczeń powietrza na oznaczanie gazów, aerozoli oraz gazów i aerozoli, a także próbki opadów atmosferycznych na oznaczanie makroskładników pobierane były w cyklu doby opadowej. Doba opadowa trwa od godziny 6:00 UTC danego dnia do godziny 6:00 UTC dnia następnego, czyli godziny 8:00 w okresie obowiązywania urzędowego czasu letniego i godziny 7:00 czasu zimowego. Próbki pobierano codziennie, również w dni ustawowo wolne od pracy. W trybie ciągłym za pomocą automatycznych analizatorów rejestrowano jedynie ozon w przyziemnej warstwie atmosfery, a na stacji Puszcza Borecka dwutlenek węgla, a także od 2016 roku dwutlenek siarki i tlenki azotu. Na stacji w Szymbarku pobór automatyczny, poza ozonem w przyziemnej warstwie atmosfery, obejmował również dwutlenek siarki i tlenki azotu, a także pył PM₁₀, którego stężenie od 2020 roku mierzono w trybie

automatycznym, a wcześniej w latach 2018-2019 pobór odbywał się w trybie manualnym. Na stacji Puszcza Borecka zawartość rtęci gazowej w powietrzu do 2020 roku oznaczano manualnie w próbach pobieranych w losowo wybranym dniu raz w tygodniu, a od 2021 roku pomiar odbywa się w trybie automatycznym. W przypadku pyłu (Puszcza Borecka, Zielonka) doba ekspozycji filtrów obejmowała okres od godziny 00:00 do 00:00 CET. Metale ciężkie i WWA w pyłe PM10 oznaczano w próbkach tygodniowych łączonych z dobowych.

Zawartość rtęci w opadach na stacji Puszcza Borecka oznaczano w miesięcznych próbkach opadów zbieranych do osobnego kolektora. Próbki opadów całkowitych, do oznaczania pozostałych metali ciężkich i WWA, zbierano w cyklach tygodniowych i zlewano do próbek miesięcznych. Metale ciężkie w opadach oraz zawartość azotu całkowitego i fosforu całkowitego w wodzie opadowej na stacji w Łebie i w Szymbarku oznaczano w próbkach miesięcznych, zlewanych z tygodniowych.

Zgodnie z przyjętą metodyką niektóre wskaźniki oznaczano bezpośrednio na stacjach.

Analizy chemiczne wykonywane były przez następujące laboratoria chemiczne:

- laboratorium Wydziału Monitorowania Jakości Powietrza IMGW-PIB w Warszawie,
- stacje w Łebie i w Jarczewie (pomiar pH),
- laboratorium Zakładu Oceanografii i Monitoringu Bałtyku IMGW-PIB w Gdyni,
- laboratorium Stacji Kompleksowego Monitoringu Środowiska Puszcza Borecka IOŚ-PIB w Diablej Górze,
- Centralne Laboratorium Analiz Środowiskowych CentLab IOŚ-PIB w Warszawie,
- laboratorium Instytutu Podstaw Inżynierii Środowiska PAN w Zabrze,
- laboratorium Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie,
- laboratorium Stacji Naukowej IGI PAN w Szymbarku,
- Centralne Laboratorium Badawcze GIOŚ, Oddział w Lublinie.

Analizę prób z Zielonki wykonywało Centralne Laboratorium Badawcze (CLB) GIOŚ Oddział w Bydgoszczy.

Jakość pracy laboratoriów podlega stałej kontroli ze strony programów międzynarodowych. Laboratoria IMGW-PIB w Warszawie i w Gdyni oraz laboratoria IOŚ-PIB biorą udział w międzylaboratoryjnych badaniach porównawczych oznaczania zanieczyszczeń w powietrzu i w opadach atmosferycznych. Takie porównania są organizowane raz do roku przez Chemiczne Centrum Koordynacyjne EMEP (EMEP/CCC/NILU). Ponadto dwukrotnie w ciągu roku laboratoria IMGW-PIB w Warszawie, Łebie i Jarczewie oraz laboratoria IOŚ-PIB uczestniczyły w międzylaboratoryjnych badaniach porównawczych oznaczania składników opadu atmosferycznego. Organizuje je Amerykańskie Centrum ds. Zapewnienia Jakości (WMO/QA/SAC). Oprócz tego raz w roku kalibrator ozonu IMGW-PIB i kalibrator ozonu IOŚ-PIB są kalibrowane w Czeskim Instytucie Hydrologiczno-Meteorologicznym w Pradze, zgodnie ze standardem atestowanym przez National Bureau of Standards (USA).

Należy podkreślić, że zarówno Stacja Kompleksowego Monitoringu Środowiska Puszcza Borecka, jak i Centralne Laboratorium Analiz Środowiskowych CentLab IOŚ-PIB wykonały w 2024 roku większość badań dla potrzeb EMEP, GAW/WMO i Komisji Europejskiej metodami akredytowanymi przez Polskie Centrum Akredytacji.

Od 2001 roku Stacja Kompleksowego Monitoringu Środowiska Puszcza Borecka posiada na pobór próbek zanieczyszczeń powietrza (SO_4 , HNO_3+NO_3 , $\text{NH}_3+\text{NH}_4^+$) (procedura BN-PB-03) i pobór próbek opadów atmosferycznych (norma PN-ISO-5667-8:2003) oraz pomiary stężenia ozonu (norma PN-EN 14625:2013) i oznaczenia pH (norma PN-EN ISO 10523:2012) i przewodności (norma PN-EN 27888:1999) wód, akredytację Polskiego Centrum Akredytacji PCA (Certyfikat AB 337). Podobnie jest w przypadku Centralnego Laboratorium Analiz Środowiskowych CentLab Instytutu Ochrony Środowiska – Państwowego Instytutu Badawczego w Warszawie, posiadającego akredytację PCA m. in. na wykonywanie oznaczeń SO_4 , HNO_3+NO_3 , $\text{NH}_3+\text{NH}_4^+$ na filtrach (BL-PB-05 i BL-PB-21), SO_4 , NO_3 , Cl (norma PN-EN ISO 10304-1:2009), NH_4 (procedura BL-PB-21), Na, K, Mg, Ca, Fe, Al., Mn, P (procedura BL-PB-10) w próbkach opadów atmosferycznych, oznaczanie WWA w próbkach pyłu (norma PN-EN 15549:2011, a dla benzo(j)fluorantenu procedura BL-PB-25) (Certyfikat AB336). Szczegóły można odnaleźć w raporcie IOŚ-PIB za 2024 rok [Degórska i in. 2025].

Laboratorium CLB w Bydgoszczy posiada akredytację Polskiego Centrum Akredytacji (nr certyfikatu AB 201) na oznaczanie WWA w pyłe PM₁₀. Laboratorium CLB w Lublinie posiada akredytację Polskiego Centrum Akredytacji (nr certyfikatu AB 118) m.in. na oznaczanie w wodzie pH, anionów, azotu amonowego i metali.

Tabela 2. Metody pomiarowe stosowane na stacjach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w 2024 roku

a) powietrze

Składnik/wskaźnik	Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - PIB		Instytut Ochrony Środowiska - PIB		Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN	
	Pobór próbek	Metoda analityczna	Pobór próbek	Metoda analityczna	Pobór próbek	Metoda analityczna
POWIETRZE						
O ₃	analizator Thermo Scientific 49i	UV fotometria	analizator Thermo Scientific 49i	UV fotometria	pobór automatyczny, analizator GIOŚ - Teledyne API T400	UV fotometria
CO ₂			analizator Thermo Scientific 410i	absorpcja promieniowania podczerwonego		
Hg			analizator Lumex RA-915AM	Zeeman AAS		
SO ₂	filtr Whatman–40 impregnowany KOH	thorinowa	analizator Thermo Scientific 43i	fluorescencja UV	pobór automatyczny, analizator GIOŚ - Teledyne API T100	fluorescencja UV
NO ₂ /NO _x	płyn pochłaniający TGS: trójetanoloamina + gwajakol + Na ₂ S ₂ O ₅	NEDA Griess-Ilosway	analizator Thermo Scientific 42i	chemiluminescencja	pobór automatyczny, analizator GIOŚ - Teledyne API 200E	chemiluminescencja
SO ₄ ²⁻	filtr Whatman–40	thorinowa	filtr teflonowy	elektroforeza kapilarna		
NO ₃ ⁻	filtr Whatman–40	redukcja hydrazyną				
NH ₄ ⁺		gwajakol - chloramina T				
Cl ⁻		rodanek rtęci - żelazo				
(HNO ₃ + NO ₃ ⁻)	filtr Whatman–40 impregnowany NaF	redukcja hydrazyną	HNO ₃ – filtr Whatman-40 impregnowany KOH, NO ₃ – filtr teflonowy	elektroforeza kapilarna		
(NH ₃ + NH ₄ ⁺)	filtr Whatman–40 impregnowany H ₂ C ₂ O ₄	gwajakol - chloramina T	NH ₃ – filtr Whatman–40 impregnowany (HCOOH) ₂ ; NH ₄ ⁺ – filtr teflonowy	spektrofotometria		

b) pył zawieszony

Składnik/wskaźnik	Instytut Ochrony Środowiska - PIB		CLB w Bydgoszczy		Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN	
	Pobór próbek	Metoda analityczna	Pobór próbek	Metoda analityczna	Pobór próbek	Metoda analityczna
PYŁ ZAWIESZONY						
Pył zawieszony PM10	pobornik wysokoobjętościowy HVS; filtr kwarcowy	wagowa	pobornik wysokoobjętościowy HVS, filtr kwarcowy	wagowa	pobór automatyczny, miernik GIOŚ - MetOne BAM-1020	tłumienie promieniowania beta
As w PM10		ICP-MS		ICP-MS		
Cd w PM10		ICP-MS		ICP-MS		
Ni w PM10		ICP-MS		ICP-MS		
Pb w PM10		ICP-MS		ICP-MS		
benzo(a)piren w PM10	pobornik wysokoobjętościowy HVS; filtr kwarcowy	HPLC	pobornik wysokoobjętościowy HVS, filtr kwarcowy	HPLC		
benzo(a)antracen w PM10		HPLC		HPLC		
benzo(b)fluoranten w PM10		HPLC		HPLC		
benzo(j)fluoranten w PM10		HPLC		HPLC		
benzo(k)fluoranten w PM10		HPLC		HPLC		
dibenzo(a,h)antracen	pobornik wysokoobjętościowy HVS; filtr kwarcowy	HPLC	pobornik wysokoobjętościowy HVS, filtr kwarcowy	HPLC		
indeno(1,2,3-cd)piren w PM10		HPLC		HPLC		
Pył zawieszony PM2,5		wagowa		wagowa		
SO₄²⁻ w PM2,5		chromatografia jonowa		chromatografia jonowa		
NO₃⁻ w PM2,5		chromatografia jonowa		chromatografia jonowa		
Cl⁻ w PM2,5	pobornik wysokoobjętościowy HVS; filtr kwarcowy	chromatografia jonowa	pobornik wysokoobjętościowy HVS, filtr kwarcowy	chromatografia jonowa		
NH₄⁺ w PM2,5		chromatografia jonowa		chromatografia jonowa		
Na⁺ w PM2,5		ICP-AES		FAAS		
K⁺ w PM2,5		ICP-AES		FAAS		
Mg²⁺ w PM2,5		ICP-AES		FAAS		
Ca²⁺ w PM2,5		ICP-AES		FAAS		
węgiel elementarny EC w PM2,5		termooptyczna		termooptyczna		
węgiel organiczny OC w PM2,5		termooptyczna		termooptyczna		

ICP-MS - spektrometria masowa z plazmą wzbudzaną indukcyjnie

HPLC - wysokosprawna chromatografia cieczowa

ICP-AES – plazmowa spektrometria atomowa emisyjna

FAAS - płomieniowa spektrometria atomowa absorpcyjna

c) opady

Składnik/wskaźnik	Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - PIB		Instytut Ochrony Środowiska - PIB		Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN** / CLB w Lublinie		
	Pobór próbek	Metoda analityczna	Pobór próbek	Metoda analityczna	Pobór próbek	Metoda analityczna	
OPADY							
suma opadu	deszczomierz Hellmana*	objętościowa	deszczomierz Hellmana	objętościowa	deszczomierz Hellmana	objętościowa	
pH	kolektor opadu mokrego, próba dobową	elektroda szklana	kolektor opadu mokrego (wet-only), próba dobową	elektrometria	kolektor opadu mokrego, próba dobową	potencjometryczna**	
przew. elektr.		konduktometr		elektrometria		konduktometryczna	
SO ₄ ²⁻		chromatografia jonowa		chromatografia jonowa		chromatografia jonowa	
NO ₃ ⁻		chromatografia jonowa		chromatografia jonowa		chromatografia jonowa	
NH ₄ ⁺		gwajakol - chloramina T		spektrofotometria		przepływowa	
Cl ⁻		chromatografia jonowa		chromatografia jonowa		chromatografia jonowa	
Na ⁺		FAAS		ICP-AES		ICP-OES	
Mg ²⁺		FAAS		ICP-AES		ICP-OES	
Ca ²⁺		FAAS		ICP-AES		ICP-OES	
K ⁺		FAAS		ICP-AES		ICP-OES	
Pb	kolektor opadu mokrego, próby tygodniowe zlewane do miesięcznych (Łeba)	GF-AAS	kolektor opadu całkowitego, próbka miesięczna zlewana z tygodniowych	ICP-MS	kolektor opadu mokrego, próby tygodniowe zlewane do miesięcznych	ICP-MS	
Cd		GF-AAS		ICP-MS		ICP-MS	
Cu		GF-AAS		ICP-MS		ICP-MS	
Zn		FAAS		ICP-MS		ICP-MS	
Cr		GF-AAS		ICP-MS		ICP-MS	
Ni		GF-AAS		ICP-MS		ICP-MS	
As			kolektor opadu całkowitego, próbka tygodniowa	ICP-MS		ICP-MS	
Hg				CV-AFS		AFS	
azot całkowity	kolektor opadu mokrego, próby tygodniowe zlewane do miesięcznych (Łeba)	FIA – z trawieniem próbki/metoda obliczeniowa					obliczeniowa
fosfor całkowity		spektrofotometria					przepływowa
benzo(a)piren			kolektor opadu całkowitego, próbka miesięczna zlewana z tygodniowych	HPLC			
benzo(a)antracen				HPLC			
benzo(b)fluoranten				HPLC			
benzo(j)fluoranten				HPLC			
benzo(k)fluoranten				HPLC			
dibenzo(a,h)antracen				HPLC			
indeno(1,2,3-cd)piren				HPLC			

*) deszczomierz Hellmanna (wlot na wysokości 1,0 m n.p.g.) na stacji w Jarczewie oraz automatyczny deszczomierz wagowy na stacji w Łebie; 1,0 mm= 1 dm³/m²

**) w Szymbarku pomiar pH na stacji; pozostałe analizy w CLB w Lublinie

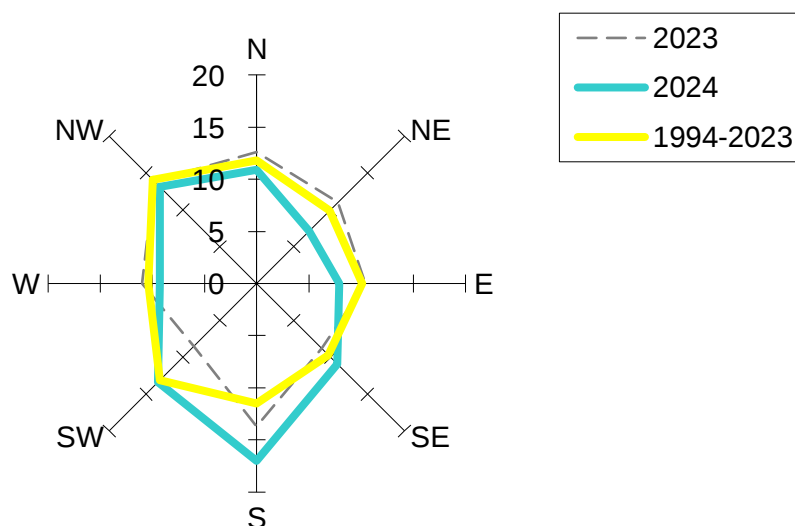
FAAS - płomieniowa spektrometria atomowa absorpcyjna

ICP-AES – plazmowa spektrometria atomowa emisyjna
ICP-OES – spektrometria atomowa ze wzbudzeniem w plazmie indukcyjnie sprzężonej
GF-AAS - spektrometria atomowa z kuwetą grafitową
ICP-MS - spektrometria masowa z plazmą wzbudzaną indukcyjnie
CV-AFS - fluorescencja atomowa
AFS – atomowa spektrometria fluorescencyjna
HPLC - wysokosprawna chromatografia cieczowa

4. Warunki meteorologiczne w 2024 roku na tle wielolecia

Warunki meteorologiczne scharakteryzowano na podstawie danych meteorologicznych uzyskanych z sieci Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej (PSHM) IMGW-PIB oraz uzupełniono, w miarę możliwości, informacjami z pomiarów meteorologicznych prowadzonych w ramach programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego na stacji Puszcza Borecka na posterunku zlokalizowanym w Diablej Górze [Degórska i in. 2025] oraz ze stacji w Szymbarku [Kijowska-Strugała, Bochenek, 2025]. Wykorzystano ponadto dane o kierunkach napływu mas powietrza nad obszar Polski i typie cyrkulacji, opracowanych w IMGW-PIB na podstawie klasyfikacji typów cyrkulacji wg J. Lityńskiego [Lityński 1969, Pawłowska i in. 2000]. Warunki meteorologiczne w roku 2024 odniesiono do roku poprzedniego i przeciętnych warunków z poprzedzającego wielolecia 1994-2023.

W 2024 roku w Polsce przeważała **cyrkulacja** południowa (17%) i południowo-zachodnia (13,4%), z podobną częstością powietrze napływało z północnego zachodu (13,1%). Najslabiej reprezentowane były północno-wschodni (7,1%) i wschodni (7,9%) kierunek napływu. Sytuacje bezadwekcyjne, bez wyraźnego kierunku napływu (0) stanowiły w 2024 roku 10,4%.



brak wyraźnego kierunku adwekcji mas powietrza:
2023 r.: 10,1%, 2024 r.: 10,4%, 1994-2023: 9,4%

Rysunek 2. Rozkład częstości (%) kierunków cyrkulacji atmosferycznej¹ w Polsce w 2024 roku na tle wielolecia 1994-2023 i w porównaniu do 2023 roku

W 2024 roku cyrkulacja południowa dominowała zwłaszcza w październiku, kiedy udział napływu z S zwiększył się do ponad 35% oraz w lutym, marcu, maju, czerwcu, kiedy w każdym z miesięcy obejmowała ponad 20% wszystkich przypadków. W chłodnej porze roku ze zwiększoną częstością notowano cyrkulację północno-

¹ Kierunek napływu mas powietrza oceniano na podstawie dobowych typów cyrkulacji wg J. Lityńskiego [Lityński 1969].

zachodnią, która w styczniu, lutym i grudniu stanowiła ok. 20% wszystkich sytuacji, a w listopadzie aż 30%.

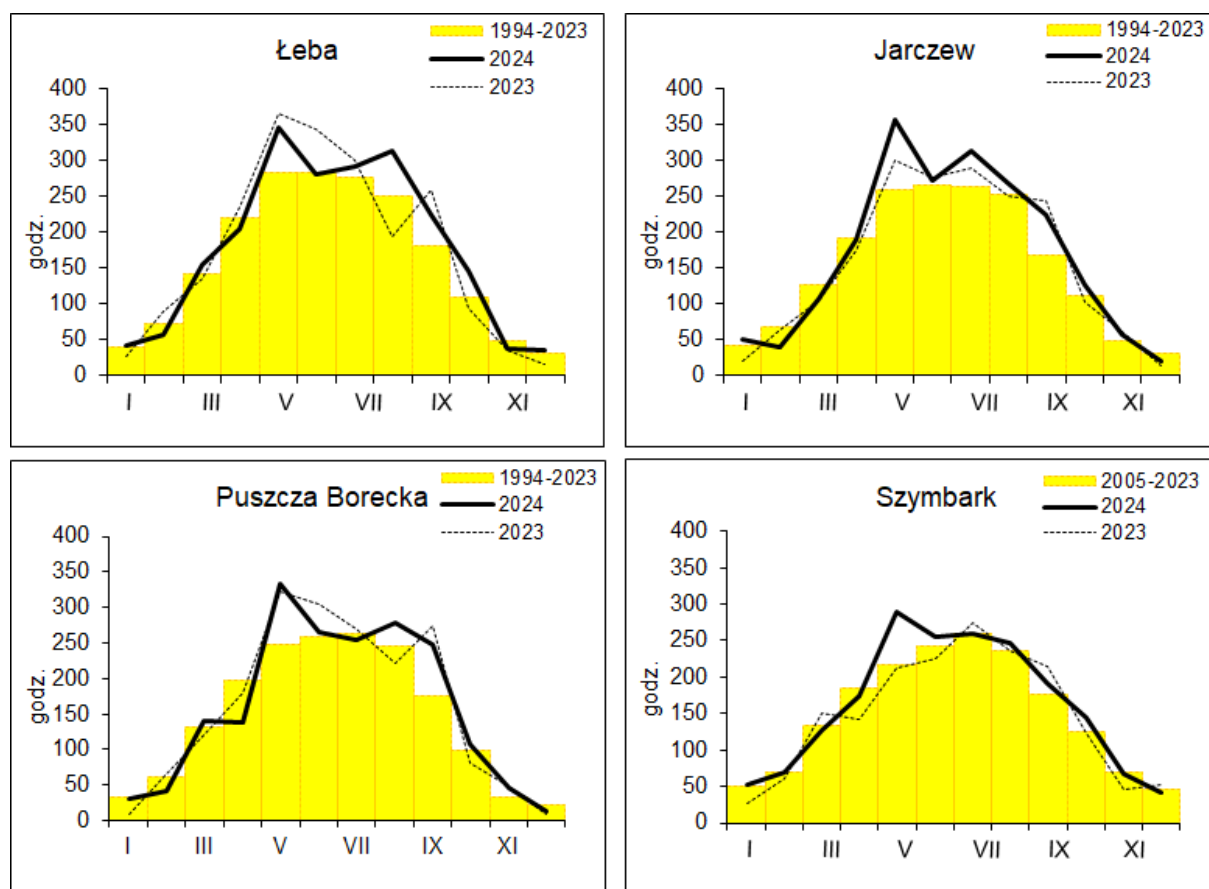
Rozkład częstości odbiegał od średniego rozkładu z okresu 1994-2023 głównie pod względem zwiększonej częstości cyrkulacji południowej (napływ z S o 5,5% częstszy) i zmniejszonej częstości napływu powietrza z kierunku NE (o blisko 3%), nieco częściej (o 1% częściej) występowały sytuacje bezadwekcyjne, bez wyraźnego kierunku napływu (0).

W porównaniu z poprzednim rokiem częściej występował napływ powietrza z sektora południowego – łącznie napływ z kierunków SW, S i SE był częstszy o 10% w porównaniu do 2023 roku. Z mniejszą częstością niż w 2023 roku odnotowano w 2024 roku napływy z NE i E.

Kształt 8-kierunkowej róży napływów w 2024 w porównaniu do rozkładu z 2023 roku był wyciągnięty w kierunku południowym (rysunek 2).

Roczna suma **usłonecznienia** w 2024 roku wyniosła 2031 godzin w Jarczewie i 2138 godzin w Łebie, oraz 1899 godzin na stacji Puszcza Borecka i 1915 w Szymbarku. Suma usłonecznienia była wyższa niż w 2023 roku: o 5-125 h (o 0,5%-8,5%).

W odniesieniu do średniej wieloletniej z okresu 1994-2023 (w Szymbarku z okresu 2005-2023) usłonecznienie w roku 2024 było wyższe: o 131-201 h, tj. o 5,8-11%.



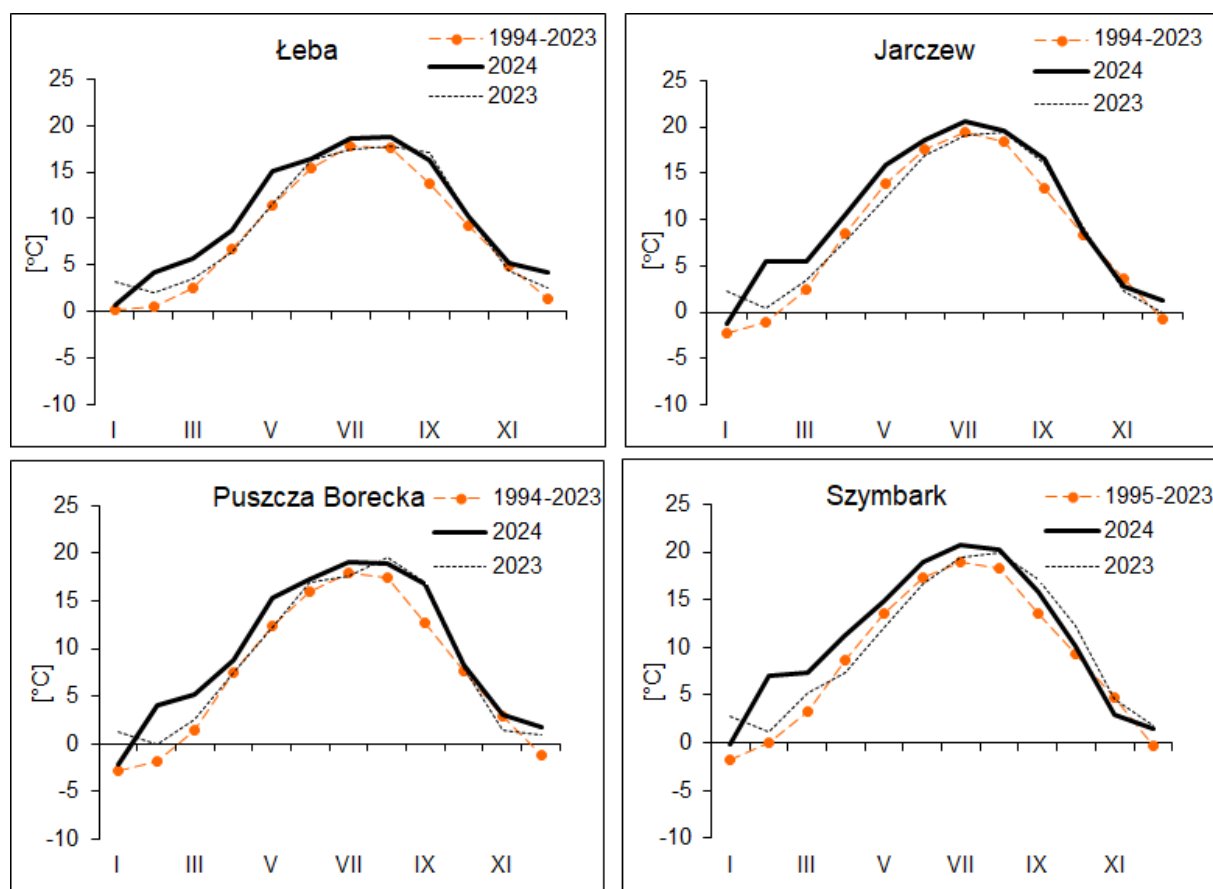
Rysunek 3. Przebieg roczny miesięcznych sum usłonecznienia na stacjach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w 2024 roku na tle przebiegu średniego wieloletniego i w porównaniu do 2023 roku

Rozkład usłonecznienia w roku przedstawiono na rysunku 3. We wszystkich rejonach badań najwięcej godzin ze słońcem przypadło na maj, najmniej na grudzień.

Suma usłonecznienia w maju była dużo wyższa od przeciętnej, a liczba godzin ze słońcem była wyższa od średniej wieloletniej 1994-2023 o 60 h w Łebie, o 87 h na stacji Puszcza Borecka, o 90 h w Szymbarku i o 99 h w Jarczewie. Dużo wyższe sumy usłonecznienia niż przeciętnie w wieloleciu przypadły także na lipiec (w Jarczewie), sierpień (w Łebie i Puszczy Boreckiej) i wrzesień (na wszystkich stacjach).

Usłonecznienie w okresie V-VII, dla którego wylicza się AOT40 dla ozonu w sezonie wegetacyjnym, wyniosło w 2024 roku 854 h na stacji Puszcza Borecka, 804 h w Szymbarku, 920 h w Łebie i 943 h w Jarczewie i było we wszystkich rejonach badań tła wyższe niż w okresie wieloletnim 1994-2023 (Szymbark 2005-2023): o 74 h (o 8,8%) w Łebie, o 84 h (o 10,8%) w rejonie Puszczy Boreckiej, o 87 h (12,2%) w Szymbarku i o 154 h (o 19,5%) w Jarczewie.

Średnia roczna **temperatura powietrza** w analizowanych rejonach badań w 2024 roku (rysunek 4) wyniosła 9,7°C na stacji Puszcza Borecka, 10,4°C w Łebie i w Jarczewie oraz 10,9°C w Szymbarku. Rok 2024 w porównaniu do poprzedniego był cieplejszy o 0,9-2,2°C. W odniesieniu do średniej temperatury wieloletniej (1994-2023, Szymbark 1995-2023) rok 2024 był cieplejszy o 1,9°C w Łebie i w Jarczewie, o 2,1°C w Szymbarku i o 2,2°C na stacji Puszcza Borecka.



Rysunek 4. Przebieg roczny temperatury powietrza na stacjach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w 2024 roku na tle przebiegu średniego wieloletniego i w porównaniu do 2023 roku

Zgodnie z klasyfikacją termiczną H. Lorenc (Lorenc et al. 1995, Lorenc 2000) na tle średniej klimatologicznego okresu normalnego 1991-2020 rok 2024 został sklasyfikowany jako ekstremalnie ciepły we wszystkich rejonach badań. W skali całego kraju rok 2024 został uznany za najcieplejszy w historii pomiarów w Polsce.

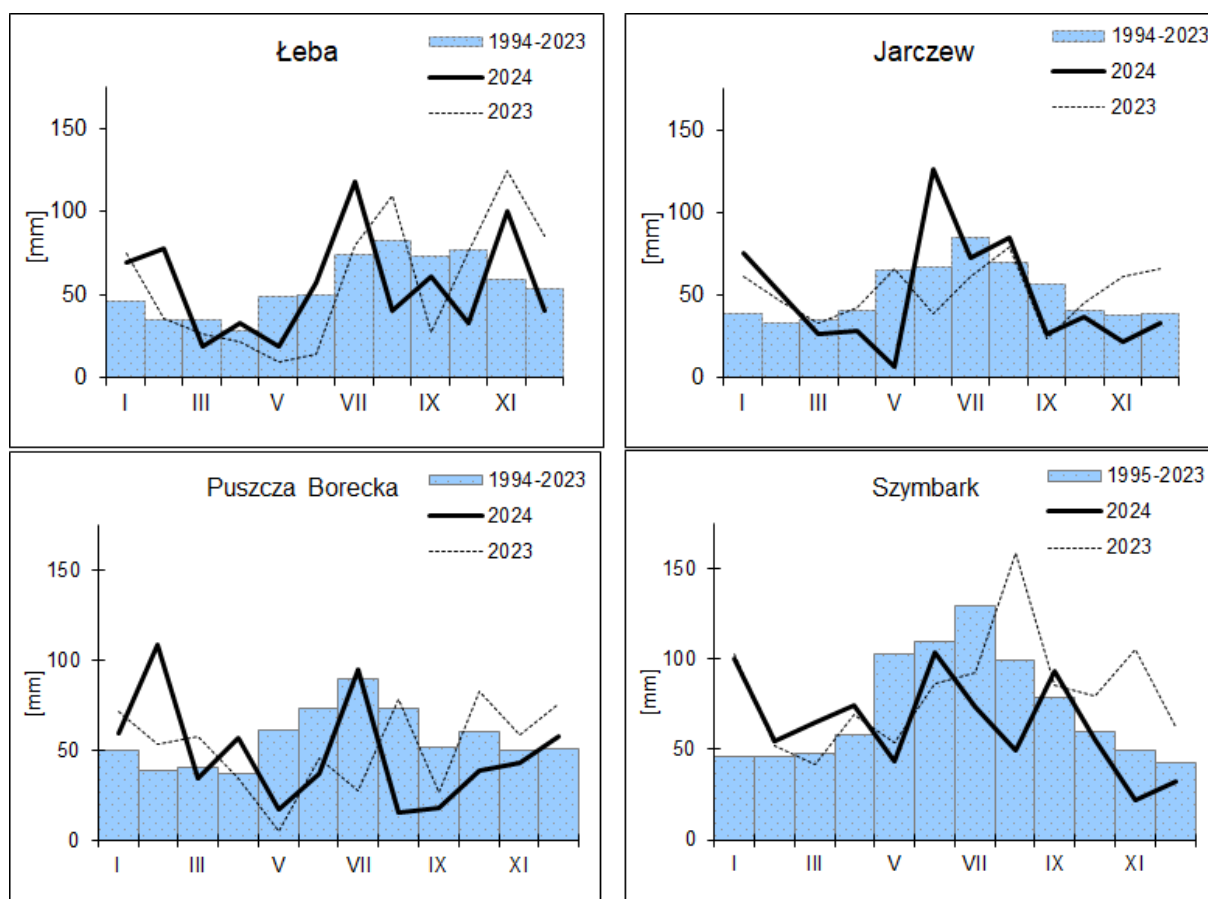
Meteorologiczne pory roku pod względem termicznym kształtowały się powyżej normy. Zimę (XII.2023-II.2024) na stacjach zlokalizowanych w rejonie środkowej Polski (Jarczew,) oceniono jako ciepłą, a w rejonie nadmorskim jako lekko ciepłą; wiosna w rejonie Jarczewa sklasyfikowana została jako ekstremalnie ciepła, a w rejonie nadmorskim jako anomalnie ciepła, lato było ciepłe (Łeba, Jarczew), jesień – ciepła w rejonie nadmorskim, a lekko ciepła w Jarczewie.

Przebieg roczny temperatury powietrza w 2024 roku na tle wartości średnich wieloletnich oraz w porównaniu do roku 2023 przedstawiono na rysunku 4. W roku 2024 najcieplejszymi miesiącami był lipiec i sierpień. Najchłodniejszy był styczeń. Średnie miesięczne wartości temperatury praktycznie w ciągu całego roku kształtowały się powyżej średniej wieloletniej i przyjmowały wartości dodatnie, z wyjątkiem stycznia na stacji Puszcza Borecka, w Jarczewie oraz w Szymbarku. Dużo cieplejszy od normy był wrzesień, który w Jarczewie sklasyfikowano jako ekstremalnie ciepły, w rejonie nadmorskim jako anomalnie ciepły, a w Szymbarku jako ciepły. Znacznie powyżej przeciętnej okazał się luty, który w Jarczewie sklasyfikowano jako anomalnie ciepły, a w Łebie jako ciepły. Średnia temperatura miesięczna lutego wyniosła 4,0°C na stacji Puszcza Borecka, 4,2°C w Łebie, 5,5°C w Jarczewie i 7,0°C w Szymbarku i była wyższa od średniej z okresu 1994-2023 (Szymbark 1995-2023) o 4,7-7,0°C. Wyróżnić należy również maj - anomalnie ciepły w Łebie, ciepły w Jarczewie, w Szymbarku lekko ciepły.

Roczne **sumy opadów** atmosferycznych w 2024 roku (rysunek 5) wyniosły w rejonach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce od 584,7 mm na stacji Puszcza Borecka, 587,6 mm w Jarczewie do 666,8 mm w Łebie i 766,2 mm w Szymbarku. W porównaniu do 2023 roku sumy opadów były niższe o 18-37 mm (o 2,7-6%) na stacjach nizinnych i o 224 mm (22,6%) w regionie rolniczym gór niskich i pogórzy.

W porównaniu do okresu wieloletniego 1994-2023 roczne sumy opadu w 2024 roku były wyższe i to nieznacznie jedynie na stacji nadmorskiej o 5 mm (0,8%); w pozostałych rejonach badań były niższe: w Jarczewie o 21,6 mm (o 3,5%), w rejonie Puszczy Boreckiej o 95,2 mm (o 14%), a w Szymbarku (w porównaniu do okresu 1995-2023) o 103,0 mm (o 11,8%).

Według klasyfikacji Z. Kaczorowskiej (Kaczorowska 1962), oceniającej niedobór lub nadmiar opadów w stosunku do normy wieloletniej, rok 2024 został sklasyfikowany jako normalny. Średnia roczna suma opadów atmosferycznych obliczona na podstawie pomiarów z 52 stacji synoptycznych wyniosła 618 mm, co stanowi 98,3% wartości wieloletniej (1991-2020) (Biuletyn PSHM 2024). W rejonie nadmorskim i środkowo-wschodnim rok 2024 został oceniony jako normalny, podobnie jak na przeważającym obszarze Polski. Tylko miejscami na Podkarpaciu i Opolszczyźnie rok 2024 sklasyfikowano jako suchy, a na Podlasiu nawet jako bardzo suchy, natomiast w zachodniej części kraju lokalnie jako wilgotny, a także bardzo wilgotny.



Rysunek 5. Przebieg roczny miesięcznych sum opadów atmosferycznych na stacjach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w 2024 roku na tle przebiegu średniego wieloletniego oraz w porównaniu do roku 2023

Przebieg sum opadów w poszczególnych miesiącach był zmienny i w większości przypadków bardzo nietypowy. Odbiegał od obserwowanego przez dziesięciolecie rozkładu rocznego z maksimum przypadającym na miesiące letnie, a minimum na jeden z miesięcy zimowych. W 2024 roku najwyższe miesięczne sumy opadów wystąpiły w rejonie Puszczy Boreckiej w lutym, w pozostałych rejonach badań w miesiącach letnich: w Jarczewie i w Szymbarku w czerwcu, a w rejonie nadmorskim w lipcu; w lipcu odnotowano również drugorzędne maksimum na stacji Puszcza Borecka. Najniższe opady w nizinnych rejonach badań wystąpiły na stacji Puszcza Borecka w sierpniu, drugorzędne minimum w maju (rysunek 5); w maju obserwowano także najniższe sumy opadów w pozostałych rejonach nizinnych. W Szymbarku, reprezentującym region gór niskich i pogórzy, najniższe sumy opadu przypadły w 2024 roku na listopad. Jednocześnie na listopad przypadło drugorzędne maksimum miesięczne na stacji nadmorskiej. Najwięcej dni z opadem wystąpiło na stacjach tła w styczniu bądź w lutym. Najmniej dni z opadem na stacji nadmorskiej wystąpiło w maju, w Jarczewie w sierpniu, na stacji Puszcza Borecka we wrześniu, a w Szymbarku w maju i październiku. Rozkład miesięcznych sum opadów w roku zilustrowano na rysunku 5.

We wszystkich rejonach badań w odniesieniu do referencyjnego wielolecia 1991-2020 jako skrajnie wilgotny oceniono styczeń i/lub luty, w rejonie nadmorskim także lipiec i listopad, w Jarczewie czerwiec. Z kolei skrajnie suchy we wszystkich rejonach badań

okazał się maj, w rejonie nadmorskim również marzec, sierpień i październik, w Jarczewie wrzesień, w Szymbarku listopad, a w rejonie Puszczy Boreckiej sierpień i wrzesień.

W ujęciu sezonowym, w skali całego kraju, 2024 rok pod względem opadów atmosferycznych charakteryzował się skrajnie wilgotną zimą (XII 2023 - II 2024), bardzo suchą wiosną, normalnym latem i normalną jesienią (Biuletyn PSHM 2024, za [Bogucka 2025]).

Przeważały opady letnie nad zimowymi w rejonie Jarczewa oraz zimowe nad letnimi w pozostałych rejonach badań - w rejonie nadmorskim, w Puszczy Boreckiej oraz w Szymbarku.

W rejonach badań w 2024 roku na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce wystąpiło 158-178 dni z opadem (ok. 43-49% dni w roku).

Posiłkując się danymi o kierunkach napływu mas powietrza nad obszar Polski i typie cyrkulacji, opracowanych w IMGW-PIB na podstawie klasyfikacji typów cyrkulacji wg J. Lityńskiego stwierdzono, że w rejonach badań IMGW-PIB najwyższe sumy opadów i największa liczba dni z opadem związane były w rejonie nadmorskim, podobnie jak rok wcześniej, z napływem mas powietrza z kierunku północno-zachodniego (odpowiednio 28% i 19%). W Jarczewie największe sumy opadu związane były z nieokreślonym kierunkiem napływu (19%), a ponadto z sektorem zachodnim: z kierunkami SW (16%), W i NW (po 14%). Najwięcej dni z opadem w rejonie Jarczewa odnotowano przy napływie z kierunku NW (16%).

W rejonie Puszczy Boreckiej, gdzie badania prowadzi IOŚ-PIB, w roku 2024 najwięcej – 43% – dni z opadami miało miejsce przy napływie mas powietrza z sektora zachodniego, czyli z kierunków południowo-zachodniego (11%), zachodniego (11%) i północno-zachodniego (21%). Masy powietrza napływające z sektora zachodniego przyniosły również największe sumy opadów – 47% rocznej sumy (odpowiednio 27% z kierunku NW i po 10% z kierunków W i SW). Najmniej dni z opadami odnotowano przy napływie mas powietrza z północnego wschodu i ze wschodu i na te kierunki przypadły również najmniejsze sumy opadów.

Wykonano również analizę kierunków napływu mas powietrza i cyrkulacji wg Lityńskiego dla danych opadowych z Szymbarku, gdzie badania prowadzi IGiPZ PAN. W Szymbarku najwięcej dni z opadem przypadło na dni z napływem mas powietrza z północnego zachodu (17%), w drugiej kolejności na dni z nieokreślonym kierunkiem napływu (15%). Największe sumy opadu związane były z napływem powietrza z północnego wschodu (18% rocznej sumy opadu), ale stosunkowo duże sumy opadu przyniosły również kierunek północno-zachodni (14%) oraz sytuacje bezadwekcyjne (15% rocznej sumy opadu).

5. Zanieczyszczenie powietrza w 2024 roku na tle wielolecia

5.1. Odniesienie wyników do poziomów dopuszczalnych i docelowych

Uzyskane wyniki odniesiono do poziomów dopuszczalnych i docelowych zróżnicowanych ze względu na ochronę zdrowia ludzi oraz ochronę roślin, zawartych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. z 2012 r., poz. 1031), objętym aktem jednolitym i stanowiącym w chwili obecnej załącznik do Obwieszczenia Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 12 kwietnia 2021 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. 2021 poz. 845). Wartości zanieczyszczenia powietrza na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w 2024 roku na tle poziomów dopuszczalnych i docelowych dla kryterium: ochrona zdrowia ludzi zestawiono w tabeli 3, a dla kryterium: ochrona roślin w tabeli 4.

W 2024 roku na żadnej ze stacji nie zostały przekroczone poziomy dopuszczalne dwutlenku siarki SO_2 określone dla kryterium ochrony zdrowia. Najwyższe maksymalne 24-godzinne stężenie odnotowano w Szymbarku, gdzie stanowiło 2,6% poziomu dopuszczalnego (dla czasu uśredniania 24 godziny – $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$), najniższe na stacji Puszcza Borecka – 1,3% poziomu dopuszczalnego. Nie wystąpiło przekroczenie poziomu dopuszczalnego dwutlenku azotu NO_2 – średnie roczne stężenie było najwyższe w Jarczewie, gdzie stanowiło 19% poziomu dopuszczalnego określonego dla kryterium ochrony zdrowia, a najniższe na stacji Puszcza Borecka – 7,2% wartości dopuszczalnej.

Maksymalne z ośmiogodzinnych średnich kroczących stężeń ozonu na żadnej z omawianych stacji nie przekroczyło dopuszczalnej liczby 25 przypadków ponad wartość docelową, określoną dla kryterium ochrony zdrowia (którego termin osiągnięcia ustalono dla roku 2010), na poziomie równym $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dla średniej z okresu 3-letniego. W 2024 roku na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery nie odnotowano przekroczenia poziomu alarmowego, tj. wartości jednogodzinnej $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ani wynoszącej $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wartości progowej informowania społeczeństwa o ryzyku przekroczenia poziomu alarmowego dla ozonu w otaczającym powietrzu. We wszystkich rejonach badań, poza Szymbarkiem, został dotrzymany poziom celu długoterminowego dla ozonu (na rok 2020) dla 8-godzinnego okresu uśredniania wyników wynoszący $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabela 3. Zanieczyszczenie powietrza na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w 2024 roku na tle poziomów dopuszczalnych i docelowych. Kryterium: ochrona zdrowia ludzi

Zanieczyszczenie	Czas uśredniania	Poziom dopuszczalny	Dopuszczalna częstość przekroczeń w roku	Łeba	Puszcza Borecka	Jarczew	Szymbark	Zielonka	Termin osiągnięcia poziomów dopuszczalnych
dwutlenek azotu	rok kalendarzowy	40 µg/m ³	-	3,7 µg/m ³	2,9 µg/m ³	7,6 µg/m ³	4 µg/m ³	x	2010
dwutlenek siarki	24 godziny	125 µg/m ³	3 razy	2,8 µg/m ³	1,6* µg/m ³	3,0 µg/m ³	3,2* µg/m ³	x	2005
pył zawieszony PM10	rok kalendarzowy	40 µg/m ³	-	x	13,7 µg/m ³	x	13,6 µg/m ³	11,9 µg/m ³	2005
pył zawieszony PM10	24 godziny	50 µg/m ³	35 razy	x	1 raz	x	3 razy	2 razy	2005
ołów w pyłe zawieszonym	rok kalendarzowy	0,5 µg/m ³	-	x	0,00159 µg/m ³	x	x	0,00137 µg/m ³	2005
pył zawieszony PM2,5	rok kalendarzowy	20 µg/m ³	-	x	9,7 µg/m ³	x	x	8,1 µg/m ³	2020
Zanieczyszczenie	Czas uśredniania	Poziom docelowy	Dopuszczalna częstość przekroczeń w roku	Łeba	Puszcza Borecka	Jarczew	Szymbark	Zielonka	Termin osiągnięcia poziomu docelowego
ozon	8 godzin **	120 µg/m ³	25 dni ***	2 dni	2 dni	1 dzień	8 dni	x	2010
arsen w pyłe zawieszonym	rok kalendarzowy	6 ng/m ³	-	x	0,21 ng/m ³	x	x	0,23 ng/m ³	2013
kadm w pyłe zawieszonym	rok kalendarzowy	5 ng/m ³	-	x	0,06 ng/m ³	x	x	0,05 ng/m ³	2013
nikiel w pyłe zawieszonym	rok kalendarzowy	20 ng/m ³	-	x	0,50 ng/m ³	x	x	0,28 ng/m ³	2013
benzo(a)piren w pyłe zawieszonym	rok kalendarzowy	1 ng/m ³	-	x	0,31 ng/m ³	x	x	0,24 ng/m ³	2013
Zanieczyszczenie	Czas uśredniania	Poziom celu długoterminowego	-	Łeba	Puszcza Borecka	Jarczew	Szymbark	Zielonka	Termin osiągnięcia poziomu celu długoterminowego
ozon	8 godzin **	120 µg/m ³	-	109,0 µg/m ³	119,5 µg/m ³	118,6 µg/m ³	130,1 µg/m ³	x	2020

* maksymalna wartość 24-godzinna

** maksymalna średnia 8-godzinna spośród średnich kroczących, obliczanych ze średnich godzinnych w ciągu doby

*** liczba dni z przekroczeniem poziomu docelowego w roku kalendarzowym, uśredniona w ciągu kolejnych trzech lat

Stężenie pyłu zawieszonego PM₁₀, mierzone na stacjach Puszcza Borecka, Szymbark i Zielonka, normowane jest dla kryterium ochrona zdrowia dla dwóch czasów uśredniania wyników: 24 godzin i roku kalendarzowego. Średnie dobowe stężenie pyłu przy dopuszczalnej częstotliwości przekroczeń wynoszącej 35 razy w ciągu roku, przekroczyło poziom dopuszczalny na stacji Puszcza Borecka jeden raz, na stacji w Zielonce dwa razy, a w Szymbarku trzy razy. Na stacji w Szymbarku odnotowano jeden przypadek przekroczenia poziomu informowania dla pyłu zawieszonego PM₁₀, tj. wartości 100 µg/m³ dla okresu uśredniania wyników wynoszącego 24 godziny. Sytuacja miała miejsce 1.04.2024 r. i wiązała się z epizodem napływu nad teren Polski południowej pyłu saharyjskiego. Średnia roczna wartość stężenia pyłu PM₁₀ wyniosła od 30% poziomu dopuszczalnego, wynoszącego 40 µg/m³, w Zielonce, do 34% poziomu dopuszczalnego na stacji Puszcza Borecka. Z mierzonej na stacjach Puszcza Borecka i Zielonka zawartości metali ciężkich w pyłe zawieszonym średnie roczne stężenie ołowiu w pyłe PM₁₀ osiągnęło na obu stacjach 0,3% poziomu dopuszczalnego, wynoszącego 0,5 µg/m³. Średnia roczna wartość stężenia arsenu w pyłe zawieszonym PM₁₀ na stacjach Puszcza Borecka i Zielonka wyniosła odpowiednio 3,5% i 3,8% poziomu docelowego, kadmu – odpowiednio 1,2% i 1,0% poziomu docelowego, a niklu – odpowiednio 2,5% i 1,4% poziomu docelowego. Średnie roczne stężenie benzo(a)pirenu na stacji Puszcza Borecka stanowiło 31%, a na stacji Zielonka 24% poziomu docelowego określonego dla 2013 roku. Średnie roczne stężenie pyłu PM_{2,5} na stacji Puszcza Borecka i Zielonka osiągnęło odpowiednio 48,5% i 40,5% wartości dopuszczalnej (20 µg/m³) obowiązującej od 2020 roku.

Normowana ze względu na ochronę roślin wartość stężenia SO₂ stanowiła od 2,5% (Puszcza Borecka) do 10% (Szymbark) poziomu dopuszczalnego dla rocznego okresu uśredniania, oraz od 3% (Puszcza Borecka) do 14% (Szymbark) dla okresu zimowego (od 1 października do 31 marca) (w obu przypadkach poziom dopuszczalny wynosi 20 µg/m³). Średnie roczne stężenie NO₂ osiągnęło od 11,3% (Puszcza Borecka) do 25,3% (Jarczew) dopuszczalnego poziomu ze względu na ochronę roślin (określonego dla NO_x jako 30 µg/m³).

Wartość wskaźnika AOT40 obliczona dla okresu wegetacyjnego (w okresie od 1 maja do 31 lipca), wyrażona w µg/m³·h, wyniosła w 2024 roku od 3085 w Łebie, 8999 w Jarczewie, 10953 na stacji Puszcza Borecka do 12 470 w Szymbarku.

Poziom docelowy AOT40 uznaje się za osiągnięty, jeżeli nie przekracza go wartość średnia obliczona dla okresów wegetacyjnych z ostatnich pięciu kolejnych lat. Uśredniony dla okresu 2020-2024 wskaźnik AOT40 przyjął na stacjach nizinnych wartości od 5512 w Jarczewie, 7747 w Łebie i 8350 na stacji Puszcza Borecka do 13 473 µg/m³·h w rejonie gór niskich i pogórzy, tj. w Szymbarku, co stanowiło od 30,6% (Jarczew) do 74,8% (Szymbark) poziomu docelowego.

Poziomy celów długoterminowych dla ozonu dla kryterium ochrony roślin ustalone (na rok 2020) na poziomie 6000 µg/m³·h w 2024 roku nie zostały przekroczone jedynie na stacji w Łebie.

Dla pozostałych zanieczyszczeń badanych w rejonach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery Rozporządzenie [Dz. U. z 2012 r., poz. 1031] nie określa dopuszczalnych wartości stężenia w powietrzu.

Tabela 4. Zanieczyszczenie powietrza na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w 2024 roku na tle wartości dopuszczalnych i docelowych. Kryterium: ochrona roślin

Zanieczyszczenie	Okres uśredniania	Poziom dopuszczalny	Termin osiągnięcia poziomów dopuszczalnych	Łeba	Puszcza Borecka	Jarczew	Szymbark	Zielonka
tlenki azotu *	rok kalendarzowy	30 µg/m ³	2003 r.	3,7 µg/m ³	3,4 µg/m ³	7,6 µg/m ³	5,0 µg/m ³	x
dwutlenek siarki	rok kalendarzowy	20 µg/m ³	2003 r.	0,8 µg/m ³	0,5 µg/m ³	0,9 µg/m ³	2,1 µg/m ³	x
dwutlenek siarki	pora zimowa (1.X-31.III)	20 µg/m ³	2003 r.	0,8 µg/m ³	0,6 µg/m ³	1,0 µg/m ³	2,8 µg/m ³	x
Zanieczyszczenie	Okres uśredniania	Poziom docelowy	Termin osiągnięcia poziomu docelowego	Łeba	Puszcza Borecka	Jarczew	Szymbark	Zielonka
ozon **	okres wegetacyjny (1.V-31.VII)	18 000 µg/m ³ ·h ***	2010 r.	7747 µg/m ³ ·h **	8350 µg/m ³ ·h **	5512 µg/m ³ ·h **	13 473 µg/m ³ ·h **	x
Zanieczyszczenie	Okres uśredniania	Poziom celu długoterminowego	Termin osiągnięcia poziomu celu długoterminowego	Łeba	Puszcza Borecka	Jarczew	Szymbark	Zielonka
ozon	okres wegetacyjny (1.V-31.VII)	6 000 µg/m ³ ·h ****	2020 r.	3085 µg/m ³ ·h ***	10953 µg/m ³ ·h ***	8999 µg/m ³ ·h ***	12 470 µg/m ³ ·h ***	x

* w przeliczeniu na dwutlenek azotu

** średnia z okresu 2020-2024

*** wyrażone jako AOT40, oznaczające sumę różnic między stężeniem średnim jednogodzinnym wyrażonym w µg/m³ a wartością 80 µg/m³ dla każdej godziny w ciągu doby pomiędzy godziną 8:00 a 20:00 czasu środkowoeuropejskiego, dla której stężenie jest większe niż 80 µg/m³, normowane jako średnia z 5 kolejnych lat.

**** wartość z roku 2024

5.2. Podstawowe zanieczyszczenia powietrza

W tabeli 5 zawarto szczegółowe dane o zanieczyszczeniu powietrza z omawianych w *Raporcie* rejonów badań tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w okresie 1994-2024, a przebieg średnich rocznych (arytmetycznych) wartości stężenia zanieczyszczeń powietrza w rejonach badań od 1994 roku można prześledzić na rysunku 6.

Tabele zamieszczane w raportach syntetycznych w poprzednich latach uzupełniono o tabelę zawierającą dane ze stacji w Szymbarku, która włączona została do sieci EMEP w 2024 roku. Uwzględniono w niej dane o stężeniu gazowych zanieczyszczeń powietrza pochodzących z pomiarów automatycznych realizowanych na stacji Szymbarku w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska w latach wcześniejszych, sprzed wejścia stacji do programu EMEP.

Na wykresach (na rysunku 6 i kolejnych) uwzględniono dane ze stacji na Śnieżce, która funkcjonowała od roku 1981, a w programie EMEP od 1991 roku, a na której z końcem 2023 roku zaprzestano pomiarów na cele monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce.

Stężenie dwutlenku siarki na przestrzeni wielolecia charakteryzuje się tendencją spadkową, wyraźniejszą na początku okresu niż w ciągu ostatnich kilku lat. Na stacji w Jarczewie wartość stężenia w początkowych latach była widocznie wyższa niż w pozostałych rejonach badań. W ostatnich latach stężenie dwutlenku siarki we wszystkich nizinnych rejonach badań zbliżyło się do podobnego poziomu. W 2024 roku S-SO₂ przyjęły wartości od 0,30 µgS/m³ w rejonie Puszczy Boreckiej i 0,40 µgS/m³ w Łebie do 0,43 µgS/m³ w Jarczewie. Średnie stężenie w okresie wielolecia 1994-2023 było najwyższe w Jarczewie, gdzie wyniosło 1,89 µgS/m³, najniższe w rejonie Puszczy Boreckiej – 0,80 µgS/m³. Na stacji w Szymbarku, dla której dysponujemy pomiarami stężenia dwutlenku siarki od 2008 roku przebieg ma tendencję malejącą, na poziomie wyższym niż w pozostałych rejonach badań, a w 2024 roku wartość S-SO₂ wyniosła 1,07 µgS/m³. W 2024 roku w Jarczewie i w Szymbarku stężenie dwutlenku siarki utrzymało się na poziomie z poprzedniego roku, natomiast w Łebie i na stacji Puszcza Borecka wzrosło o 0,1 µgS/m³ w porównaniu do 2023 roku.

Od początku wspólnych badań, tj. od roku 1994, w nizinnych rejonach badań stwierdzono spadek stężenia dwutlenku siarki, o 86-89%. Na stacji w Szymbarku odnotowano spadek stężenia S-SO₂ od początku pomiarów, tj. od 2008 roku o 50%.

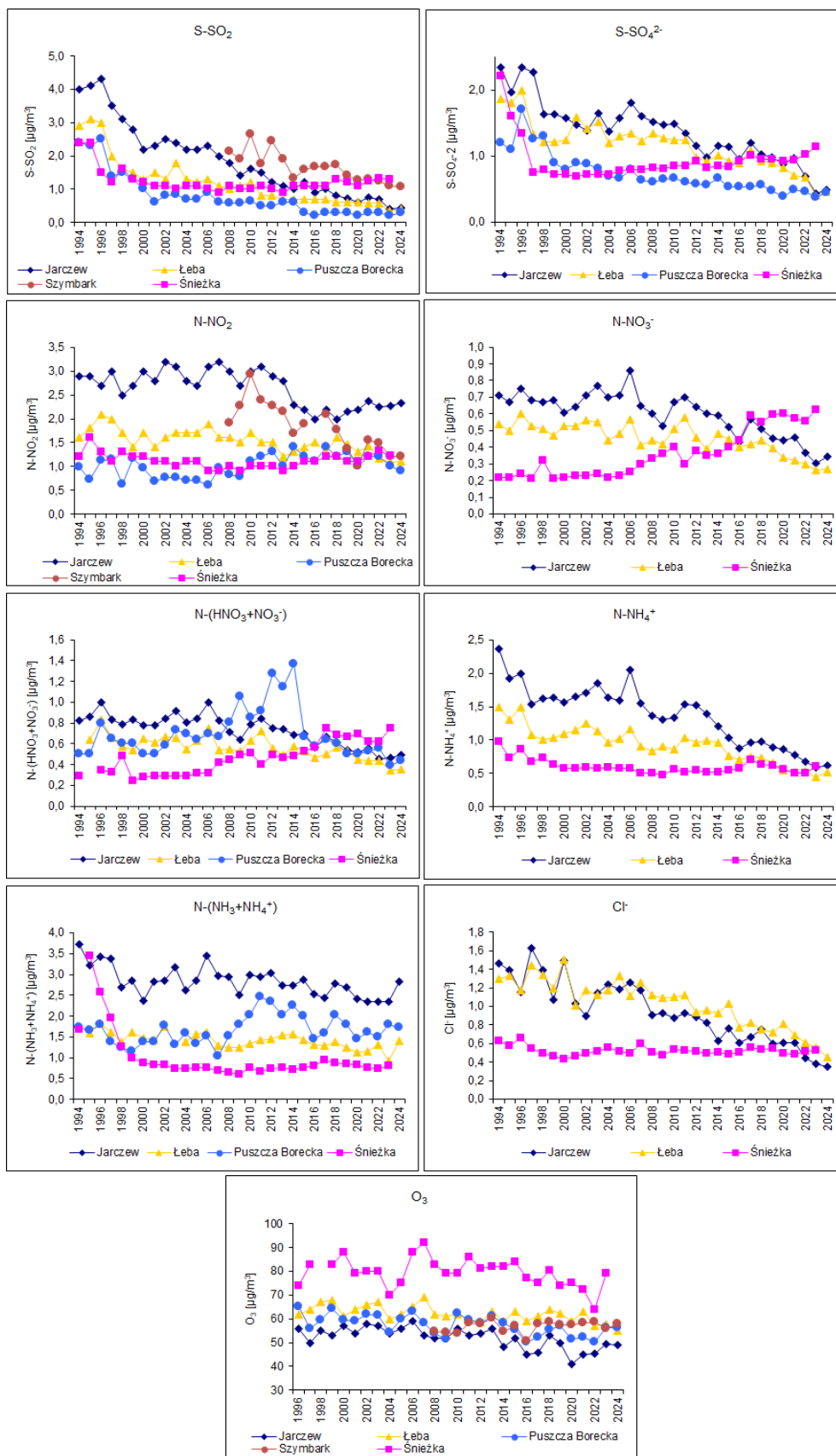
Stężenie jonu siarczanowego, pochodzącego z przemian dwutlenku siarki, po okresie znaczącego spadku z początku wspólnych obserwacji, na stacji Puszcza Borecka utrzymywało się w granicach 0,38-0,70 µgS/m³ (od 2007 roku). W pozostałych nizinnych rejonach badań odnotowano niewielką zmienność z roku na rok, przejawiającą się okresowymi wzrostami i spadkami stężenia, przy utrzymującej się ogólnej tendencji spadkowej. W Jarczewie w całym okresie obserwacyjnym wartości były wyższe niż w pozostałych rejonach nizinnych, a na stacji Puszcza Borecka od roku 2007 stężenie siarczanów osiągało wartości niższe niż w pozostałych regionach badań. Wartości średnie roczne stężenia siarczanów w Łebie i w Jarczewie od 2016 roku są do siebie zbliżone. W 2023 roku na wszystkich stacjach nizinnych średnie roczne stężenie było najniższe w całym okresie obserwacyjnym. W 2024 roku wartości były nieznacznie wyższe, nadal należały do najniższych w całym okresie obserwacyjnym. Stężenie S-SO₄⁻² w 2024 roku wyniosło 0,45-0,49 µg/m³.

We wszystkich rejonach badań zauważalny jest spadek stężenia $S-SO_4^{-2}$ w stosunku do poziomu z początku wspólnych obserwacji, czyli od roku 1994, o 62-79% - najmniejszy na stacji Puszcza Borecka, a największy w Jarczewie. Średnie wieloletnie stężenie jonu siarczanowego z całego okresu wspólnych obserwacji (1994-2023) było najniższe na stacji Puszcza Borecka ($0,74 \mu gS/m^3$), a najwyższe na stacji w Jarczewie ($1,40 \mu gS/m^3$).

Dwutlenek azotu nie wykazywał tak charakterystycznego, jak w przypadku dwutlenku siarki, spadku stężeń w okresie wielolecia. Jedynie w Jarczewie, gdzie stężenie dwutlenku azotu na przestrzeni lat utrzymywało się na najwyższym poziomie, po okresie naprzemiennych wzrostów i spadków wartości z roku na rok, po 2011 roku obserwowano spadek i od 2014 roku stężenia pozostają na w miarę ustabilizowanym poziomie $2,0-2,4 \mu gN/m^3$ i wykazują słabą tendencją rosnącą. W Łebie obserwowano nieznaczłą zmienność z roku na rok. Na stacji Puszcza Borecka, po okresie stabilności w latach 2001-2006, kiedy wartości utrzymywały się na poziomie najniższym spośród wszystkich analizowanych stacji, poziom $N-NO_2$ sukcesywnie wzrastał, w latach 2012-2022 przemiennie wzrastał i malał, by po roku 2022 zacząć maleć. W całym okresie badań stężenie $N-NO_2$ w rejonie Puszczy Boreckiej było przeważnie niższe niż w pozostałych rejonach nizinnych. W ciągu ostatnich kilku lat wartości w Łebie i na stacji Puszcza Borecka są do siebie podobne, od 2021 podobne wartości wykazywane są również dla stacji w Szymbarku. W całym wieloletnim okresie obserwacyjnym wartości stężenia $N-NO_2$ w Jarczewie utrzymywały się na poziomie wyższym niż w pozostałych rejonach badań. Średnie wieloletnie stężenie $N-NO_2$ (1994-2023) najniższe było w rejonie Puszczy Boreckiej ($1,0 \mu g/m^3$), wyższe w Łebie ($1,55 \mu g/m^3$), a najwyższe ($2,67 \mu g/m^3$) w Jarczewie. Średnie wieloletnie stężenie $N-NO_2$ na stacji w Szymbarku w latach 2008-2023 wyniosło $1,87 \mu g/m^3$. W 2024 roku wartości stężenia $N-NO_2$ wyniosły od $0,90 \mu g/m^3$ na stacji Puszcza Borecka, $1,11 \mu g/m^3$ na stacji nadmorskiej, $1,20 \mu g/m^3$ w Szymbarku do $2,33 \mu g/m^3$ w Jarczewie. W porównaniu do 1994 roku, od roku wspólnego początku pomiarów na wszystkich stacjach nizinnych, nastąpiło zmniejszenie stężenia $N-NO_2$ na stacji Puszcza Borecka o 9%, w Jarczewie o 21%, a w Łebie o 31%. W porównaniu z 2008 rokiem, pierwszym rokiem pomiarów dla stacji w Szymbarku, wartości obserwowane w 2024 roku były o $0,7 \mu g/m^3$, czyli o 5% niższe (rysunek 6).

Stężenie azotu azotanowego $N-NO_3^-$ (mierzone tylko na stacjach IMGW-PIB) oraz sumy związków azotanowych $N-(HNO_3+NO_3^-)$ we wszystkich rejonach badań wykazywało dużą zmienność z roku na rok.

W przebiegu wieloletnim od początku wspólnych badań do 2007 roku w przypadku sumy związków azotanowych, a do 2015 roku azotanów, najwyższe stężenia obserwowano w Jarczewie. Biorąc pod uwagę dwie stacje nizinne, na których kontynuowane były pomiary azotanów po roku 2023, w dalszym ciągu większe wartości obserwowano w Jarczewie niż w Łebie. Po 2006 roku do 2009 roku zmalało stężenie sumy związków azotanowych w Jarczewie, a w następnych dwóch latach znów wzrosło, po czym od 2011 roku systematycznie malało, by osiągnąć w 2022 roku wartość najniższą z obserwowanych na tej stacji. W ostatnich dwóch latach wartości nieznacznie wzrosły, w dalszym ciągu pozostają jednak na poziomie najniższych z obserwowanych na tej stacji w przebiegu wieloletnim.



Rysunek 6. Stężenie podstawowych zanieczyszczeń powietrza na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2024, z uwzględnieniem danych ze stacji na Śnieżce, działającej do końca 2023 roku

Z kolei na stacji Puszcza Borecka od roku 2000 obserwowano systematyczny wzrost sumy związków azotanowych $N-(HNO_3+NO_3^-)$, początkowo słaby, a od 2007 roku dość wyraźny. Od 2008 roku do 2014 roku wartość stężenia sumy związków azotanowych w rejonie Puszczy Boreckiej była najwyższa spośród wszystkich stacji. W roku 2014 zanotowano tam najwyższe średnie roczne stężenie w historii pomiarów, wynoszące $1,37 \mu gN/m^3$. Po roku 2014 wartości stężenia sumy związków azotanowych w rejonie Puszczy Boreckiej zmniejszyły się, by w latach 2015-2024 praktycznie zrównać się z wartościami z Jarczewa.

W 2024 roku najniższe średnioroczne stężenie azotu azotanowego i sumy związków azotanowych stwierdzono w Łebie, najwyższe w Jarczewie. We wszystkich rejonach badań stężenia w 2024 roku były niższe niż w 1994 roku.

Średnie stężenie jonu azotanowego obliczone dla wielolecia 1994-2023 biorąc pod uwagę tylko stacje funkcjonujące w 2024 roku było najniższe w Łebie ($0,46 \mu gN/m^3$), a najwyższe w Jarczewie ($0,61 \mu gN/m^3$), podobnie jak stężenie sumy związków azotanowych – najniższe na stacji nadmorskiej ($0,57 \mu gN/m^3$), nieco wyższe w rejonie Puszczy Boreckiej ($0,70 \mu gN/m^3$), a najwyższe w Jarczewie ($0,74 \mu gN/m^3$).

Stężenie sumy związków amonowych $N-(NH_3+NH_4^+)$ przez cały okres obserwacji, z wyjątkiem 1995 roku, najwyższe wartości przyjmowało w rejonie Jarczewa, przy nieznacznych wahaniach z roku na rok i sukcesywnym słabym spadku stężenia. W roku 2024 stężenie średnie roczne w rejonie środkowo-wschodnim wyniosło $2,84 \mu gN/m^3$. Nieznaczne wahania i niewielka zmienność przebiegu tego elementu charakterystyczne są na przestrzeni wielolecia także dla stacji nadmorskiej. Wyjątek stanowił rok 2023, w który średnioroczne stężenie $N-(NH_3+NH_4^+)$ na tej stacji zmniejszyło się do wartości $0,92 \mu gN/m^3$, najniższej z obserwowanych na tej stacji. W rejonie Puszczy Boreckiej przez wiele lat do 2007 roku wartości kształtowały się na poziomie podobnym jak w Łebie, następnie - począwszy od 2007 roku do 2011 roku, obserwowany był ponad dwukrotny wzrost stężenia $N-(NH_3+NH_4^+)$ od $1,03 \mu gN/m^3$ do $2,47 \mu gN/m^3$, następnie stopniowy spadek do roku 2016, w latach 2017-2018 znowu wzrost, a w następnych latach ponowny spadek. W latach 2008-2024 średnie roczne wartości stężenia $N-(NH_3+NH_4^+)$ w rejonie północno-wschodnim były wyższe niż w Łebie. Średnio w wieloleciu 1994-2023 najwyższe stężenie sumy związków amonowych obserwowano w Jarczewie - $2,84 \mu gN/m^3$, niższe w rejonie Puszczy Boreckiej - $1,66 \mu gN/m^3$ i w Łebie $1,41 \mu gN/m^3$. W stosunku do roku 1994 wartości stężenia sumy związków amonowych były mniejsze w rejonie nadmorskim (o 11%) i w Jarczewie (o 24%), natomiast w rejonie Puszczy Boreckiej kształtowały się na poziomie z 1994 roku.

Podobny przebieg wykazuje stężenie aerozolu azotu amonowego $N-NH_4^+$, oznaczanego tylko na stacjach IMGW-PIB. Na obu stacjach nizinnych obserwowano nieznaczną zmienność elementu z roku na rok. Po roku 2011 widoczny był spadek stężenia w rejonie Jarczewa i nieco mniejszy na stacji nadmorskiej. Od 2016 roku przebieg na obu stacjach był podobny, przy czym wartości z Jarczewa były wyższe o ok. $0,2-0,3 \mu gN/m^3$ od występujących w Łebie. W ostatnich dwóch latach wartości z Jarczewa i stacji nadmorskiej zbliżyły się do siebie. W 2023 roku stężenie wyniosło $0,59 \mu gN/m^3$ w Jarczewie i $0,45 \mu gN/m^3$ w Łebie i były to wartości najniższe w historii badań na tych stacjach. W 2024 roku stężenie było nieznacznie wyższe, wyniosło

odpowiednio $0,62 \mu\text{gN}/\text{m}^3$ i $0,51 \mu\text{gN}/\text{m}^3$. Średnie wieloletnie z okresu 1994-2023 wyniosły dla tych stacji odpowiednio: $1,40 \mu\text{gN}/\text{m}^3$ i $0,95 \mu\text{gN}/\text{m}^3$.

Stężenie jonów chlorkowych w aerozolu atmosferycznym, badane jedynie na stacjach IMGW-PIB, wykazuje na stacjach nizinnych w przebiegu wieloletnim zmienność z roku na rok oraz słabą tendencję spadkową. W przebiegu wieloletnim (1994- 2023) średnie stężenie jonu chlorkowego na stacji nadmorskiej ($1,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$) było wyższe niż w Jarczewie ($0,96 \mu\text{g}/\text{m}^3$). W roku 2024 średnie roczne wartości stężenia na obu stacjach zbliżyły się i wyniosły $0,46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ w Łebie oraz $0,35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ w Jarczewie.

W 2024 roku średnio największe wartości stężenia ozonu obserwowano na stacji w Szymbarku (średnia roczna $57,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$), nieznacznie niższe na stacji Puszcza Borecka ($56,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) i na stacji nadmorskiej ($55,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$), a najniższe w Jarczewie ($49,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Wartości stężenia ozonu wykazują nieznaczne zmiany wieloletnie. Przebiegi zmienności stężenia ozonu na stacjach nizinnych i na stacji w Szymbarku, do 2016 roku, są bardzo do siebie podobne. Dla stacji nizinnych obserwowano ok. 3-4-letnią cykliczność wahań. Na stacji w Szymbarku poziom stężenia w ostatnich latach, od 2017 roku, jest bardzo wyrównany i wynosi $55,7$ - $58,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. W latach 2010-2014 średnie roczne wartości stężenia na stacjach tła zlokalizowanych w rejonie Polski północnej (Łeba, Puszcza Borecka), ale również na stacji w Szymbarku były niemal identyczne. W 2020 roku w Jarczewie odnotowano najniższe średnie roczne stężenie w okresie obserwacyjnym, zarazem najniższe ze wszystkich analizowanych stacji. W kolejnych latach wartości stężenia ozonu w Jarczewie nieco wzrosły, lecz nadal utrzymywały się na poziomie niższym niż na pozostałych stacjach. W ostatnich dwóch latach wartości w Łebie, na stacji Puszcza Borecka i w Szymbarku praktycznie zrównały się ze sobą. Średnie roczne wartości stężenia ozonu w warstwie przyziemnej w roku 2024 były w rejonach badań niższe niż w okresie wieloletnim 1996-2023 o 11,5% w Łebie, o 5,8% w Jarczewie i o 2% na stacji Puszcza Borecka. Na stacji w Szymbarku stężenie ozonu w 2024 roku było o 1,9% wyższe niż średnio w latach 2008-2023.

Tabela 5. Zanieczyszczenie powietrza na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2024 (wartości średnie arytmetyczne)

Rok	Jarczew								
	S-SO ₂	N-NO ₂	O ₃	S-SO ₄ ²⁻	N-NO ₃ ⁻	N-(HNO ₃ +NO ₃ ⁻)	N-NH ₄ ⁺	N-(NH ₃ +NH ₄ ⁺)	Cl
	stężenie roczne [µg/m ³]								
1994	4,0	2,9	x	2,34	0,71	0,82	2,36	3,73	1,46
1995	4,1	2,9	x	1,97	0,67	0,86	1,92	3,23	1,39
1996	4,3	2,7	56,0	2,35	0,75	1,00	1,99	3,43	1,15
1997	3,5	3,0	50,0	2,27	0,68	0,83	1,54	3,37	1,63
1998	3,1	2,5	55,0	1,63	0,67	0,79	1,62	2,70	1,39
1999	2,8	2,7	53,0	1,64	0,68	0,83	1,63	2,85	1,07
2000	2,2	3,0	57,0	1,58	0,61	0,78	1,57	2,38	1,49
2001	2,3	2,8	54,0	1,48	0,64	0,78	1,65	2,83	1,03
2002	2,5	3,2	58,0	1,39	0,71	0,84	1,71	2,85	0,90
2003	2,4	3,1	57,0	1,65	0,77	0,92	1,85	3,17	1,14
2004	2,2	2,8	54,0	1,37	0,70	0,81	1,63	2,63	1,24
2005	2,2	2,7	56,0	1,58	0,71	0,84	1,59	2,86	1,18
2006	2,3	3,1	59,0	1,81	0,86	1,00	2,05	3,45	1,26
2007	2,0	3,2	53,0	1,60	0,65	0,82	1,55	2,97	1,17
2008	1,8	3,0	52,0	1,52	0,60	0,71	1,37	2,95	0,91
2009	1,4	2,7	52,0	1,48	0,53	0,64	1,30	2,50	0,93
2010	1,6	3,0	56,0	1,49	0,67	0,79	1,33	3,00	0,88
2011	1,5	3,1	53,0	1,35	0,70	0,84	1,53	2,94	0,93
2012	1,2	2,9	54,0	1,15	0,64	0,75	1,52	3,04	0,89
2013	1,1	2,8	56,0	0,99	0,60	0,74	1,39	2,74	0,82
2014	1,0	2,3	48,0	1,16	0,59	0,69	1,20	2,73	0,63
2015	1,2	2,2	52,0	1,14	0,52	0,70	1,04	2,88	0,76
2016	0,9	2,0	45,0	0,96	0,43	0,57	0,88	2,54	0,61
2017	1,0	2,2	45,6	1,20	0,57	0,67	0,96	2,44	0,67
2018	0,8	2,0	53,2	1,03	0,51	0,61	0,98	2,78	0,75
2019	0,7	2,2	49,9	0,99	0,45	0,54	0,89	2,68	0,59
2020	0,6	2,2	41,0	0,88	0,44	0,52	0,87	2,41	0,61
2021	0,7	2,4	44,8	0,97	0,46	0,55	0,78	2,34	0,61
2022	0,7	2,3	45,5	0,69	0,37	0,46	0,68	2,35	0,44
2023	0,4	2,3	49,4	0,44	0,31	0,46	0,59	2,35	0,38
2024	0,4	2,3	49,1	0,49	0,34	0,49	0,62	2,84	0,35

x – brak pomiarów

Rok	Łeba								
	S-SO ₂	N-NO ₂	O ₃	S-SO ₄ ²⁻	N-NO ₃ ⁻	N-(HNO ₃ +NO ₃ ⁻)	N-NH ₄ ⁺	N-(NH ₃ +NH ₄ ⁺)	Cl ⁻
	stężenie średnie roczne [µg/m ³]								
1994	2,9	1,6	x	1,87	0,54	x	1,50	x	1,30
1995	3,1	1,8	x	1,81	0,50	0,64	1,31	1,59	1,33
1996	3,0	2,1	62,0	2,00	0,60	0,83	1,50	1,81	1,17
1997	2,0	2,0	64,0	1,33	0,53	0,66	1,08	1,60	1,44
1998	1,6	1,7	67,0	1,21	0,51	0,58	1,01	1,37	1,34
1999	1,5	1,4	68,0	1,22	0,47	0,54	1,03	1,61	1,20
2000	1,3	1,7	61,0	1,24	0,53	0,65	1,09	1,47	1,50
2001	1,5	1,4	64,0	1,59	0,53	0,61	1,15	1,42	1,01
2002	1,3	1,6	66,0	1,42	0,56	0,67	1,25	1,76	1,17
2003	1,8	1,7	67,0	1,52	0,55	0,66	1,13	x	1,12
2004	1,3	1,7	60,0	1,20	0,44	0,55	0,97	1,39	1,17
2005	1,2	1,7	62,0	1,30	0,48	0,63	1,02	1,56	1,33
2006	1,3	1,9	65,0	1,35	0,57	0,75	1,17	1,60	1,11
2007	1,1	1,6	69,0	1,23	0,41	0,54	0,90	1,28	1,26
2008	1,0	1,6	62,0	1,35	0,44	0,55	0,84	1,25	1,12
2009	1,1	1,5	61,0	1,27	0,42	0,53	0,91	1,24	1,09
2010	1,2	1,7	62,0	1,24	0,51	0,63	0,86	1,34	1,10
2011	0,8	1,5	60,0	1,24	0,58	0,72	1,04	1,43	1,12
2012	0,8	1,5	58,5	0,99	0,46	0,56	0,96	1,46	0,94
2013	0,7	1,2	63,0	0,93	0,39	0,49	0,99	1,55	0,96
2014	0,7	1,3	59,0	1,01	0,48	0,58	0,97	1,56	0,93
2015	0,7	1,4	63,0	0,93	0,45	0,53	0,76	1,43	1,03
2016	0,7	1,5	59,0	0,90	0,40	0,47	0,71	1,32	0,77
2017	0,7	1,3	61,2	1,08	0,42	0,50	0,75	1,29	0,82
2018	0,6	1,6	64,1	0,92	0,44	0,57	0,74	1,39	0,75
2019	0,6	1,5	62,2	0,89	0,40	0,53	0,67	1,23	0,73
2020	0,6	1,3	59,0	0,82	0,34	0,45	0,55	1,12	0,81
2021	0,6	1,4	63,1	0,71	0,32	0,43	0,52	1,15	0,69
2022	0,6	1,2	57,2	0,68	0,30	0,44	0,53	1,32	0,61
2023	0,3	1,1	57,9	0,40	0,26	0,34	0,45	0,92	0,55
2024	0,4	1,1	55,2	0,46	0,27	0,36	0,51	1,41	0,46

x – brak pomiarów

Rok	Puszcza Borecka								
	S-SO ₂	N-NO ₂	O ₃	S-SO ₄ ²⁻	N-NO ₃ ⁻	N-(HNO ₃ +NO ₃ ⁻)	N-NH ₄ ⁺	N-(NH ₃ +NH ₄ ⁺)	Cl ⁻
	stężenie średnie roczne [µg/m ³]								
1994	2,4	1,0	x	1,20	x	0,50	x	1,72	x
1995	2,3	0,7	x	1,10	x	0,50	x	1,65	x
1996	2,5	1,1	65,0	1,70	x	0,80	x	1,80	x
1997	1,4	1,1	55,9	1,26	x	0,65	x	1,37	x
1998	1,5	0,6	59,3	1,30	x	0,60	x	1,24	x
1999	1,3	1,2	64,3	0,90	x	0,60	x	1,16	x
2000	1,0	1,0	59,4	0,80	x	0,50	x	1,39	x
2001	0,6	0,7	59,0	0,90	x	0,50	x	1,37	x
2002	0,8	0,8	61,7	0,88	x	0,58	x	1,78	x
2003	0,8	0,8	61,5	0,81	x	0,74	x	1,31	x
2004	0,7	0,7	54,3	0,70	x	0,70	x	1,58	x
2005	0,7	0,7	59,8	0,66	x	0,64	x	1,33	x
2006	0,9	0,6	63,1	0,80	x	0,70	x	1,51	x
2007	0,6	1,0	58,1	0,63	x	0,67	x	1,03	x
2008	0,6	0,8	53,7	0,61	x	0,81	x	1,52	x
2009	0,6	0,8	51,5	0,65	x	1,05	x	1,80	x
2010	0,6	1,1	62,2	0,66	x	0,85	x	2,01	x
2011	0,5	1,2	59,4	0,60	x	0,92	x	2,47	x
2012	0,5	1,3	58,4	0,58	x	1,27	x	2,34	x
2013	0,6	1,0	60,9	0,57	x	1,15	x	2,03	x
2014	0,6	1,4	58,3	0,67	x	1,37	x	2,25	x
2015	0,3	1,2	55,6	0,53	x	0,67	x	2,00	x
2016	0,2	1,1	50,3	0,54	x	0,58	x	1,45	x
2017	0,3	1,4	52,3	0,54	x	0,64	x	1,59	x
2018	0,3	1,2	55,5	0,56	x	0,60	x	2,03	x
2019	0,3	1,3	57,2	0,47	x	0,50	x	1,80	x
2020	0,2	1,0	51,3	0,39	x	0,50	x	1,46	x
2021*	0,3	1,2	52,1	0,49	x	0,53	x	1,62	x
2022*	0,3	1,2	50,3	0,46	x	0,56	x	1,50	x
2023*	0,2	1,0	56,1	0,38	x	0,39	x	1,79	x
2024*	0,3	0,9	56,2	0,45	x	0,44	x	1,72	x

x - stacja nie prowadzi pomiarów tego wskaźnika

Rok	Szymbark								
	S-SO ₂	N-NO ₂	O ₃	S-SO ₄ ²⁻	N-NO ₃ ⁻	N-(HNO ₃ +NO ₃ ⁻)	N-NH ₄ ⁺	N-(NH ₃ +NH ₄ ⁺)	Cl ⁻
	stężenie średnie roczne [µg/m ³]								
1994	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1995	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1996	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1997	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1998	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1999	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2000	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2001	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2002	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2003	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2004*				x	x	x	x	x	x
2005*				x	x	x	x	x	x
2006*				x	x	x	x	x	x
2007*				x	x	x	x	x	x
2008*	2,1	1,9	54,8	x	x	x	x	x	x
2009*	1,9	2,3	54,1	x	x	x	x	x	x
2010*	2,6	2,9	53,7	x	x	x	x	x	x
2011*	1,7	2,4	58,3	x	x	x	x	x	x
2012*	2,5	2,3	57,8	x	x	x	x	x	x
2013*	1,9	2,2	60,3	x	x	x	x	x	x
2014*	1,3	1,7	54,6	x	x	x	x	x	x
2015*	1,6	1,9	57,0	x	x	x	x	x	x
2016*	1,7		50,8	x	x	x	x	x	x
2017*	1,7	2,1	58,0	x	x	x	x	x	x
2018*	1,7	1,8	58,6	x	x	x	x	x	x
2019*	1,4	1,4	57,6	x	x	x	x	x	x
2020*	1,3	1,0	57,6	x	x	x	x	x	x
2021*	1,3	1,6	58,1	x	x	x	x	x	x
2022*	1,2	1,5	58,7	x	x	x	x	x	x
2023*	1,1	1,2	55,7	x	x	x	x	x	x
2024*	1,1	1,2	57,7	x	x	x	x	x	x

*pomiaru automatyczne, prowadzone w ramach PMŚ; stacja włączona do EMEP od 2024 r.

dane nieuwzględnione w analizie, uznane przez GIOŚ za niewiarygodne

x - stacja nie prowadzi pomiarów tego wskaźnika

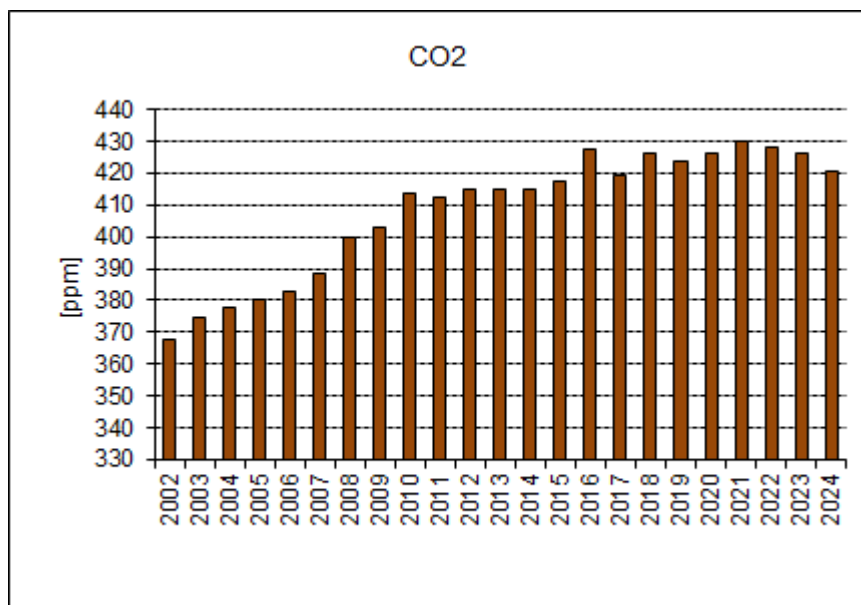
5.3. Dwutlenek węgla

Stężenie dwutlenku węgla mierzone jest jedynie na stacji Puszcza Borecka. Średnie roczne stężenia dwutlenku węgla wykazują od 2002 roku stałą tendencję wzrostową, wyhamowaną w ostatnich latach. Stężenia roczne CO₂, wahając się w ostatniej dekadzie w granicach 419-431 ppm, osiągnęły ustabilizowany (około 425 ppm), ale najwyższy poziom w historii pomiarów na stacji (absolutne maksimum w 2021 roku).

W 2024 roku średnie roczne stężenie dwutlenku węgla wyniosło 420,8 ppm i osiągnęło jedną z najwyższych wartości w okresie 2002-2024. Było niższe o 1% niż w roku poprzednim, ale wyższe od średniej z wielolecia 2002-2023 o 3% (tabela 6, rysunek 7).

Tabela 6. Średnie roczne stężenie dwutlenku węgla na stacji Puszcza Borecka w latach 2002- 2024

Rok	CO ₂ [ppm]
2002	367,9
2003	374,4
2004	377,5
2005	380,4
2006	382,7
2007	388,5
2008	399,6
2009	402,9
2010	413,9
2011	412,5
2012	414,8
2013	414,7
2014	414,8
2015	417,2
2016	427,7
2017	419,1
2018	426,4
2019	423,6
2020	426,4
2021	430,1
2022	427,9
2023	426,4
2024	420,8

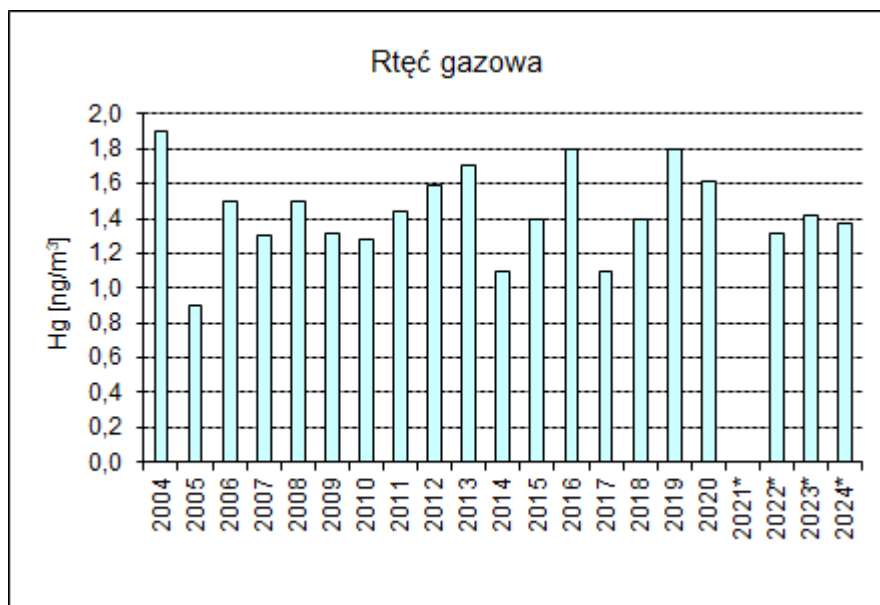


Rysunek 7. Średnie roczne stężenie dwutlenku węgla na stacji Puszcza Borecka w latach 2002- 2024

5.4. Rtęć gazowa

W ramach programu EMEP pomiary stężenia rtęci gazowej w Polsce są wykonywane jedynie na stacji Puszcza Borecka.

Średnie roczne stężenie rtęci gazowej (na podstawie pomiarów automatycznych) osiągnęło w 2024 roku jedną z niższych wartości, niższą o 5% od średniej w okresie 2004-2023 (z wyników uzyskanych z pomiarów prowadzonych do roku 2020 raz w tygodniu w losowo wybranym dniu, metodą manualną) i niższą o 4% w stosunku do wartości z poprzedniego roku (uzyskanej z pomiarów prowadzonych metodą automatyczną; unieważniono serię z 2021 roku, tj. pierwszego roku pomiarów automatycznych). W wieloleciu średnie roczne stężenia Hg w powietrzu oscylowały wokół 1,40 ng/m³.



*pomiaru automatyczne; seria pomiarów Hg z Puszczy Boreckiej z 2021 roku została unieważniona

Rysunek 8. Średnie roczne stężenie rtęci gazowej na stacji Puszcza Borecka w latach 2004- 2024

Tabela 7. Średnie roczne stężenie rtęci gazowej na stacji Puszcza Borecka w latach 2004- 2024

Rok	Hg [ng/m ³]
2004	1,90
2005	0,90
2006	1,50
2007	1,30
2008	1,50
2009	1,32
2010	1,28
2011	1,45
2012	1,59
2013	1,70
2014	1,10
2015	1,40
2016	1,80
2017	1,10
2018	1,40
2019	1,80
2020	1,61
2021	-
2022	1,31*
2023	1,42*
2024	1,37*

* pomiary automatyczne; seria pomiarów Hg z Puszczy Boreckiej z roku 2021 została unieważniona

5.5. Pył zawieszony

5.5.1. Stężenie pyłu

Badania stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ i PM_{2,5} prowadzone są na stacji Puszcza Borecka (pomiar PM₁₀ rozpoczęto w 2005 roku, a PM_{2,5} – w 2009 roku) i na stacji Zielonka (w ramach stowarzyszenia z EMEP od 2015 roku, przy czym seria dla PM_{2,5} z roku 2015 została unieważniona z powodu zbyt niskiej kompletności). Pomiar stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ prowadzone są również na stacji w Szymbarku, włączonej do sieci EMEP od 2024 roku, przy czym do niniejszej analizy wykorzystano dane od roku 2018.

Na rysunku 9 i w tabeli 8 przedstawiono wartości średnie roczne stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀ i PM_{2,5} uzyskane na wymienionych stacjach. Od roku 2008 wyniki podawane są dla warunków otoczenia (w poprzednich latach w odniesieniu do temperatury 20°C i ciśnienia 101,3 kPa).

Średnie roczne stężenie pyłu PM₁₀ na stacji Puszcza Borecka w 2024 roku wyniosło 13,7 µg/m³ i było o 16% wyższe niż w roku 2023, ale o 15% niższe od średniej z okresu 2005-2023. Średnie roczne wartości stężenia pyłu PM₁₀ osiągnęły największe wartości w latach 2005, 2006, 2010 i 2014 (ok. 20 µg/m³).

W latach 2009-2024 średnie roczne wartości stężenia pyłu PM_{2,5} układały się podobnie, jak pyłu PM₁₀ (poza rokiem 2012, gdy awaria pobornika pyłu PM₁₀ w okresie występowania wysokich stężeń pyłu mogła doprowadzić do zaniżenia wartości średniej rocznej). W roku 2024 stężenie pyłu zawieszonego PM_{2,5} wyniosło 9,7 µg/m³ i osiągnęło wartość wyższą niż rok wcześniej (o 12%), ale niższą niż średnia z lat 2009-2023 (o 18%).

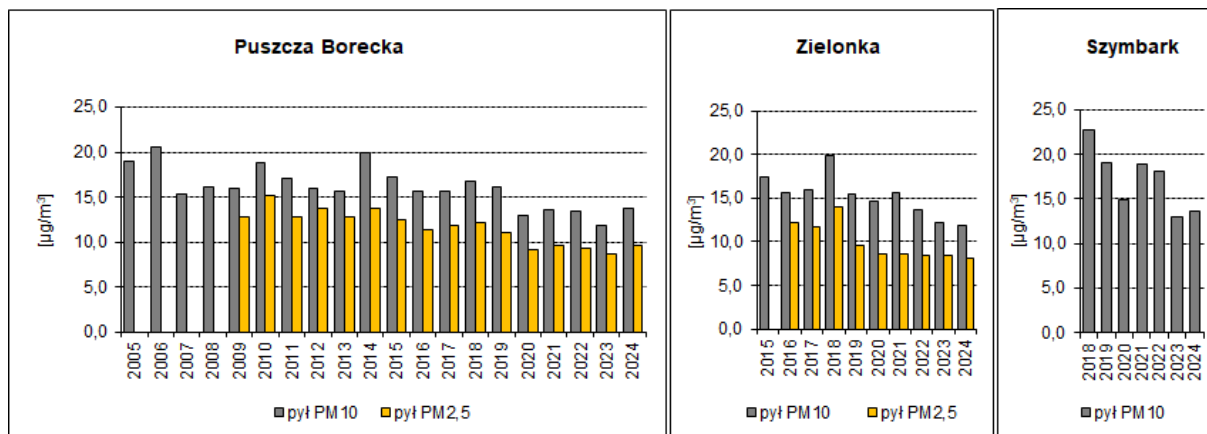
Na stacji Zielonka średnie roczne wartości stężenia pyłu PM₁₀ w latach 2015-2017 były zbliżone do mierzonych na stacji Puszcza Borecka, a w 2018 roku wzrosły do 19,8 µg/m³, tj. do wartości o 18% wyższej niż na stacji Puszcza Borecka. W następnych latach wartości na obu stacjach malały, lecz wartości na stacji w Zielonce były wyższe niż na stacji Puszcza Borecka. W 2024 roku stężenie PM₁₀ na stacji Zielonka wyniosło 11,9 µg/m³ i było najniższe z dotychczas obserwowanych na tej stacji. Było zarazem niższe o 1,6% od wartości z 2023 roku i niższe od średniej wieloletniej z okresu 2015-2023 o 23,7%. Stężenie pyłu PM_{2,5} na stacji Zielonka od 2019 roku kształtuje się na poziomie niższym niż na stacji Puszcza Borecka. W roku 2024 na stacji Zielonka wyniosło 8,1 µg/m³ i było niższe niż w 2022 i 2023 roku o 3,6% i niższe od średniej wieloletniej 2016-2023 o 20,6%, a zarazem niższe niż na stacji Puszcza Borecka o 16,5%.

Stężenie pyłu zawieszonego PM₁₀ na stacji w Szymbarku w latach 2018-2024 było wyższe niż na obu stacjach. Średnie roczne wartości stężenia pyłu PM₁₀ osiągnęły tu najwyższe wartości w latach 2018, 2019, 2021 i 2022, a najniższą w 2023 roku. W 2024 roku stężenie PM₁₀ wyniosło 13,6 µg/m³, było wyższe niż rok wcześniej o 3,8%, a zarazem o 23,6% niższe niż średnio w latach 2018-2023.

W roku 2024 poziom dopuszczalny dla wartości 24-godzinnej pyłu zawieszonego PM₁₀ (50 µg/m³) na stacji Puszcza Borecka został przekroczony jeden raz, w Zielonce dwa razy, a w Szymbarku trzy razy. Największa liczba dni z przekroczeniami poziomu

dopuszczalnego stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ miała miejsce na stacji Puszcza Borecka w 2006 roku (12), w Zielonce w 2017 i 2018 roku (po 13 razy), w Szymbarku w 2018 roku (16 razy).

Udział pyłu PM_{2,5} w PM₁₀ był, z wyjątkiem roku 2016, większy w Puszczy Boreckiej niż w Zielonce. Średni udział dla wspólnego okresu badań (2016-2024) wynosi 71,7% na stacji Puszcza Borecka i 66,2% w Zielonce.



Rysunek 9. Średnie roczne stężenie pyłu zawieszonego PM₁₀ i PM_{2,5} na stacjach Puszcza Borecka w latach 2005-2024, Zielonka w latach 2015-2024 i Szymbark (tylko PM₁₀) w latach 2018-2024

Tabela 8. Średnie roczne stężenie pyłu zawieszonego PM10 i PM2,5 na stacjach Puszcza Borecka w latach 2005-2024, Zielonka w latach 2015-2024 i Szymbark (tylko PM10) w latach 2018-2024

Puszcza Borecka				Zielonka				Szymbark	
Rok	pył PM10	pył PM2,5	udział PM2,5 w PM10	Rok	pył PM10	pył PM2,5	udział PM2,5 w PM10	Rok	pył PM10
	g/m ³	µg/m ³	%		µg/m ³	µg/m ³	%		µg/m ³
2005	19,0	x	x				x		
2006	20,6	x	x				x		
2007	16,0	x	x				x		
2008	16,1	x	x				x		
2009	16,3	12,8	78,7				x		
2010	18,8	15,2	81,2				x		
2011	17,0	12,8	75,1				x		
2012	16,0	13,8	86,3				x		
2013	15,7	12,8	81,8				x		
2014	20,0	13,8	69,3				x		
2015	17,3	12,5	72,3	2015	17,5	-	x		
2016	15,7	11,4	72,6	2016	15,6	12,2	78,1		
2017	15,6	11,8	75,6	2017	16,0	11,7	73,1		
2018	16,8	12,1	72,0	2018	19,8	13,9	70,3	2018	22,7
2019	16,1	11,1	69,1	2019	15,4	9,6	62,6	2019	19,0
2020	12,9	9,1	70,7	2020	14,7	8,6	58,4	2020	14,9
2021	13,6	9,7	71,3	2021	15,7	8,7	55,3	2021	18,9
2022	13,4	9,3	69,2	2022	13,7	8,4	61,1	2022	18,1
2023	11,8	8,7	73,7	2023	12,1	8,4	69,2	2023	13,1
2024	13,7	9,7	71,1	2024	11,9	8,1	67,8	2024	13,6

5.5.2. Metale ciężkie w pyłe PM10

W 2024 roku na stacji Puszcza Borecka i na stacji Zielonka oznaczano w pyłe PM10 wybrane metale ciężkie: As, Cd, Ni i Pb oraz wybrane wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA): benzo(a)antracen, benzo(j)fluoranten, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(a)piren, dibenzo(a,h)antracen i indeno(1,2,3cd)piren.

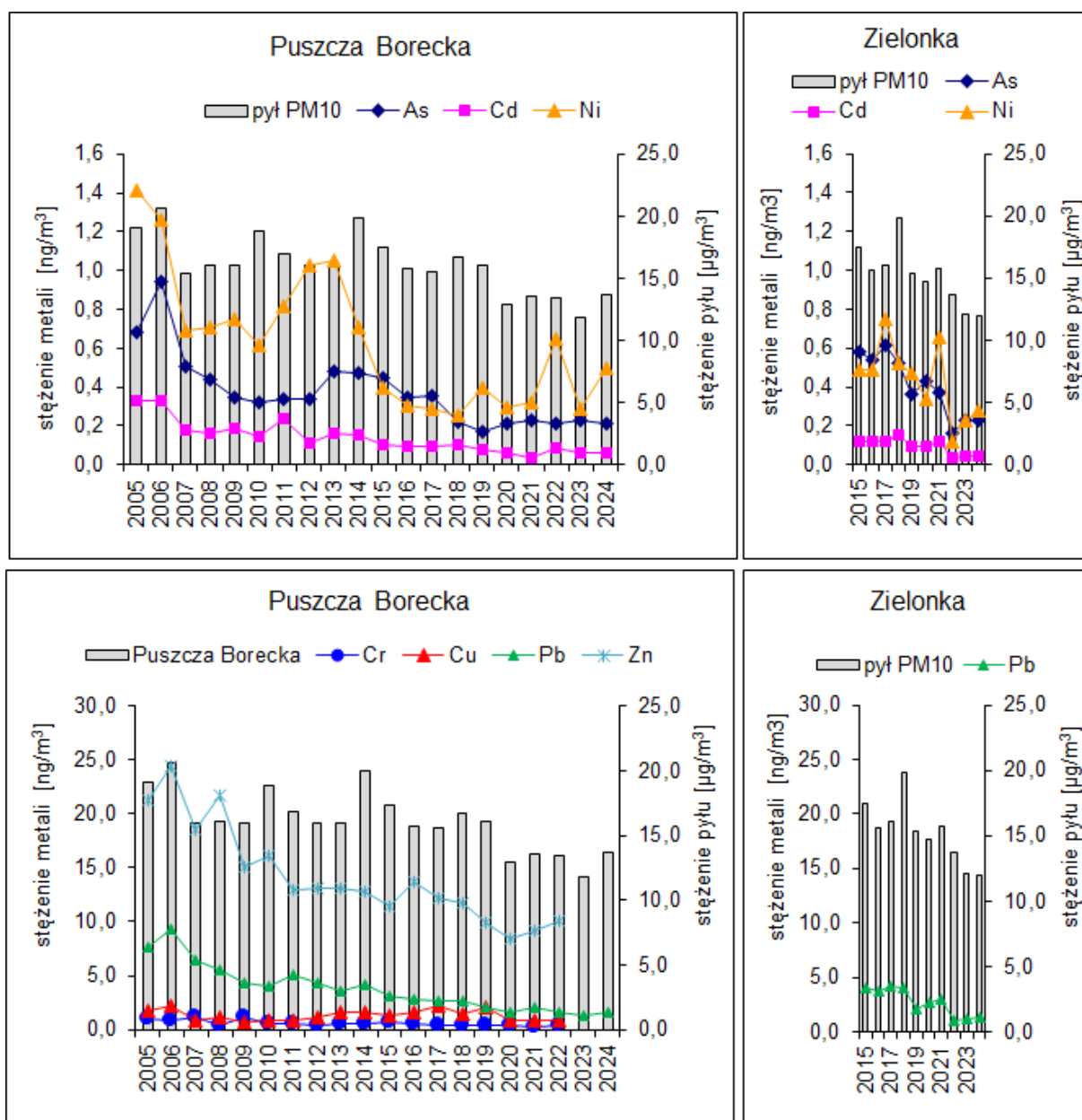
Zawartość metali ciężkich w pyłe PM10 na stacji Puszcza Borecka monitorowana jest od 2005 roku, a od 2015 roku dysponujemy także danymi z Zielonki (rysunek 10, tabela 9). Na stacji Puszcza Borecka do końca 2022 roku oznaczano w pyłe, poza wymienionymi metalami ciężkimi, jeszcze Cr, Cu i Zn, ale w dwóch ostatnich latach ograniczono zakres badań do czterech metali ciężkich. Na stacji Puszcza Borecka spośród badanych metali w największych ilościach występował w pyłe ołów, którego stężenie w 2024 roku wyniosło 1,59 ng/m³. Mniejsze stężenia były obserwowane dla niklu (0,50 ng/m³) oraz dla arsenu (0,21 ng/m³). Najmniej występowało w pyłe kadmu (0,06 ng/m³). W stosunku do wartości z roku 2023 odnotowano wzrost stężenia ołowiu i niklu, stężenie kadmu pozostało na poziomie z poprzedniego roku, a stężenie arsenu zmalało. W stosunku do wartości średnich z wielolecia 2005-2023 średnie stężenia wszystkich badanych w 2024 roku metali były mniejsze. Spadek wyniósł od 59% (Cd i Pb), przez 46% (As) po 22% (Ni), przy zmniejszeniu średniego rocznego stężenia pyłu zawieszonego PM10 o 15% w stosunku do wartości średniej z wielolecia.

Największe wartości stężenia większość badanych metali osiągnęła w latach 2005 i 2006.

Na stacji w Zielonce wyższe niż rok wcześniej były stężenia w pyle PM10 ołowiu, niklu i kadmu, a poziom arsenu był taki sam jak rok wcześniej. W stosunku do średniej z okresu 2015-2023 stężenie wszystkich metali ciężkich było niższe.

Obserwowane stężenia metali ciężkich na stacji w Zielonce przez wiele lat do 2021 roku włącznie były wyższe niż na stacji Puszcza Borecka, po czym w kolejnych latach w przypadku niklu, kadmu i ołowiu sytuacja się odwróciła i stężenia na stacji Puszcza Borecka dominowały nad tymi z Zielonki. Stężenie arsenu natomiast było wyższe w Puszczy Boreckiej w roku 2022, w 2023 roku zrównało się z tym z Zielonki, a w 2024 roku było niższe.

Na ogół stężenie metali jest skorelowane ze stężeniem pyłu.



Rysunek 10. Średnie roczne stężenie metali ciężkich na tle stężeń pyłu PM10 na stacji Puszcza Borecka w latach 2005-2024 i na stacji Zielonka w latach 2015-2024

Tabela 9. Średnie roczne stężenie metali ciężkich w pyłe PM10 na stacji Puszcza Borecka w latach 2005-2024 i na stacji Zielonka w latach 2015-2024

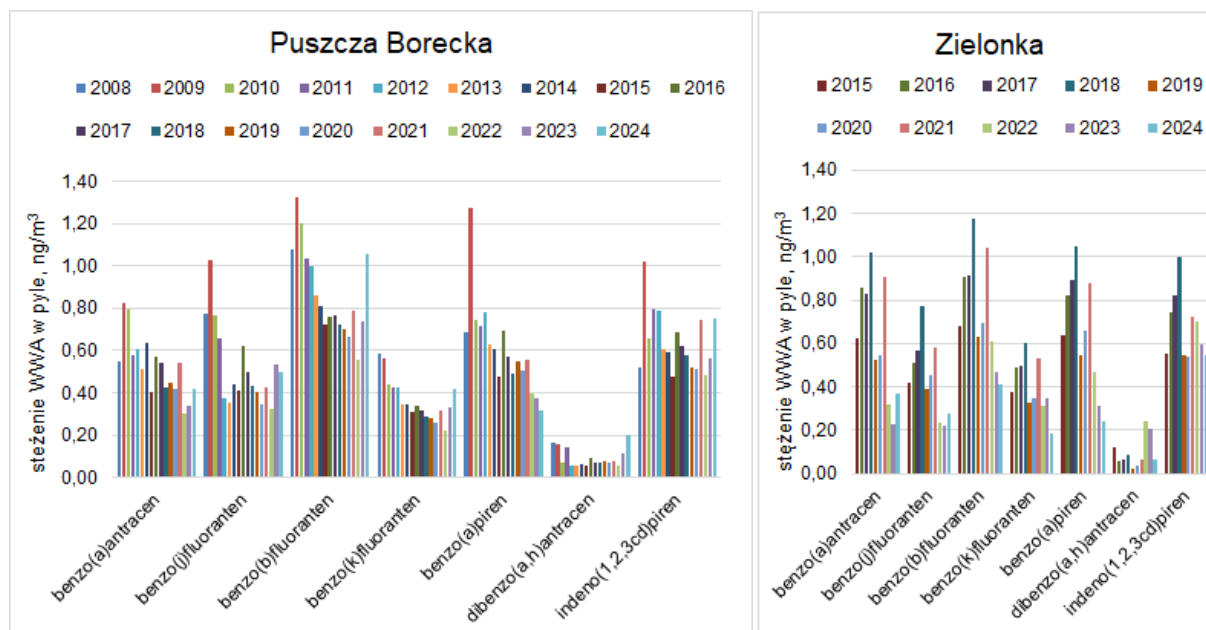
Puszcza Borecka								
Rok	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	pył PM10
	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[μg/m ³]	[ng/m ³]	[μg/m ³]
2005	0,69	0,33	1,05	1,79	1,41	0,00767	21,27	19,1
2006	0,94	0,33	0,88	2,14	1,26	0,00932	24,50	20,6
2007	0,51	0,18	1,08	0,90	0,69	0,00639	18,55	15,9
2008	0,44	0,16	0,45	1,11	0,71	0,00548	21,76	16,1
2009	0,34	0,19	1,18	0,68	0,75	0,00432	15,03	16,0
2010	0,32	0,14	0,48	0,86	0,62	0,00404	16,10	18,8
2011	0,34	0,23	0,55	0,80	0,81	0,00516	12,91	16,9
2012	0,34	0,11	0,46	1,21	1,02	0,00439	13,02	16,0
2013	0,48	0,17	0,61	1,56	1,05	0,00354	13,04	15,9
2014	0,48	0,15	0,60	1,61	0,71	0,00414	12,79	19,9
2015	0,44	0,11	0,63	1,34	0,40	0,00304	11,38	17,4
2016	0,35	0,09	0,51	1,62	0,30	0,00285	13,78	15,8
2017	0,36	0,10	0,38	2,23	0,29	0,00264	12,15	15,5
2018	0,22	0,10	0,45	1,41	0,25	0,00260	11,76	16,7
2019	0,17	0,08	0,45	2,08	0,40	0,00201	9,97	16,1
2020	0,21	0,06	0,39	0,84	0,30	0,00163	8,35	12,9
2021	0,23	0,04	0,29	0,81	0,32	0,00199	9,13	13,6
2022	0,21	0,09	0,35	0,92	0,65	0,00164	10,12	13,4
2023	0,23	0,06	x	x	0,29	0,00134	x	11,8
2024	0,21	0,06	x	x	0,50	0,00159	x	13,7
Zielonka								
Rok	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	pył PM10
	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[μg/m ³]	[ng/m ³]	[μg/m ³]
2015	0,58	0,12	x	x	0,49	0,00402	x	17,5
2016	0,53	0,12	x	x	0,49	0,00377	x	15,6
2017	0,62	0,12	x	x	0,75	0,00424	x	16,0
2018	0,52	0,15	x	x	0,52	0,00406	x	19,8
2019	0,36	0,09	x	x	0,47	0,00215	x	15,4
2020	0,43	0,10	x	x	0,34	0,00272	x	14,7
2021	0,37	0,12	x	x	0,66	0,00300	x	15,7
2022	0,16	0,03	x	x	0,12	0,00108	x	13,7
2023	0,23	0,04	x	x	0,23	0,00126	x	12,1
2024	0,23	0,05	x	x	0,28	0,00137	x	11,9

średnie stężenie pyłu obliczone na podstawie wartości tygodniowych, odpowiadających okresom zbierania próbek do oznaczania metali ciężkich (tygodniowych łączonych z dobowych)

x - stacja nie prowadzi pomiarów tego wskaźnika

5.5.3. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w pyłe PM₁₀

Zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych była badana w pyłe zawieszonym PM₁₀ na stacji Puszcza Borecka od 2008 roku, a od 2015 roku na stacji Zielonka.



Rysunek 11. Średnie roczne wartości stężenia wybranych WWA w pyłe PM₁₀ na stacji Puszcza Borecka w latach 2008-2024 i na stacji Zielonka w latach 2015-2024

Spośród oznaczanych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych na stacji Puszcza Borecka w największych ilościach występowały w powietrzu w latach wcześniejszych benzo(b)fluoranten, indeno(1,2,3-cd)piren i benzo(a)piren. Średnie stężenie wymienionych WWA w okresie 2008-2023 wyniosło odpowiednio 0,86 ng/m³, 0,64 ng/m³ i 0,63 ng/m³. W ostatnich dwóch latach na trzecim miejscu znalazł się benzo(j)fluoranten, a benzo(a)piren ze stężeniem 0,31 ng/m³ znalazł się w 2024 roku na miejscu przedostatnim wśród obserwowanych WWA. Najmniejszą wartość średnią roczną stężenia stwierdzono w 2024 roku, podobnie jak w latach wcześniejszych, w przypadku dibenzo(a,h)antracenu (0,199 ng/m³, przy średniej wieloletniej wynoszącej 0,087 ng/m³).

W stosunku do wartości średniej z poprzednich lat (2008-2023) stężenie sumy WWA było w 2024 roku o 2% wyższe, a w stosunku do 2023 roku o 22% wyższe. Odnotowano zwiększenie średnich rocznych wartości stężenia czterech spośród siedmiu badanych WWA. Względne różnice stężeń w stosunku do wartości średnich z wielolecia osiągnęły od -50% dla benzo(a)pirenu, przez -22% dla benzo(a)antracenu i -5% dla benzo(j)fluorantenu, 16% dla benzo(k)fluorantenu, 19% dla indeno(1,2,3-cd)pirenu i 23% dla benzo(b)fluorantenu po 128% dla dibenzo(a,h)antracenu. Bardzo wyraźnie zaznaczała się zmienność sezonowa stężeń poszczególnych WWA w powietrzu – znacząco wyższe wartości notowano w sezonie chłodnym.

Tabela 10. Średnie roczne stężenie wybranych WWA w pyłe PM10 na stacji Puszcza Borecka w latach 2008-2024 i na stacji Zielonka w latach 2015-2024

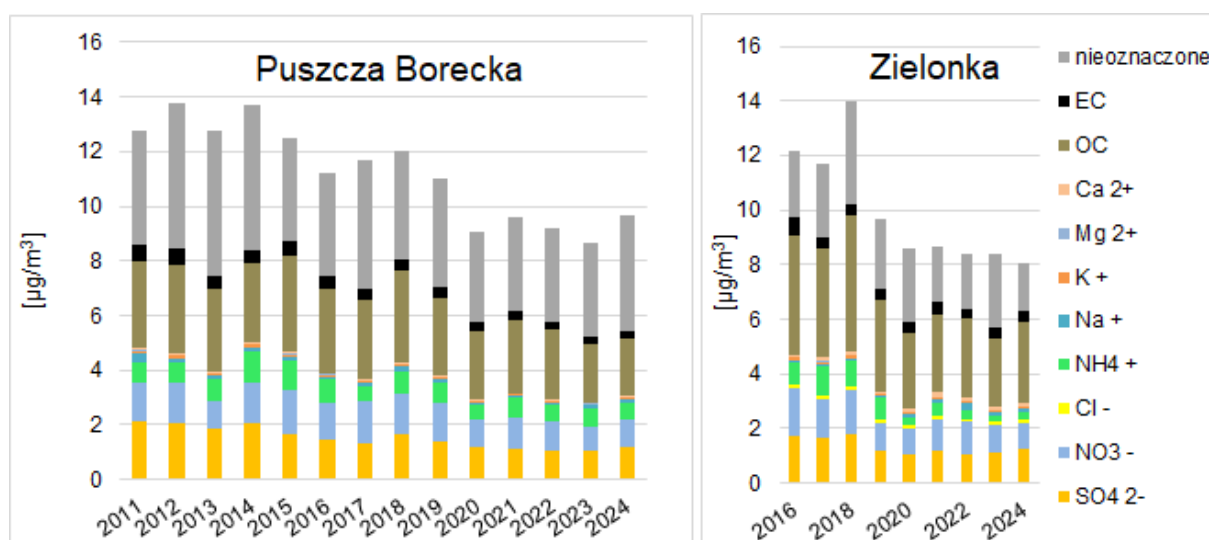
Puszcza Borecka									
Rok	benzo(a)antracen	benzo(j)fluoranten	benzo(b)fluoranten	benzo(k)fluoranten	benzo(a)piren	dibenzo(a,h)antracen	indeno(1,2,3cd)piren	Suma WWA	PM10
	[ng/m ³]								[μg/m ³]
2008	0,55	0,77	1,08	0,58	0,69	0,16	0,52	4,35	16,1
2009	0,82	1,03	1,33	0,56	1,28	0,16	1,02	5,94	16,3
2010	0,80	0,77	1,20	0,44	0,75	0,07	0,66	4,52	18,8
2011	0,58	0,66	1,03	0,43	0,72	0,14	0,79	4,33	17,0
2012	0,60	0,37	1,00	0,43	0,78	0,06	0,79	4,00	16,0
2013	0,51	0,35	0,86	0,34	0,63	0,05	0,61	3,35	15,7
2014	0,64	0,44	0,81	0,35	0,61	0,06	0,60	3,50	19,9
2015	0,40	0,41	0,72	0,31	0,47	0,05	0,48	2,85	17,4
2016	0,57	0,62	0,76	0,34	0,69	0,09	0,69	3,76	15,8
2017	0,54	0,50	0,77	0,32	0,57	0,07	0,62	3,39	15,6
2018	0,43	0,43	0,72	0,29	0,49	0,07	0,58	3,00	16,8
2019	0,44	0,41	0,70	0,28	0,55	0,08	0,52	2,98	16,1
2020	0,42	0,35	0,67	0,26	0,51	0,07	0,51	2,79	12,9
2021	0,54	0,43	0,79	0,31	0,56	0,08	0,74	3,45	13,6
2022	0,30	0,32	0,56	0,22	0,40	0,06	0,48	2,34	13,4
2023	0,34	0,53	0,73	0,33	0,37	0,11	0,56	2,99	11,8
2024	0,42	0,50	1,05	0,42	0,31	0,20	0,75	3,66	13,7
Zielonka									
Rok	benzo(a)antracen	benzo(j)fluoranten	benzo(b)fluoranten	benzo(k)fluoranten	benzo(a)piren	dibenzo(a,h)antracen	indeno(1,2,3cd)piren	Suma WWA	PM10
	[ng/m ³]								[μg/m ³]
2015	0,62	0,42	0,68	0,37	0,64	0,12	0,55	3,41	17,5
2016	0,85	0,51	0,91	0,49	0,82	0,06	0,74	4,39	15,6
2017	0,83	0,57	0,91	0,50	0,89	0,07	0,83	4,60	16,0
2018	1,02	0,77	1,18	0,60	1,05	0,09	1,00	5,71	19,8
2019	0,52	0,39	0,63	0,33	0,55	0,03	0,54	2,99	15,4
2020	0,55	0,46	0,69	0,35	0,66	0,04	0,54	3,28	14,7
2021	0,91	0,58	1,04	0,53	0,88	0,06	0,72	4,73	15,7
2022	0,32	0,23	0,61	0,31	0,47	0,24	0,70	2,89	13,7
2023	0,23	0,22	0,47	0,35	0,31	0,21	0,60	2,37	12,1
2024	0,37	0,28	0,41	0,19	0,24	0,06	0,55	2,10	11,9

średnie stężenie pyłu obliczone na podstawie wartości tygodniowych, odpowiadających okresom zbierania próbek do oznaczania WWA (tygodniowych łączonych z dobowych)

Na stacji Zielonka w 2024 roku najwięcej było w powietrzu indeno(1,2,3-cd)pirenu, benzo(b)fluorantenu i benzo(a)antracenu. Najmniej było dibenzo(a,h)antracenu. Znajdujący się przez wiele lat na miejscu trzecim wśród wszystkich mierzonych WWA benzo(a)piren znalazł się w 2024 roku, podobnie jak na stacji Puszcza Borecka, na miejscu przedostatnim. W porównaniu z rokiem poprzednim w Zielonce zmniejszyła się wartość stężenia wszystkich WWA, poza benzo(a)antracenenem i benzo(j)fluorantenem.

5.5.4. Składniki w pyłe PM_{2,5}

W pyłe PM_{2,5} ze stacji Puszcza Borecka i Zielonka oznaczano zawartość siarczanów (SO_4^{2-}), azotanów (NO_3^-), chlorków (Cl^-), jonów amonowych (NH_4^+), sodu (Na^+), potasu (K^+), wapnia (Ca^{2+}) i magnezu (Mg^{2+}) oraz węgla organicznego (OC) i elementarnego (EC). Na stacji Puszcza Borecka uwzględniono oznaczenia prowadzone od 2011 roku, w Zielonce – od 2015 roku. W tabeli 11 przedstawiono średnie roczne stężenia składników badanych w pyłe PM_{2,5} na stacji Puszcza Borecka w latach 2011- 2024, a w Zielonce od roku 2016, ponieważ w 2015 roku seria pomiarowa na tej stacji nie miała wymaganej kompletności.



Rysunek 12. Średnie roczne wartości stężenia składników badanych w pyłe PM_{2,5} na stacji Puszcza Borecka w latach 2011-2024 i na stacji Zielonka w latach 2016-2024

W składzie pyłu PM_{2,5} w największych ilościach występowały (rysunek 12) węgiel organiczny, oraz siarczany i azotany, jako zanieczyszczenia wtórne, stanowiące produkty przemiany tlenków siarki i azotu, w najmniejszych - jony magnezowe. Podobny rozkład składników obserwowany jest w pyłe zawieszonym PM_{2,5} z Zielonki, tzn. największy udział w pyłe PM_{2,5} mają siarczany i azotany, najmniejszy jony magnezowe. W kolejnych latach zmieniały się relacje pomiędzy stężeniami siarczanów i azotanów zarówno w Puszczy Boreckiej, jak i w Zielonce – raz jedno raz drugie jony odgrywały większą rolę w kształtowaniu składu pyłu.

Większość składników oznaczanych w pyłe zawieszonym PM_{2,5} (poza chlorkami, jonem amonowym i węglem organicznym) osiągnęła w 2024 roku wyższe stężenia średnie niż rok wcześniej, przy czym różnice sięgały kilku – kilkunastu procent. Jednocześnie

stężenia wszystkich badanych substancji były niższe od wartości średnich z okresu 2011-2023. W całym okresie badań stwierdzono, że w składzie pyłu zawieszonego PM_{2,5} dominuje węgiel organiczny, a na kolejnych miejscach znajdują się siarczany i azotany. Średnio około 37% przypada substancjom nieoznaczonym.

W Zielonce substancje nieoznaczone stanowią 25% pyłu.

Na stacji w Zielonce część badanych składników wykazała w porównaniu z rokiem poprzednim spadek stężenia - dotyczy to NO₃⁻, Cl⁻ i Na⁺. Na tym samym poziomie co rok wcześniej pozostał Mg²⁺. Stężenie pozostałych składników wzrosło – SO₄²⁻ o 14,9%, NH₄⁺ o 28,7%, K⁺ o 11,8% i Ca²⁺ o 19%. Stężenie wszystkich składników, poza K⁺ i Mg²⁺, było niższe w porównaniu do średniego z lat 2016-2023.

Tabela 11. Średnie roczne stężenie składników w pyłe PM_{2,5} na stacji Puszcza Borecka w latach 2011-2024 i na stacji Zielonka w latach 2016-2024

Puszcza Borecka											
Rok	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	OC	EC	PM _{2,5}
	[µg/m ³]								[µg/m ³]		[µg/m ³]
2011	2,105	1,434	0,055	0,779	0,294	0,109	0,018	0,080	3,20	0,60	12,8
2012	2,073	1,483	0,030	0,741	0,149	0,093	0,014	0,053	3,27	0,59	13,8
2013	1,831	1,032	0,017	0,793	0,134	0,079	0,011	0,041	3,05	0,51	12,8
2014	2,091	1,438	0,082	1,135	0,169	0,108	0,015	0,061	2,91	0,48	13,8
2015	1,649	1,661	0,056	1,012	0,151	0,113	0,016	0,083	3,53	0,49	12,6
2016	1,468	1,357	0,053	0,851	0,100	0,073	0,008	0,036	3,06	0,48	11,3
2017	1,333	1,510	0,127	0,597	0,118	0,064	0,010	0,040	2,93	0,40	11,8
2018	1,675	1,448	0,089	0,813	0,185	0,100	0,015	0,078	3,33	0,38	12,1
2019	1,394	1,422	0,104	0,746	0,128	0,071	0,010	0,055	2,80	0,39	11,1
2020	1,172	1,016	0,087	0,538	0,100	0,064	0,013	0,048	2,49	0,30	9,2
2021	1,103	1,181	0,047	0,709	0,056	0,069	0,010	0,033	2,68	0,35	9,7
2022	1,065	1,063	0,079	0,600	0,087	0,074	0,012	0,027	2,55	0,30	9,3
2023	1,028	0,916	0,064	0,659	0,112	0,059	0,010	0,037	2,13	0,26	8,7
2024	1,161	1,039	0,060	0,602	0,131	0,060	0,012	0,043	2,09	0,30	9,7
Zielonka*											
Rok	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	OC	EC	PM _{2,5}
	[µg/m ³]								[µg/m ³]		[µg/m ³]
2016	1,702	1,747	0,132	0,834	0,091	0,093	0,010	0,103	4,35	0,68	12,2
2017	1,673	1,407	0,119	1,075	0,089	0,086	0,013	0,176	3,95	0,44	11,7
2018	1,805	1,583	0,137	0,980	0,082	0,089	0,009	0,160	4,98	0,42	13,9
2019	1,222	0,993	0,101	0,820	0,073	0,058	0,004	0,087	3,38	0,34	9,6
2020	1,034	0,990	0,121	0,282	0,093	0,066	0,011	0,157	2,77	0,40	8,6
2021	1,173	1,187	0,134	0,444	0,150	0,068	0,010	0,151	2,88	0,45	8,7
2022	1,058	1,191	0,114	0,285	0,298	0,075	0,012	0,098	2,93	0,30	8,4
2023	1,096	1,040	0,115	0,223	0,117	0,068	0,015	0,100	2,52	0,38	8,4
2024	1,259	0,941	0,107	0,287	0,112	0,076	0,015	0,119	2,99	0,37	8,1

* seria z Zielonki w roku 2015 miała zbyt niską kompletność

średnie stężenie pyłu obliczone na podstawie wartości tygodniowych, odpowiadających okresom zbierania próbek do oznaczania składników (tygodniowych łączonych z dobowych)

6. Zanieczyszczenie opadów atmosferycznych w 2024 roku na tle wielolecia

W 2024 roku pomiary zanieczyszczenia opadów w rejonach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce prowadzono na czterech stacjach. Kontynuowano badania w rejonie nadmorskim w Łebie, w rejonie rolniczym Polski środkowo-wschodniej w Jarczewie oraz w rejonie północno-wschodnim leśnym na stacji Puszcza Borecka. Z końcem 2023 roku, w wyniku reorganizacji sieci pomiarowej, zaprzestano pomiarów w ramach monitoringu tła na stacji wysokogórskiej na Śnieżce, natomiast od 1 stycznia 2024 roku w ramach sieci EMEP podjęła swoją działalność stacja w Szymbarku.

6.1. Odczyn wody opadowej

Jednym z zasadniczych czynników charakteryzujących właściwości zakwaszające opadów atmosferycznych jest obecność i dopływ jonów wodorowych do podłoża, których miarę stanowi odczyn opadu, określany wskaźnikiem pH.

Oceny kwasowości opadów w rejonach badań oraz częstości występowania opadów o różnym stopniu zakwaszenia dokonano z wykorzystaniem kryteriów przedstawionych przez autorów niemieckich (Jansen i in., 1988), zgodnie z sześciostopniową skalą (tabela 12), zmodyfikowaną w Polsce na potrzeby monitoringu chemizmu opadów atmosferycznych i oceny depozycji zanieczyszczeń do podłoża (Liana i in. 2023).

Tabela 122. Klasyfikacja wód opadowych według skali z podziałem na sześć klas wartości pH (Źródło: Jansen i in. 1988, zmodyfikowana)

Zakres pH	Odczyn
pH > 6,5	podwyższony
6,1 ≤ pH ≤ 6,5	lekko podwyższony
5,1 ≤ pH < 6,1	normalny
4,6 ≤ pH < 5,1	lekko obniżony
4,1 ≤ pH < 4,6	znacznie obniżony
pH < 4,1	silnie obniżony

Na przestrzeni wielolecia zmieniała kwasowość opadów w Polsce, w Europie i na świecie. W latach 80. XX wieku na niektórych stacjach wartość pH oscylowała poniżej 4, czyli charakteryzowała się odczynem silnie obniżonym. W latach 90., w wyniku zmniejszania emisji gazów zawierających dwutlenek siarki i dwutlenek azotu, wskaźnik pH opadu zaczął powoli, ale bardzo wyraźnie wzrastać. W początkowym okresie wspólnych badań, w roku 1994, opady miały odczyn znacznie obniżony, a wartości pH na poszczególnych stacjach wykonujących badania na rzecz monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce wynosiły od 4,30 na Śnieżce, 4,38 na stacji Puszcza Borecka, 4,40 w Łebie i 4,54 w Jarczewie.

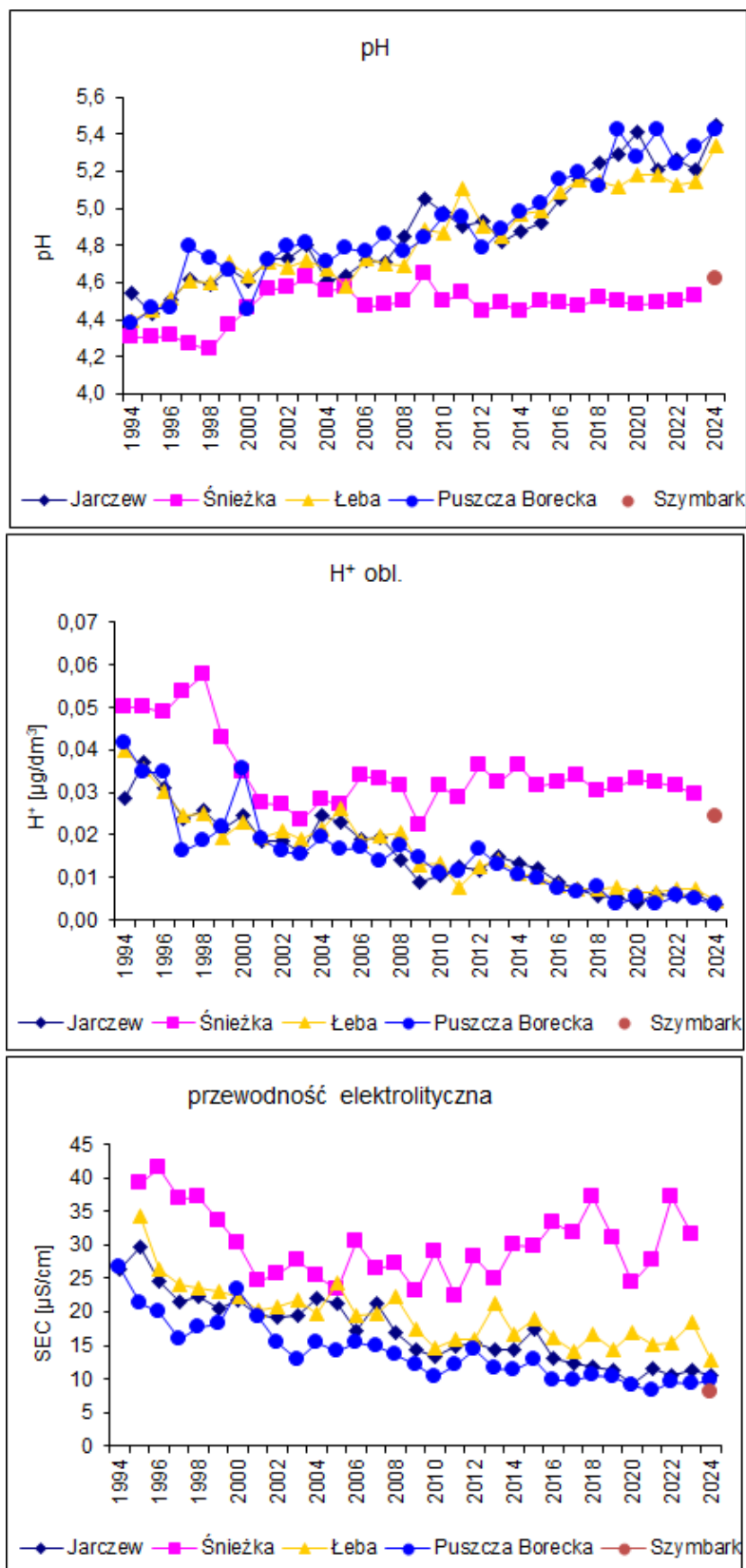
W rejonach badań tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce przez wiele lat najniższymi wartościami pH charakteryzowały się opady w rejonie wysokogórskim. W 2023 roku, czyli w ostatnim roku badań na tej stacji, opady miały przeciętnie odczyn znacznie obniżony, a średnia roczna pH wyniosła 4,53. Najwyższymi wartościami pH w całym okresie obserwacyjnym przeważnie charakteryzowały się opady w rejonie stacji Puszcza Borecka (rysunek 13).

Na przestrzeni wielolecia występowały przeplatające się okresy niewielkiego wzrostu i spadku z roku na rok wskaźnika pH, lecz zachowana była tendencja wzrostowa wartości pH w nizinnych rejonach badań oraz brak takiej tendencji, począwszy od 2009 roku, na stacji wysokogórskiej. W efekcie w ostatnich latach wzrosły różnice między wartościami pH w górach i na nizinach.

W 2024 roku pH opadów atmosferycznych na stacjach nizinnych wyniosło: w rejonie nadmorskim (Łeba) 5,34, w rejonie Puszczy Boreckiej 5,42, a w rejonie rolniczym Polski środkowo-wschodniej (Jarczew) 5,45, zatem przeciętnie opady charakteryzowały się odczynem normalnym. We wszystkich trzech przypadkach były to wartości najwyższe w całym okresie obserwacyjnym, choć na stacji Puszcza Borecka średnie roczne pH wynoszące 5,42 wystąpiło po raz trzeci, poprzednio w 2019 i w 2021 roku. We wszystkich nizinnych rejonach średnie roczne pH opadów przekroczyło wartość $\text{pH}=5$ po raz dziesiąty w historii obserwacji, przy czym na stacji Puszcza Borecka po raz dziesiąty z rzędu. Na stacji w Szymbarku w 2024 roku, czyli w pierwszym roku badań na tej stacji, opady charakteryzowały się odczynem lekko obniżonym, a średnie roczne pH opadów wyniosło 4,62.

Odpowiadające wskaźnikowi pH wartości stężenia jonów wodorowych w rejonach badań były największe na Śnieżce, przy czym po znaczącym spadku do roku 2001 utrzymywały się przez lata na zbliżonym w miarę jednakowym poziomie. Na stacjach nizinnych tendencja malejąca stężenia jonów wodorowych utrzymała się w całym okresie obserwacyjnym. W 2024 roku zanotowano spadek stężenia jonów wodorowych w opadzie od początku wspólnych obserwacji (od 1994 roku): o 91% w rejonie Puszczy Boreckiej, o 88% w Jarczewie i o 88% w Łebie. Średnia roczna kwasowość opadów w roku 2024, w porównaniu do 2023 roku, zmniejszyła się o 37% w rejonie nadmorskim i o 44% w Jarczewie oraz o 19% w rejonie Puszczy Boreckiej.

Widoczny na rysunku 13 wyraźny spadek średnich wartości przewodności elektrolitycznej właściwej opadów (SEC) świadczy o mniejszej mineralizacji opadów wskutek mniejszej zawartości, m.in. związków będących prekursorami silnych kwasów. W okresie 1994-2024 najniższe wartości SEC obserwowano na stacji Puszcza Borecka. Na wszystkich stacjach nizinnych od 2016-2017 roku nastąpiła względna stabilizacja tego wskaźnika przy niewielkiej tylko zmienności z roku na rok. W 2024 roku średnia roczna wartość przewodności elektrolitycznej właściwej wyniosła od 7,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ w Szymbarku, poprzez 9,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na stacji Puszcza Borecka i 10,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ w Jarczewie do 12,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ w Łebie. W stosunku do wartości z połowy lat 90. XX wieku średnie roczne wartości przewodności elektrolitycznej opadów w 2024 roku były w nizinnych rejonach badań niższe o 62-64%.



Rysunek 13. Stężenie jonów wodorowych, wskaźnik pH i przewodność elektrolityczna właściwa opadów atmosferycznych na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2024, z uwzględnieniem danych ze stacji na Śnieżce, działającej do końca 2023 roku

Tabela 133. Częstość występowania pH wody opadowej (%) na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2024

Stacja	Jarczew						Łeba						Puszcza Borecka						Szymbark						Stacja	
Przedział wartości pH	pH<4,1	4,1≤pH<4,6	4,6≤pH<5,1	5,1≤pH<6,1	6,1≤pH≤6,5	pH > 6,5	pH<4,1	4,1≤pH<4,6	4,6≤pH<5,1	5,1≤pH<6,1	6,1≤pH≤6,5	pH > 6,5	pH<4,1	4,1≤pH<4,6	4,6≤pH<5,1	5,1≤pH<6,1	6,1≤pH≤6,5	pH > 6,5	pH<4,1	4,1≤pH<4,6	4,6≤pH<5,1	5,1≤pH<6,1	6,1≤pH≤6,5	pH > 6,5	Przedział wartości pH	
1994	24,0	41,8	15,2	11,4	5,7	1,9	25,0	52,0	18,4	4,6			19,6	51,3	19,0	8,9	0,6	0,6								1994
1995	16,2	50,7	13,0	11,7	5,2	3,2	23,6	44,6	23,6	6,8	0,7	0,7	15,7	38,8	23,1	15,6	3,4	3,4								1995
1996	27,3	32,9	14,9	17,4	3,1	4,4	17,2	42,2	25,8	9,4	2,3	3,1	17,5	28,5	21,9	20,4	4,4	7,3								1996
1997	13,7	42,2	17,5	17,5	3,9	5,2	12,5	38,3	35,3	11,0	2,2	0,7	9,6	26,6	27,1	27,1	2,3	7,3								1997
1998	14,9	35,7	22,6	17,3	3,0	6,5	10,8	39,2	32,9	15,8	1,3		6,4	31,6	28,3	23,5	6,4	3,8								1998
1999	9,5	35,4	21,8	21,1	7,5	4,7	7,8	37,0	31,8	18,2	3,9	1,3	13,1	35,7	23,8	18,5	7,7	1,2								1999
2000	12,7	35,0	27,4	17,8	2,6	4,5	11,2	40,5	31,5	11,9	1,4	3,5	19,2	30,1	23,1	21,8	3,2	2,6								2000
2001	2,9	26,7	32,0	26,2	8,1	4,1	7,4	30,4	44,6	14,9	2,0	0,7	5,2	34,1	33,5	17,3	6,4	3,5								2001
2002	8,1	29,6	31,9	14,1	9,6	6,7	6,4	40,4	31,2	14,2	6,4	1,4	7,7	32,9	25,1	21,7	7,7	4,9								2002
2003	5,0	26,6	23,8	23,0	15,1	6,5	10,9	39,7	28,1	22,7	7,0	1,6	8,7	26,8	22,2	28,9	8,7	4,7								2003
2004	12,0	41,6	22,9	19,9	3,6		12,5	32,5	38,1	11,9	3,1	1,9	8,1	29,7	27,6	28,6	4,9	1,1								2004
2005	10,0	35,0	23,6	21,4	4,3	5,7	10,1	41,3	34,1	10,1	0,8	3,6	1,4	28,3	41,4	22,7	4,8	1,4								2005
2006	11,4	32,5	20,3	22,0	6,5	7,3	7,6	30,3	40,9	18,9	1,5	0,8	7,7	23,1	43,1	20,0	2,3	3,8								2006
2007	6,0	30,3	30,9	22,8	6,0	4,0	3,8	33,8	43,9	13,4	3,2	1,9	2,8	19,9	38,3	29,1	8,5	1,4								2007
2008	4,6	22,9	29,8	28,2	7,6	6,9	8,4	32,9	35,9	17,4	3,6	1,8	3,2	32,3	38,0	25,2	1,3									2008
2009	3,3	12,5	27,0	48,0	7,2	2,0	10,3	19,3	33,8	36,6			3,8	26,5	34,1	31,0	3,8	0,8								2009
2010	7,6	15,1	25,8	34,1	12,1	5,3	5,7	31,4	21,5	34,3	5,7	1,4	2,2	17,8	27,4	46,7	3,7	2,2								2010
2011	4,6	20,2	29,3	34,9	5,5	5,5	3,7	15,6	26,6	40,3	4,6	9,2	4,6	21,5	33,1	36,2	3,1	1,5								2011
2012	2,7	28,2	21,8	33,7	11,8	1,8	2,8	26,3	32,4	27,9	6,7	3,9	3,9	25,3	29,2	37,7	3,9									2012
2013	5,3	27,2	27,2	28,9	4,4	7,0	6,4	24,3	32,9	29,3	6,4	0,7		23,2	41,6	29,6	4,8	0,8								2013
2014	2,7	21,6	25,2	36,1	9,0	5,4	2,6	13,8	34,5	31,9	12,9	4,3		11,7	35,9	45,6	5,8	1,0								2014
2015	3,0	19,0	28,0	42,0	6,0	2,0	0,7	13,8	31,7	42,1	8,3	3,4	1,5	7,6	40,9	40,1	6,1	3,8								2015
2016	0,8	17,8	25,0	37,1	15,3	4,0	3,5	12,5	24,3	50,0	8,3	1,4		9,4	23,9	52,9	10,9	2,9								2016
2017	3,0	15,4	19,1	36,8	13,2	12,5	1,2	8,0	25,3	48,3	12,6	4,6	0,6	4,5	23,7	59,6	9,0	2,6								2017
2018		4,2	22,9	46,9	17,7	8,3		13,7	30,5	36,7	13,7	5,4		7,0	31,0	45,0	11,0	6,0								2018
2019		10,2	12,2	48,0	15,3	14,3	1,3	10,1	24,8	51,7	8,7	3,4		2,6	16,2	50,4	23,1	7,7								2019
2020		2,5	7,5	50,0	18,3	21,7	0,7	7,2	21,7	48,0	14,5	7,9	0,8	4,6	24,6	46,9	14,6	8,5								2020
2021	0,8	8,7	18,3	48,4	12,7	11,1		15,1	27,0	42,1	13,8	2,0		1,7	16,5	57,0	17,4	7,4								2021
2022	0,8	5,5	20,5	52,0	11,8	9,4	0,8	11,6	26,4	47,3	9,3	4,6		1,7	22,4	47,4	16,4	12,1								2022
2023		3,8	25,4	48,5	14,6	7,7	0,7	4,5	25,0	50,0	11,5	8,3		0,9	19,0	56,0	15,5	8,6								2023
2024		4,3	7,8	38,3	22,6	27,0		3,1	18,6	60,5	10,1	7,7			16,2	48,6	18,1	17,1	6,6	22,6	30,2	30,2	5,7	4,7		2024

Na rysunku 14 zobrazowano rozkłady częstości wartości pH wody opadowej na przestrzeni wielolecia, a dane zestawiono w tabeli 13.

W okresie od początku wspólnych badań charakterystyka częstości pH opadów w analizowanych rejonach wyraźnie się zmieniała. O ile przez wiele lat, mniej więcej do roku 2000, największą częstością we wszystkich rejonach badań charakteryzowały się opady o odczynie znacznie obniżonym, z przedziału pH 4,1-4,6, to po roku 2000 ta prawidłowość, z wyjątkiem nielicznych lat, dotyczyła wyłącznie stacji wysokogórskiej. Na stacjach nizinnych opady z przedziału pH 4,1-4,6 najliczniejszą grupę stanowiły jeszcze w Łebie w latach 2002-2003 i 2005 oraz w Jarczewie w latach 2003-2007.

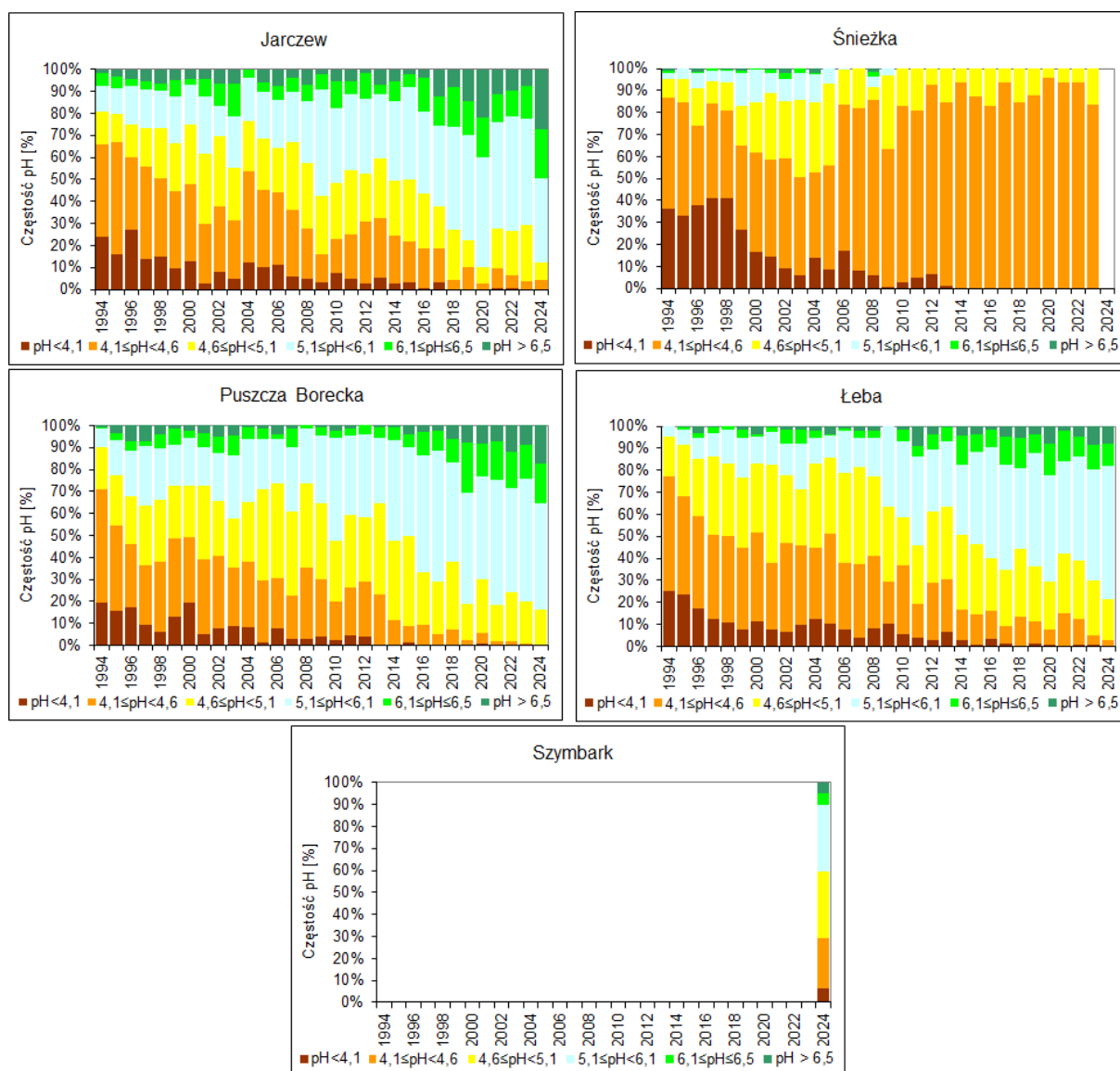
Po roku 2000 w Jarczewie dominowały w latach 2001-2002 oraz 2007-2008 opady o odczynie lekko obniżonym (pH 4,6-5,1), a od 2009 roku największa część opadów w rejonie środkowo-wschodnim charakteryzuje się, zgodnie z przyjętym kryterium, odczynem normalnym (pH 5,1-6,1). W 2023 roku udział opadów o odczynie normalnym wynosił w Jarczewie ponad 48%, po czym w roku 2024 obniżył się do 38%. Stale maleje tutaj udział opadów o odczynie znacznie obniżonym (pH 4,1-4,6); w 2024 roku opady z tej grupy stanowiły ok. 4%. W roku 2024 zmniejszyła się też częstość opadów o odczynie lekko obniżonym (pH 4,6-5,1), które jeszcze rok wcześniej stanowiły drugą co do liczności grupę, stale wzrasta też odsetek opadów o odczynie lekko podwyższonym (pH 6,1-6,5; w 2024 roku do blisko 23%), a także podwyższonym (pH>6,5), których częstość w ostatnim roku wzrosła z niespełna 8% do 27%. Opady o odczynie silnie obniżonym, pojawiające się w początkowych latach wspólnego okresu datującego się od 1994 roku z częstością 20% i więcej, w ostatnich latach występowały sporadycznie lub wcale (od 2018 roku wystąpiły tylko dwa przypadki opadu o pH<4,1).

Na stacji Puszcza Borecka w latach 1994-2002 najczęstsze były opady o odczynie znacznie obniżonym (pH 4,1-4,6), następnie w latach 2004-2009 i w 2013 roku dominowały opady o odczynie lekko obniżonym (pH 4,6-5,1), a po roku 2009, z wyjątkiem roku 2013 i 2015, największą frekwencją charakteryzowały się opady o odczynie normalnym (pH 5,1-6,1). Częstość opadów o odczynie normalnym (pH 5,1-6,1) wzrosła na stacji Puszcza Borecka od niecałych 9% w 1994 roku do 48,6% w roku 2024, przy czym po roku 2015 zmieniała się z roku na rok od 45% do 59,6%. W rejonie północno-wschodnim zmniejszyła się częstość występowania opadów o odczynie znacznie obniżonym (pH 4,1-4,6) od ok. 51,3% w roku 1994 do 0,9% w roku 2023, a w 2024 opady z tej grupy na stacji nie wystąpiły. Po roku 2012 sporadycznie pojawiały się opady o odczynie silnie obniżonym (pH<4,1), które w ostatnich czterech latach nie pojawiły się wcale. Opady o odczynie lekko obniżonym (pH 4,6-5,1), których częstość wzrastała stopniowo od 19% w roku 1994 do 43,1% w roku 2006, po roku 2006 pojawiały się ze zmienną, lecz zasadniczo coraz mniejszą częstością i w 2024 roku stanowiły 16,2%. Częstość opadów o odczynie lekko podwyższonym (pH 6,1-6,5) i podwyższonym (pH>6,5) po roku 2010 z roku na rok sukcesywnie wzrastała, a ich frekwencja wyniosła w 2024 roku odpowiednio 18,1% i 17,1%.

W rejonie nadmorskim najczęstsze w latach 2001, 2004 i 2006-2008 były opady o odczynie lekko obniżonym (pH 4,6-5,1), a od roku 2009 dominowały opady o odczynie normalnym (pH 5,1-6,1), z wyjątkiem trzyletniego okresu 2012-2014, kiedy z nieznacznie większą częstością występowały znów opady o odczynie lekko obniżonym (pH 4,6-5,1). Częstość opadów o odczynie normalnym wzrosła w Łebie od 6% w 1993 roku do 60% w roku 2024. Podobnie jak w Jarczewie zmniejszyła się w rejonie nadmorskim częstość

występowania opadów o odczynie znacznie obniżonym (pH 4,1-4,6), od ok. 50% w roku 1993 do 3% w roku 2024. W ostatnich kilku latach sporadycznie występowały opady o odczynie silnie obniżonym (pH<4,1). W Łebie po roku 2010 z roku na rok nieznacznie wzrastała częstość opadów o odczynie lekko podwyższonym (pH 6,1-6,5) i podwyższonym (pH>6,5), a ich frekwencja sięgała w 2024 roku odpowiednio 10,1% i 7,7%.

W roku 2024 największą grupę stanowiły w nizinnych rejonach badań opady o odczynie normalnym (pH 5,1-6,1) z frekwencją wynoszącą od 38,4% (Jarczew) do 60,5% (Łeba), natomiast w rejonie pogórzy i niskich gór jednakową frekwencją, wynoszącą 30,2%, charakteryzowały się opady o odczynie normalnym (pH 5,1-6,1) oraz opady o odczynie lekko obniżonym (pH 4,6-5,1).



Rysunek 14. Częstość występowania pH wody opadowej na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2024

6.2. Główne jony w wodzie opadowej

Z analizy danych o składzie chemicznym opadów w rejonach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce (rysunek 15 i 16, tabela 14) wynika, że stopniowo zmniejsza się zawartość siarczanów w opadach, co uwidacznia się zarówno w przebiegu stężeń jak i ładunków jonu siarczanowego docierających do podłoża. W 2024 roku średnie stężenie siarki siarczanowej w opadach wyniosło w rejonach monitoringu od 0,22 mg/dm³ w Puszczy Boreckiej, 0,27 mg/dm³ w Łebie, 0,29 mg/dm³ w Szymbarku do 0,36 mg/dm³ w Jarczewie. Na stacjach w Łebie i Puszczy Boreckiej od 2013 roku mogliśmy obserwować prawie jednakowe lub jednakowe średnie roczne wartości tego składnika. W porównaniu do 1994 roku na stacjach nizinnych nastąpił spadek zawartości jonów siarczanowych w opadach w Łebie o 68%, w Jarczewie o 69%, a w rejonie Puszczy Boreckiej o 78%. W stosunku do roku poprzedniego odnotowano nieznaczny spadek stężenia siarczanów we wszystkich nizinnych rejonach badań. Wieloletnie ciągi pomiarowe uzupełnione o wyniki z 2024 roku wskazują na malejącą tendencję średnich rocznych wartości stężenia jonów siarczanowych w stosunku do poziomu z początku badań, we wszystkich analizowanych rejonach (rysunek 15). W nizinnych rejonach badań tendencja ta była dość wyraźna w całym okresie obserwacyjnym. Najwyższe wartości średnie roczne przeważnie dotyczyły stacji w Jarczewie, najniższe przeważnie, zwłaszcza w ostatnich latach, stacji Puszcza Borecka. Podobnie kształtowały się wartości mokrej depozycji siarczanów (rysunek 16).

W przypadku jonów azotanowych w ciągu wielolecia obserwowano stały, bardzo powolny spadek stężenia jonów azotanowych w nizinnych rejonach badań tła zanieczyszczenia w Polsce. W ostatnim roku stężenie jonów azotanowych w wodach opadowych wyniosło 0,231-0,410 mg/dm³. W porównaniu z poprzednim rokiem wzrosło w Puszczy Boreckiej (o 24%) i nieznacznie w Jarczewie (o 5%), a zmalało (o 6%) na stacji nadmorskiej. W stosunku do 1994 roku oznacza to spadek stężenia azotanów o 5% w Jarczewie i o 39% w Łebie i na stacji Puszcza Borecka.

Wartości stężenia jonów amonowych w roku 2024 mieściły się w zakresie od 0,31 mg/dm³ w Łebie i 0,38 mg/dm³ w Szymbarku, do 0,53 mg/dm³ w Puszczy Boreckiej i 0,54 mg/dm³ w Jarczewie. Na przestrzeni lat 1994-2024 zmienność stężenia jonu amonowego w rejonach badań kształtowała się inaczej niż jonu siarczanowego czy azotanowego. Biorąc pod uwagę tylko stacje nizinne najwyższe wartości przez wiele lat występowały na stacji w Jarczewie, a najniższe w Łebie. Po roku 2018 najwyższe średnie roczne stężenia obserwowane są na stacji Puszcza Borecka. We wszystkich rejonach badań obserwowano słabą tendencję spadkową tego składnika.

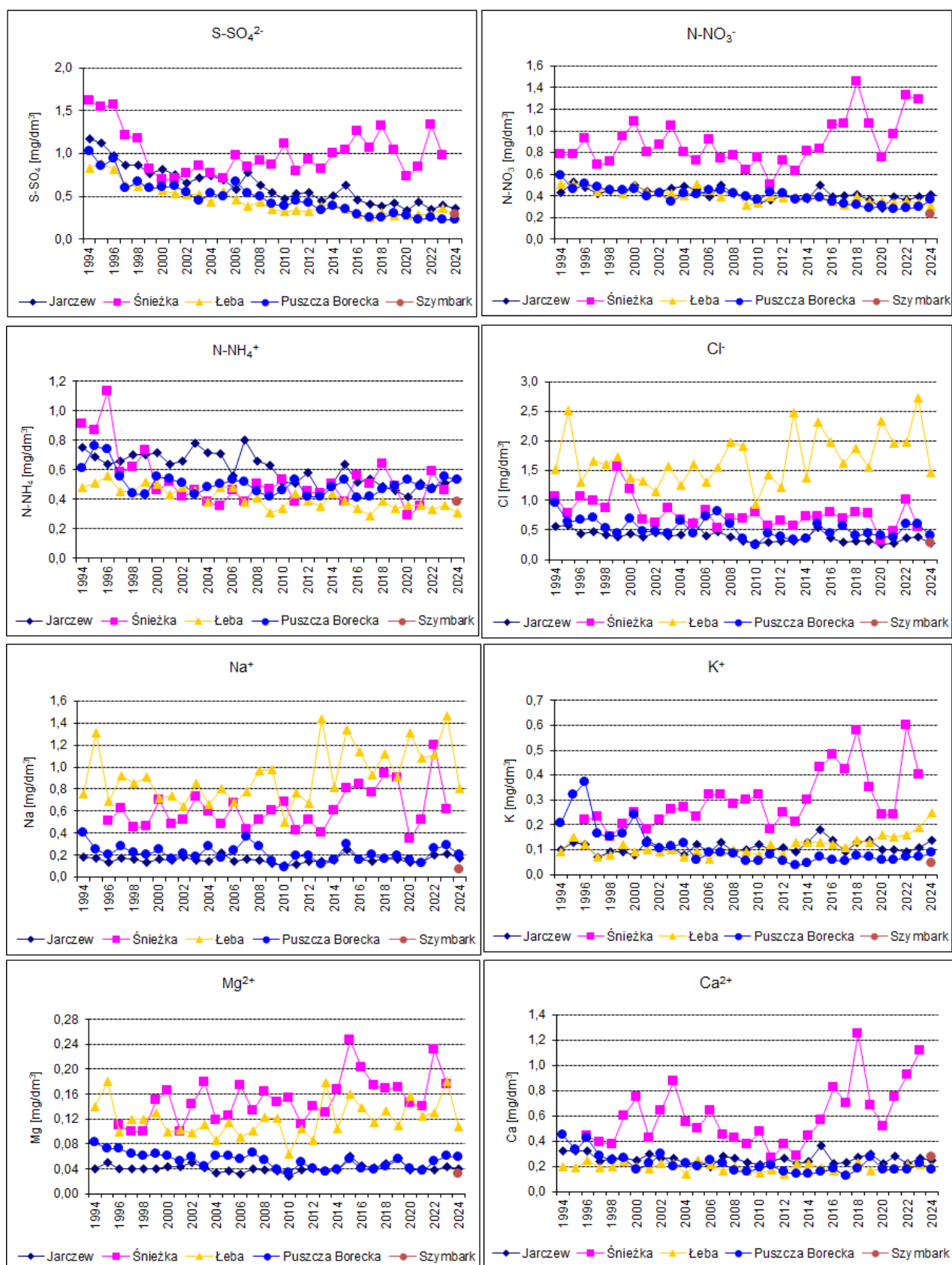
Stężenie jonów chlorkowych w 2024 roku wynosiło od 0,28 mg/dm³ w Jarczewie i w Szymbarku poprzez 0,41 mg/dm³ w rejonie Puszczy Boreckiej do 1,47 mg/dm³ w Łebie. W całym okresie wieloletnim na stacji w Łebie zawartość jonów chlorkowych w wodach opadowych była przynajmniej dwukrotnie wyższa niż na pozostałych stacjach, za sprawą obecności aerozolu pochodzenia morskiego w rejonie badań.

Z powodu mniejszych, w większości przypadków, stężeń badanych substancji i mniejszych sum opadów, depozycja wszystkich substancji zakwaszających w rejonach badań w 2024 roku okazała się niższa niż rok wcześniej, z wyjątkiem mokrej depozycji azotanów na stacji Puszcza Borecka, której wzrost o 17% w porównaniu z poprzednim rokiem wynikał ze wzrostu stężenia.

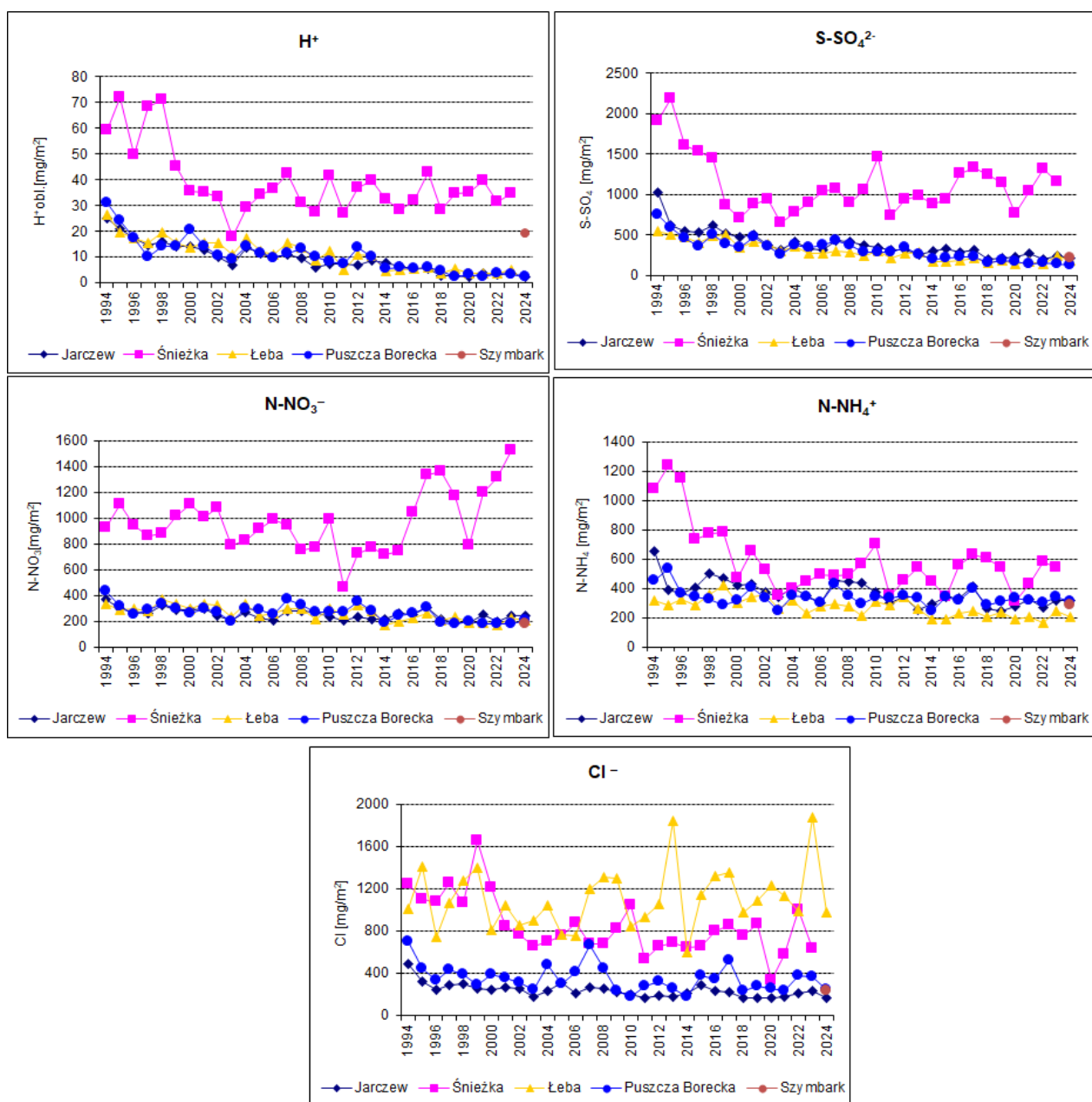
Stężenia kationów metali: sodu, magnezu, potasu i wapnia wykazywały na stacjach sieci dużą rozpiętość, zarówno w zakresie stężeń jak i ładunków. Kationy charakterystyczne dla środowiska morskiego (sód i magnez) występowały w Łebie w znacznie większym stężeniu niż na stacjach położonych w głębi kraju. We wszystkich rejonach badań odnotowano wzrost stężenia potasu w porównaniu z poprzednim rokiem o 25-32%

Depozycja metali w wodzie opadowej była w 2024 roku niższa niż rok wcześniej, z wyjątkiem depozycji jonów potasu, której wartość wzrosła o 20-28%.

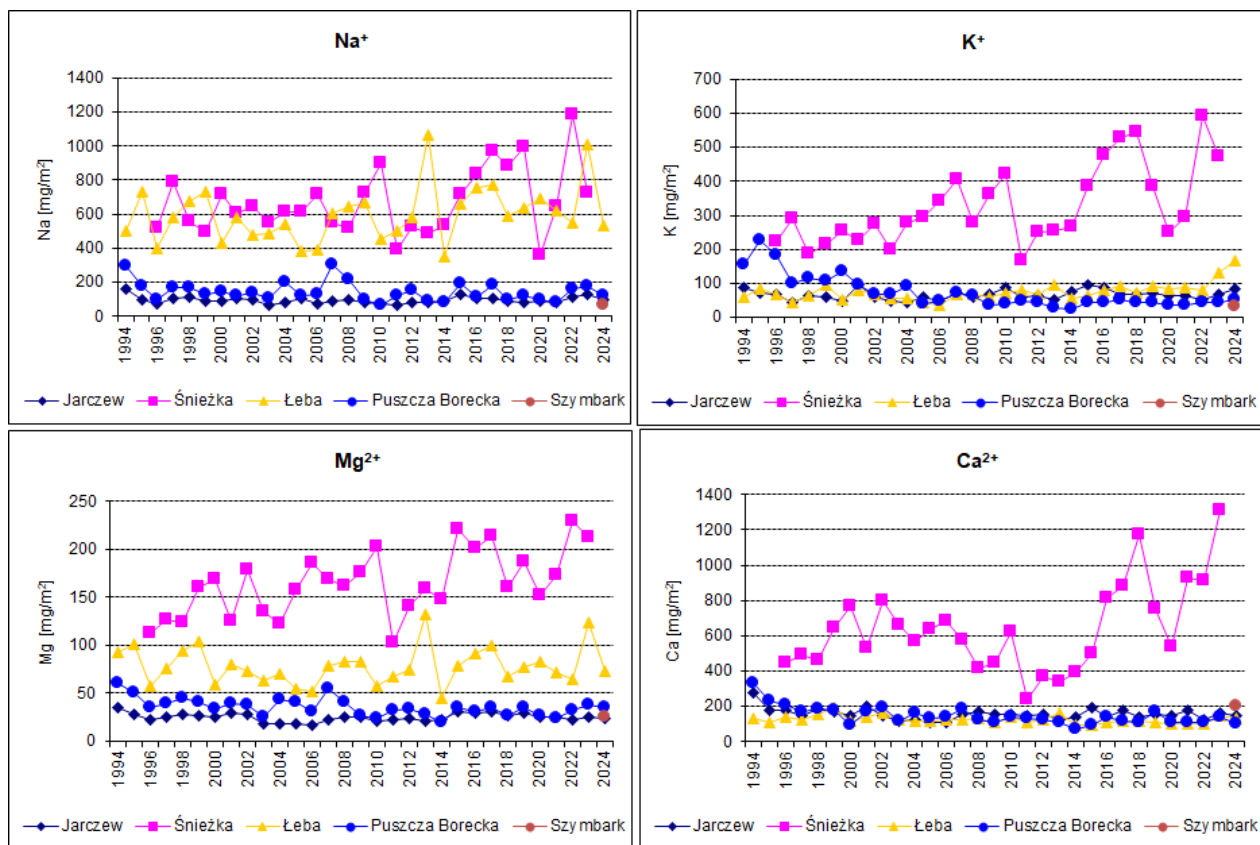
Przebieg zmienności ładunków substancji docierających do podłoża wraz z opadem atmosferycznym w rejonach badań w okresie 1994-2024 zilustrowano na rysunkach 16-17, a szczegółowe dane o stężeniach i ładunkach składników w wodzie opadowej na poszczególnych stacjach można prześledzić w tabeli 14.



Rysunek 15. Stężenie podstawowych jonów w wodzie opadowej na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2024, z uwzględnieniem danych ze stacji na Śnieżce, działającej do końca 2023 roku



Rysunek 16. Mokra depozycja jonów wodorowych, siarki siarczanowej, związków azotu i jonów chlorkowych na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2024, z uwzględnieniem danych ze stacji na Śnieżce, działającej do końca 2023 roku



Rysunek 17. Mokra depozycja kationów na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2024, z uwzględnieniem danych ze stacji na Śnieżce, działającej do końca 2023 roku

Tabela 14. Stężenie składników wody opadowej i mokra depozycja na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2024

Rok	Jarczew										
	Suma opadów	S-SO ₄ ²⁻	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	pH	przew.elekt.
	mm	stężenie średnie roczne [mg/dm ³]									μS/cm
1994	873,1	1,17	0,430	0,75	0,56	0,180	0,100	0,040	0,320	4,54	26,4
1995	557,6	1,12	0,530	0,69	0,58	0,170	0,130	0,050	0,320	4,43	29,6
1996	564,2	0,98	0,480	0,64	0,44	0,130	0,120	0,040	0,320	4,51	24,6
1997	616,4	0,87	0,420	0,66	0,47	0,170	0,070	0,040	0,240	4,62	21,6
1998	718,0	0,86	0,450	0,70	0,42	0,160	0,090	0,040	0,260	4,59	22,4
1999	667,3	0,77	0,440	0,70	0,39	0,130	0,090	0,040	0,260	4,67	20,5
2000	579,7	0,82	0,500	0,72	0,43	0,160	0,080	0,043	0,250	4,61	21,9
2001	675,2	0,75	0,440	0,64	0,39	0,150	0,140	0,043	0,300	4,73	19,5
2002	560,4	0,66	0,440	0,66	0,45	0,180	0,110	0,050	0,260	4,73	19,1
2003	440,2	0,72	0,470	0,78	0,41	0,150	0,110	0,042	0,260	4,80	19,6
2004	561,5	0,74	0,490	0,72	0,42	0,140	0,080	0,033	0,220	4,61	22,1
2005	489,2	0,69	0,460	0,71	0,63	0,220	0,120	0,036	0,230	4,64	21,4
2006	534,2	0,58	0,390	0,56	0,40	0,140	0,090	0,032	0,200	4,72	17,3
2007	562,4	0,78	0,500	0,80	0,48	0,160	0,130	0,040	0,280	4,71	21,2
2008	664,9	0,63	0,420	0,66	0,38	0,150	0,090	0,039	0,260	4,85	17,0
2009	690,1	0,55	0,390	0,63	0,32	0,120	0,100	0,037	0,230	5,05	14,4
2010	722,1	0,47	0,330	0,52	0,28	0,100	0,120	0,029	0,210	4,98	13,3
2011	585,6	0,53	0,360	0,51	0,29	0,110	0,100	0,039	0,250	4,90	14,9
2012	585,9	0,55	0,400	0,58	0,32	0,140	0,110	0,040	0,260	4,93	15,4
2013	576,9	0,45	0,380	0,44	0,31	0,140	0,090	0,036	0,220	4,82	14,4
2014	588,2	0,51	0,370	0,50	0,36	0,150	0,130	0,038	0,240	4,88	14,3
2015	527,1	0,63	0,500	0,64	0,54	0,250	0,180	0,060	0,360	4,92	17,4
2016	639,5	0,46	0,390	0,52	0,36	0,160	0,140	0,046	0,220	5,05	13,1
2017	762,6	0,41	0,400	0,54	0,29	0,140	0,090	0,042	0,230	5,15	12,2
2018	523,8	0,38	0,410	0,49	0,32	0,170	0,130	0,049	0,270	5,25	11,7
2019	524,5	0,42	0,360	0,46	0,31	0,160	0,140	0,057	0,300	5,29	11,4
2020	657,0	0,34	0,290	0,42	0,26	0,130	0,100	0,039	0,220	5,41	9,3
2021	642,6	0,43	0,390	0,51	0,27	0,130	0,100	0,040	0,280	5,21	11,6
2022	560,6	0,35	0,360	0,48	0,37	0,200	0,090	0,039	0,220	5,26	10,6
2023	624,9	0,40	0,390	0,51	0,38	0,210	0,110	0,043	0,260	5,21	11,4
2024	587,6	0,36	0,410	0,54	0,28	0,170	0,140	0,041	0,250	5,45	10,5

Rok	Jarczew								
	Suma opadów	S-SO ₄ ²⁻	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
	mm	ładunek roczny [mg/m ²]							
1994	873,1	1021,53	375,43	654,8	488,9	157,16	87,31	34,92	279,39
1995	557,6	624,51	295,53	384,7	323,4	94,79	72,49	27,88	178,43
1996	564,2	552,92	270,82	361,1	248,2	73,35	67,70	22,57	180,54
1997	616,4	536,27	258,89	406,8	289,7	104,79	43,15	24,66	147,94
1998	718,0	617,48	323,10	502,6	301,6	114,88	64,62	28,72	186,68
1999	667,3	513,82	293,61	467,1	260,2	86,75	60,06	26,69	173,50
2000	579,7	475,35	289,85	417,4	249,3	92,75	46,38	24,93	144,93
2001	675,2	506,40	297,09	432,1	263,3	101,28	94,53	29,03	202,56
2002	560,4	369,86	246,58	369,9	252,2	100,87	61,64	28,02	145,70
2003	440,2	316,94	206,89	343,4	180,5	66,03	48,42	18,49	114,40
2004	561,5	415,50	275,10	404,3	235,8	78,60	44,90	18,50	123,50
2005	489,2	337,50	225,00	347,3	308,2	107,60	58,70	17,60	112,50
2006	534,2	309,80	208,30	299,2	213,7	74,80	48,10	17,10	106,80
2007	562,4	438,70	281,20	449,9	270,0	90,00	73,10	22,50	157,50
2008	664,9	419,10	280,00	441,4	254,5	99,40	60,10	25,90	172,90
2009	690,1	379,60	269,10	434,8	220,8	82,80	69,00	25,50	158,70
2010	722,1	339,40	238,30	375,5	202,2	72,20	86,60	20,90	151,60
2011	585,6	310,40	210,80	298,6	169,8	64,40	58,60	22,80	146,40
2012	585,9	322,20	234,40	339,8	187,5	82,00	64,40	23,40	152,30
2013	576,9	259,60	219,20	253,8	178,8	80,80	51,90	20,80	126,90
2014	588,2	300,00	217,60	294,1	211,8	88,20	76,50	22,40	141,20
2015	527,1	332,10	263,60	337,3	284,6	131,80	94,90	31,60	189,76
2016	639,5	294,20	249,40	332,5	230,2	102,30	89,50	29,40	140,69
2017	762,6	312,70	305,00	411,8	221,2	106,80	68,60	30,50	175,40
2018	523,8	199,00	214,80	256,7	167,6	89,00	68,10	26,20	141,40
2019	524,5	220,29	188,82	241,3	162,6	83,92	73,43	29,90	157,35
2020	657,0	223,38	190,53	275,9	170,8	85,41	65,70	25,62	144,54
2021	642,6	276,32	250,61	327,7	173,5	83,54	64,26	25,70	179,93
2022	560,6	196,21	201,82	269,1	207,4	112,12	50,45	21,86	123,33
2023	624,9	250,00	243,70	318,7	237,5	131,20	68,70	25,00	162,50
2024	587,6	211,50	240,90	317,3	164,5	99,90	82,30	23,50	146,90

Rok	Łeba										
	Suma opadów	S-SO ₄ ²⁻	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	pH	przew.elekt.
	mm	stężenie średnie roczne [mg/dm ³]									μS/cm
1994	660,9	0,83	0,510	0,48	1,52	0,760	0,090	0,140	0,200	4,40	x
1995	560,5	0,89	0,510	0,51	2,51	1,310	0,150	0,180	0,190	4,45	34,2
1996	574,2	0,82	0,520	0,56	1,30	0,690	0,120	0,100	0,250	4,52	26,5
1997	635,9	0,63	0,440	0,45	1,67	0,920	0,070	0,120	0,190	4,61	24,1
1998	791,7	0,62	0,470	0,45	1,61	0,850	0,080	0,120	0,200	4,60	23,7
1999	803,6	0,62	0,420	0,52	1,74	0,910	0,120	0,130	0,240	4,71	23,0
2000	594,3	0,57	0,500	0,50	1,37	0,720	0,090	0,100	0,200	4,64	22,4
2001	786,6	0,53	0,430	0,43	1,33	0,740	0,100	0,102	0,180	4,71	20,2
2002	746,0	0,52	0,440	0,48	1,14	0,640	0,090	0,098	0,220	4,68	20,8
2003	569,6	0,52	0,420	0,46	1,58	0,850	0,100	0,112	0,220	4,72	21,8
2004	826,5	0,43	0,400	0,38	1,26	0,660	0,070	0,086	0,140	4,67	19,8
2005	478,6	0,56	0,510	0,48	1,60	0,800	0,090	0,115	0,250	4,58	24,3
2006	579,3	0,46	0,450	0,48	1,31	0,680	0,060	0,091	0,210	4,73	19,6
2007	775,2	0,39	0,390	0,38	1,55	0,780	0,090	0,101	0,160	4,70	19,8
2008	674,2	0,43	0,440	0,41	1,98	0,970	0,100	0,123	0,200	4,69	22,4
2009	681,7	0,35	0,320	0,31	1,91	0,980	0,090	0,122	0,160	4,89	17,5
2010	909,0	0,33	0,330	0,34	0,93	0,500	0,080	0,063	0,150	4,87	14,6
2011	652,1	0,34	0,390	0,44	1,43	0,770	0,120	0,104	0,170	5,11	15,8
2012	868,4	0,32	0,380	0,39	1,22	0,670	0,080	0,086	0,140	4,90	15,8
2013	740,2	0,39	0,380	0,35	2,48	1,440	0,130	0,178	0,220	4,85	21,2
2014	433,1	0,41	0,390	0,44	1,38	0,810	0,130	0,105	0,220	4,97	16,6
2015	493,2	0,35	0,400	0,39	2,31	1,340	0,130	0,160	0,190	4,99	18,9
2016	663,4	0,29	0,340	0,34	1,99	1,140	0,120	0,138	0,160	5,09	16,2
2017	832,9	0,25	0,320	0,29	1,63	0,930	0,110	0,115	0,140	5,15	14,1
2018	523,5	0,31	0,390	0,39	1,87	1,120	0,140	0,134	0,230	5,14	16,6
2019	704,1	0,27	0,340	0,34	1,55	0,910	0,130	0,110	0,160	5,12	14,3
2020	528,6	0,28	0,350	0,36	2,33	1,310	0,160	0,157	0,190	5,18	16,9
2021	573,6	0,29	0,330	0,36	1,97	1,080	0,150	0,124	0,180	5,18	15,2
2022	497,8	0,29	0,350	0,33	1,99	1,110	0,160	0,129	0,210	5,13	15,5
2023	685,6	0,36	0,330	0,36	2,73	1,470	0,190	0,180	0,210	5,14	18,4
2024	666,8	0,27	0,310	0,31	1,47	0,800	0,250	0,108	0,200	5,34	12,9

Rok	Łeba								
	Suma opadów	S-SO ₄ ²⁻	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
	mm	ładunek roczny [mg/m ²]							
1994	660,9	548,55	337,06	317,2	1004,6	502,28	59,48	92,53	132,18
1995	560,5	498,85	285,86	285,9	1406,9	734,26	84,08	100,89	106,50
1996	574,2	470,84	298,58	321,6	746,5	396,20	68,90	57,42	143,55
1997	635,9	400,62	279,80	286,2	1062,0	585,03	44,51	76,31	120,82
1998	791,7	490,85	372,10	356,3	1274,6	672,95	63,34	95,00	158,34
1999	803,6	498,23	337,51	417,9	1398,3	731,28	96,43	104,47	192,86
2000	594,3	338,75	297,15	297,2	814,2	427,90	53,49	59,43	118,86
2001	786,6	416,90	338,24	338,2	1046,2	582,08	78,66	80,23	141,59
2002	746,0	387,92	328,24	358,1	850,4	477,44	67,14	73,11	164,12
2003	569,6	296,19	239,23	262,0	900,0	484,16	56,96	63,80	125,31
2004	826,5	355,40	330,60	314,1	1041,4	545,49	57,90	71,10	115,70
2005	478,6	268,00	244,10	229,7	765,8	382,90	43,10	55,00	119,60
2006	579,3	266,50	260,70	278,1	758,9	393,90	34,80	52,70	121,60
2007	775,2	302,30	302,30	294,6	1201,6	604,70	69,80	78,30	124,00
2008	674,2	290,60	300,30	279,0	1310,2	646,80	68,80	82,90	134,80
2009	681,7	238,60	218,10	211,3	1302,0	668,10	61,40	83,20	109,10
2010	909,0	299,97	299,97	309,1	845,4	454,50	72,72	57,30	136,40
2011	652,1	221,70	254,30	286,9	932,5	502,10	78,20	67,80	110,90
2012	868,4	277,90	330,00	338,7	1059,4	581,80	69,50	74,70	121,60
2013	740,2	288,70	281,30	259,1	1835,7	1065,90	96,20	131,80	162,80
2014	433,1	177,60	168,90	190,6	597,7	350,80	56,30	45,50	95,30
2015	493,2	172,60	197,30	192,3	1139,3	660,90	64,10	78,90	93,70
2016	663,4	192,40	225,60	225,6	1320,2	756,30	79,60	91,50	106,10
2017	832,9	208,20	266,50	241,5	1357,6	774,60	91,60	99,90	116,60
2018	523,5	162,30	204,20	204,2	978,9	586,30	73,30	68,10	120,40
2019	704,1	190,11	239,39	239,4	1091,4	640,73	91,53	77,45	112,66
2020	528,6	148,01	185,01	190,3	1231,6	692,47	84,58	82,99	100,43
2021	573,6	166,34	189,29	206,5	1130,0	619,49	86,04	71,13	103,25
2022	497,8	144,36	174,23	164,3	990,6	552,56	79,65	64,22	104,54
2023	685,6	246,80	226,20	246,8	1871,7	1007,80	130,30	123,40	144,00
2024	666,8	180,00	206,70	206,7	980,2	533,40	166,70	73,30	133,40

Rok	Puszcza Borecka										
	Suma opadów	S-SO ₄ ²⁻	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	pH	przew.elekt.
	mm	stężenie średnie roczne [mg/dm ³]									μS/cm
1994	739,7	1,02	0,591	0,61	0,95	0,405	0,208	0,082	0,444	4,38	26,6
1995	699,1	0,85	0,459	0,76	0,64	0,251	0,322	0,073	0,332	4,46	21,2
1996	494,1	0,94	0,514	0,74	0,67	0,204	0,370	0,072	0,417	4,46	19,9
1997	611,0	0,59	0,481	0,55	0,71	0,277	0,163	0,064	0,276	4,79	15,8
1998	749,2	0,67	0,450	0,44	0,52	0,223	0,152	0,060	0,249	4,73	17,6
1999	653,1	0,59	0,456	0,43	0,44	0,202	0,163	0,063	0,267	4,66	18,2
2000	571,8	0,61	0,462	0,55	0,68	0,253	0,239	0,060	0,170	4,45	23,4
2001	756,5	0,62	0,395	0,54	0,47	0,161	0,126	0,052	0,221	4,72	19,2
2002	654,4	0,54	0,419	0,51	0,48	0,212	0,103	0,059	0,299	4,79	15,5
2003	580,4	0,45	0,340	0,43	0,43	0,181	0,114	0,044	0,196	4,81	12,8
2004	723,9	0,53	0,418	0,48	0,65	0,278	0,125	0,061	0,224	4,71	15,5
2005	690,2	0,50	0,416	0,50	0,44	0,171	0,056	0,060	0,194	4,78	14,0
2006	561,1	0,67	0,453	0,53	0,72	0,235	0,089	0,056	0,250	4,77	15,3
2007	827,2	0,53	0,450	0,52	0,81	0,364	0,086	0,066	0,223	4,86	14,8
2008	760,8	0,50	0,424	0,45	0,59	0,279	0,082	0,054	0,165	4,77	13,7
2009	695,7	0,41	0,395	0,42	0,34	0,139	0,054	0,039	0,153	4,84	12,0
2010	741,2	0,38	0,364	0,46	0,24	0,085	0,055	0,033	0,188	4,96	10,4
2011	629,0	0,45	0,428	0,53	0,44	0,194	0,078	0,051	0,205	4,95	12,1
2012	831,0	0,42	0,420	0,42	0,38	0,188	0,053	0,041	0,152	4,78	14,4
2013	786,3	0,34	0,362	0,42	0,33	0,115	0,038	0,035	0,139	4,89	11,6
2014	509,2	0,38	0,372	0,48	0,35	0,153	0,045	0,038	0,136	4,98	11,4
2015	637,6	0,35	0,386	0,53	0,60	0,298	0,070	0,055	0,152	5,02	12,9
2016	776,0	0,29	0,341	0,41	0,44	0,150	0,058	0,040	0,181	5,15	9,8
2017	940,0	0,25	0,324	0,42	0,56	0,199	0,054	0,038	0,121	5,19	9,7
2018	601,8	0,25	0,315	0,47	0,40	0,166	0,073	0,044	0,178	5,12	10,6
2019	631,9	0,30	0,290	0,49	0,43	0,188	0,069	0,056	0,273	5,42	10,2
2020	636,7	0,27	0,308	0,53	0,41	0,153	0,056	0,041	0,170	5,27	9,1
2021	650,8	0,22	0,280	0,49	0,36	0,123	0,057	0,037	0,170	5,42	8,2
2022	635,3	0,25	0,282	0,47	0,59	0,258	0,070	0,052	0,169	5,24	9,5
2023	619,7	0,22	0,292	0,55	0,59	0,287	0,071	0,060	0,223	5,33	9,3
2024	584,7	0,22	0,363	0,53	0,41	0,204	0,089	0,059	0,169	5,42	9,8

Rok	Puszcza Borecka								
	Suma opadów	S-SO ₄ ²⁻	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
	mm	ładunek roczny [mg/m ²]							
1994	739,7	752,00	437,13	450,4	703,9	299,44	153,51	60,83	328,09
1995	699,1	592,73	320,61	532,8	449,1	175,27	225,16	51,26	232,40
1996	494,1	463,29	253,83	364,9	329,8	100,88	182,91	35,74	206,14
1997	611,0	361,39	293,66	337,8	432,7	169,01	99,84	39,17	168,46
1998	749,2	502,33	336,81	328,3	390,2	166,84	113,58	44,91	186,29
1999	653,1	385,30	298,04	282,7	286,8	132,00	106,32	41,47	174,24
2000	571,8	347,96	264,18	315,9	386,9	144,48	136,84	34,07	97,36
2001	756,5	470,70	298,75	408,4	355,7	121,69	95,08	39,21	167,13
2002	654,4	356,65	274,00	331,4	316,0	138,94	67,73	38,39	195,83
2003	580,4	263,46	197,45	247,8	249,5	104,90	66,36	25,41	113,53
2004	723,9	380,95	302,58	345,1	472,7	201,19	90,34	44,15	162,22
2005	690,2	347,55	287,10	342,1	302,6	118,13	38,52	41,14	133,62
2006	561,1	374,15	254,14	298,0	406,2	131,75	49,82	31,23	140,18
2007	827,2	439,41	372,43	428,7	671,6	301,20	71,40	54,65	184,36
2008	760,8	378,82	322,20	346,1	446,3	212,30	62,43	41,08	125,87
2009	695,7	287,89	274,54	290,4	236,1	96,81	37,63	27,13	106,26
2010	741,2	283,76	269,83	342,9	177,3	63,10	40,52	24,56	139,49
2011	629,0	284,69	269,01	330,4	277,4	122,06	49,17	31,95	128,74
2012	831,0	345,03	349,10	350,4	319,3	156,00	44,01	34,41	126,28
2013	786,3	265,50	284,88	330,7	260,8	90,22	30,09	27,75	108,98
2014	509,2	194,10	189,21	244,0	180,7	77,83	22,69	19,10	69,45
2015	637,6	221,18	245,89	337,2	381,1	190,07	44,38	35,28	97,06
2016	776,0	226,03	264,32	319,4	343,6	116,74	45,03	30,95	140,58
2017	940,0	233,75	304,49	399,4	524,0	186,66	50,56	35,59	113,29
2018	601,8	150,10	189,30	280,7	237,7	99,80	43,64	26,78	107,17
2019	631,9	189,22	183,48	307,6	272,8	119,06	43,49	35,63	172,51
2020	636,7	171,55	196,19	334,4	259,4	97,12	35,89	26,34	108,26
2021	650,8	144,10	182,46	319,1	231,7	79,98	37,16	24,17	110,87
2022	635,3	159,23	178,99	296,6	375,5	163,96	44,36	32,85	107,25
2023	619,7	137,16	181,07	338,4	367,5	178,03	43,78	37,47	138,00
2024	584,7	128,15	212,21	307,3	242,0	119,47	52,32	34,67	98,90

Rok	Szymbark										
	Suma opadów	S-SO ₄ ²⁻	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	pH	przew.elekt.
	mm	stężenie średnie roczne [mg/dm ³]									μS/cm
2024	766,2	0,29	0,231	0,38	0,28	0,071	0,043	0,032	0,270	4,62	7,9

Rok	Szymbark								
	Suma opadów	S-SO ₄ ²⁻	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
	mm	ładunek roczny [mg/m ²]							
2024	766,2	221,07	178,27	288,3	228,9	62,46	33,90	25,21	200,41

6.3. Metale ciężkie w opadzie

Wybrane metale ciężkie, tj. ołów, kadm, miedź, cynk, chrom i nikiel w latach 1991-2002 były oznaczane w próbkach opadów w ramach sieci EMEP w Polsce jedynie na stacji w Łebie, a od 2003 roku badania prowadzone są także na stacji Puszcza Borecka, gdzie poza wyżej wymienionymi metalami oznaczany jest jeszcze arsen. W latach 2003-2009 stężenia metali ciężkich oznaczano na stacji Puszcza Borecka w próbkach opadu mokrego, a od 2010 roku – w opadzie całkowitym. Ponadto od 2004 roku na stacji Puszcza Borecka oznaczana jest również rtęć w opadzie całkowitym. Na stacji w Szymbarku, która dołączyła do sieci od 2024 roku oznaczano metale ciężkie w próbkach opadu mokrego w takim samym zakresie, co na stacji Puszcza Borecka (Pb, Cd, Cu, Zn, Cr, Ni, As i Hg). Przebieg wartości stężenia i mokrej depozycji metali ciężkich w poszczególnych latach przedstawiono na rysunkach 18 i 19, natomiast dane o stężeniu metali ciężkich oraz ładunkach wprowadzanych do podłoża zawarto w tabeli 15.

Analizując dane z lat 2010-2024 należy brać pod uwagę różnicę w metodyce pomiarów na stacjach - od 2010 roku na stacji Puszcza Borecka metale ciężkie oznaczane są w opadach całkowitych, podczas gdy na stacji nadmorskiej metale ciężkie oznaczane są niezmiennie w próbkach opadu mokrego. Również stacja w Szymbarku badania metali ciężkich w opadzie opiera na poborze prób opadu mokrego.

Spośród badanych metali ciężkich w największej ilości występuje w opadzie cynk, następnie miedź i ołów, oraz nikiel, najmniej w wodzie opadowej jest chromu i kadmu.

Stężenie ołowiu na stacji w Łebie po obniżeniu w latach 1996, 1997 i znacznym wzroście w latach 1998-2000, znacząco zmniejszyło się do 2002 roku, a potem cały czas jeszcze stopniowo się zmniejszało, do wartości najniższej z obserwowanych w 2023 roku ($0,130 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), po czym w 2024 roku nieznacznie wzrosło do $0,158 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. Stężenia podobne do tych w Łebie występowały na stacji Puszcza Borecka. W 2020 roku obserwowano tutaj najniższą wartość średnioroczną ołowiu w opadzie w przebiegu wieloletnim, wynoszącą $0,243 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. W kolejnych latach po roku 2022 stężenie ołowiu na stacji Puszcza Borecka w opadzie wzrosło do wartości wynoszącej w 2024 roku $1,264 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, czyli nieznacznie tylko niższej niż w początku lat 2000. Podobny przebieg na obu stacjach przedstawiały ładunki ołowiu wprowadzane do ekosystemu. Stężenie Pb na stacji w Szymbarku w 2024 roku było zbliżone do obserwowanego na stacji nadmorskiej i wyniosło $0,175 \mu\text{g}/\text{dm}^3$.

Wartości stężenia kadmu na stacji w Łebie zmniejszyły się o 97% w latach 1994-2022 z wartości $0,370$ do $0,009 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. W 2022 roku odnotowano najniższe stężenie roczne kadmu w opadzie w historii obserwacji na tej stacji. Kolejne lat przyniosły słaby wzrost stężenia do wartości $0,022 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ w 2024 roku. W Puszczy Boreckiej stężenia tego metalu były przeważnie na poziomie nieco wyższym niż w Łebie. Tutaj najniższa wartość wystąpiła w roku 2019 ($0,013 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), a wartość w 2024 roku wyniosła $0,035 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ i należała do najniższych z obserwowanych. Stężenie Cd w Szymbarku w 2024 roku wyniosło $0,040 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ i było wyższe niż w pozostałych rejonach badań, choć zbliżone do obserwowanego na stacji Puszcza Borecka.

Stężenie miedzi było dosyć zróżnicowane w kolejnych latach. Po okresie dość znacznych wartości stężenia w Łebie w okresie 1998-1999 ($3,8 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), w latach 2002-2009 stężenie miedzi w opadach ustabilizowało się na poziomie ok. $1 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, po czym

nieznacznie wzrosło i na pięć kolejnych lat 2010-2014 zatrzymało się na średnim poziomie ok. $1,2 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. W 2015 roku wzrosło do $2,010 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, a następnie zmniejszyło i w latach 2016-2023 utrzymywało się na poziomie $0,500$ - $0,779 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. W ostatnim roku badań stężenie wzrosło i wyniosło $0,971 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. Stężenia miedzi w opadzie na stacji Puszcza Borecka były bardziej zmienne z roku na rok na przestrzeni wielolecia i zmieniały się w zakresie od $2,284 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ (2006 rok) do $0,512 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ (2013 rok), zachowując tendencję spadkową. W latach 2015-2020 kształtowały się na w miarę jednakowym poziomie ok. $1,02 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. Po roku 2020 obserwowano w kolejnych latach wzrost stężenia do wartości wynoszącej w 2024 roku $2,192 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, stanowiącej jedną z najwyższych wartości w serii, równej tej z początku badań, tj. z roku 2003. Stężenie Cu w opadzie w rejonie Puszczy Boreckiej było w całym okresie badań wyższe niż na stacji nadmorskiej, z wyjątkiem krótkiego okresu 2013-2015, a w 2024 roku różnica wzrosła do $1,221 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. Stężenie Cu w Szymbarku w 2024 roku wynosiło $0,766 \mu\text{g}/\text{dm}^3$.

Stężenie cynku na stacji w Łebie było w początku okresu blisko dwukrotnie wyższe niż później, po 2001 roku. Od roku 2001 wartości na tej stacji zmieniały się z roku na rok, w zakresie od ok. $4 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ do blisko $8 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, przy czym od roku 2008 zaczęły stopniowo maleć i od 2016 roku utrzymywały się w zakresie $1,92$ – $3,33 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. W 2022 roku wartość średnia roczna ($2,01 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) należała do najniższych w całym okresie obserwacji, po czym stężenie wzrosło do $4,04 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ w 2024 roku. Na stacji Puszcza Borecka, po wzroście w 2008 roku, stężenie Zn zmniejszyło się w 2009 roku do poziomu najniższego z dotychczasowych ($3,70 \mu\text{g}/\text{dm}^3$). Po tym okresie stężenie tego metalu na stacji Puszcza Borecka wzrosło do poziomu $7 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ w 2012 roku, a następnie zmniejszyło się w 2013 roku do $3,53 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, tj. najniższej w całym okresie obserwacyjnym. Począwszy od 2014 roku poziom cynku w wodzie opadowej na stacji Puszcza Borecka był wyższy niż w Łebie, sukcesywnie wzrastał i w ostatnim 2024 roku osiągnął wartość najwyższą wynoszącą $8,46 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. Z kolei po roku 2015 stężenia cynku w opadzie w rejonie nadmorskim z malały i w 2024 roku były ponad dwukrotnie niższe niż w Puszczy Boreckiej. Stężenie Zn na stacji Szymbarku w 2024 roku wyniosło $6,21 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, było wyższe niż w Łebie, ale niższe niż na stacji Puszcza Borecka.

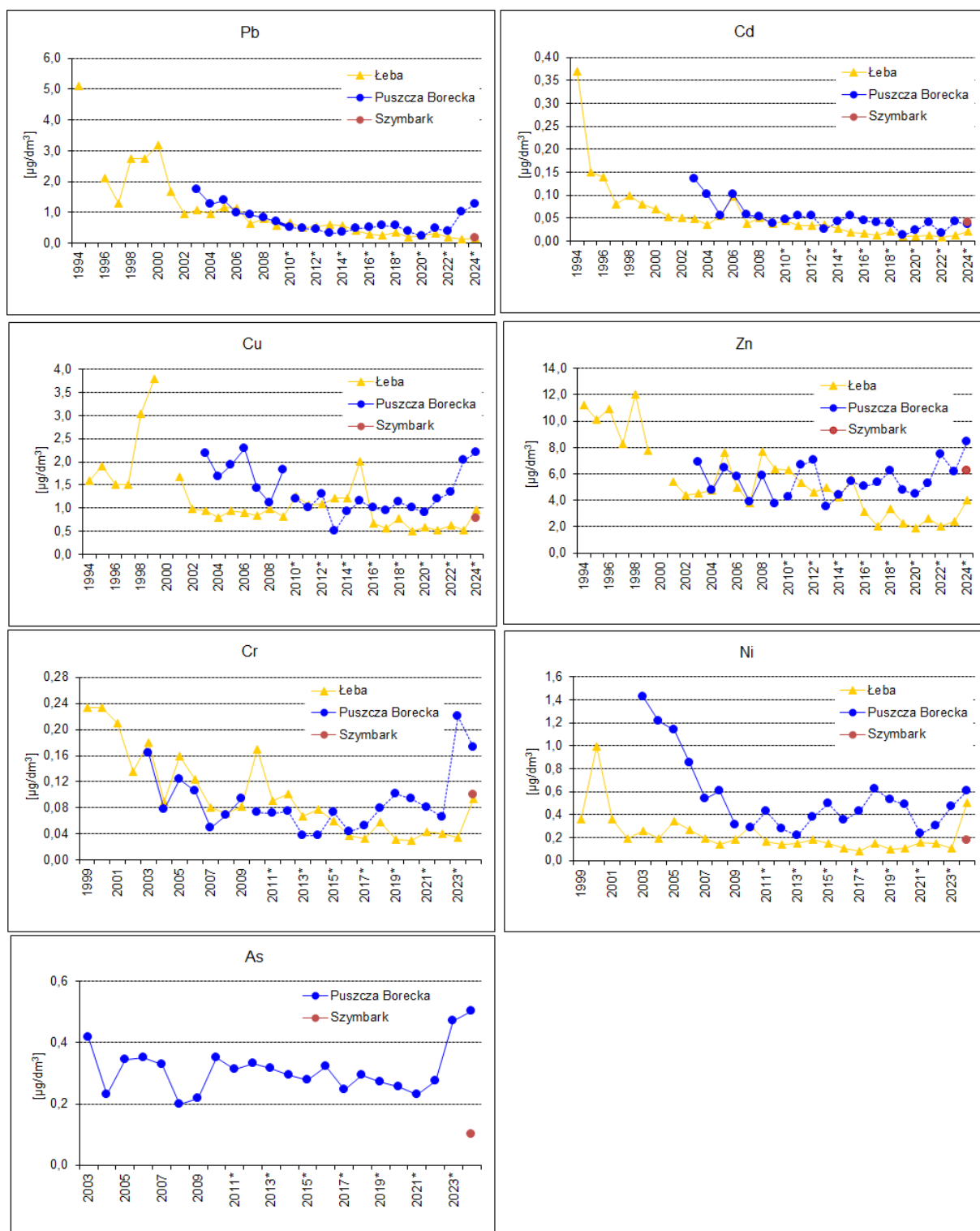
Do roku 2007 obserwowano spadkową tendencję stężenia chromu na stacjach Łeba i Puszcza Borecka. W latach 2007-2009 poziom chromu w Łebie wynosił ok. $0,08 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, po czym w 2010 roku znacznie wzrósł do $0,17 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, a następnie zmniejszał się przy niewielkich wahaniach z roku na rok do wartości $0,035 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ w 2023 roku. W roku 2024 wzrósł do poziomu $0,094 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ i był bliski wartości średniej rocznej z Szymbarku wynoszącej w 2024 roku $0,100 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. Na stacji Puszcza Borecka stężenie chromu w opadach przy zmienności z roku na rok wykazywało tendencję malejącą, do roku 2013. Do roku 2014 wartości w rejonie Puszczy Boreckiej były przeważnie niższe niż na stacji nadmorskiej, choć różnice były nieznaczne. W latach 2013-2014 (i w 2016) stężenie Cr w rejonie północno-wschodnim przyjęło wartości najniższe z dotychczas obserwowanych ($0,04 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), niższe od wartości z początku pomiarów o ok. 75%. W następnych latach wartość stężenia Cr w opadzie na stacji Puszcza Borecka wzrosła i począwszy od 2017 roku utrzymywała się na poziomie wyższym niż w Łebie. Stosunkowo silny wzrost stężenia Cr na tej stacji, wynoszący $0,220 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, co było wartością najwyższą w serii dla tej stacji, odnotowano w 2023 roku. W ostatnim roku badań stężenie Cr zmalało do wartości $0,172 \mu\text{g}/\text{dm}^3$,

co stanowiło wartość wyższą niż na stacji nadmorskiej o $0,94 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ i wyższą niż na stacji w Szymbarku o $0,72 \mu\text{g}/\text{dm}^3$.

Zawartość niklu w opadach znacznie zmniejszyła się w porównaniu z okresem z początku badań. Stężenie niklu na stacji Puszcza Borecka, które przez cały okres badań na tej stacji było wyższe od obserwowanego w Łebie, zmniejszyło się od wartości $1,422 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ w 2003 roku do ok. $0,30 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ w latach 2009-2010, a następnie – po rocznym wzroście – zmalało w kolejnych dwóch latach do wartości $0,219 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ w 2013 roku, co stanowiło minimum dla tej stacji. W kolejnych latach stężenie Ni wzrastało, osiągając w 2018 roku wartość wyższą niż w 2007 roku ($0,62 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), a następnie nieznacznie spadło. W 2021 roku stężenie tego metalu w opadzie w rejonie Puszczy Boreckiej należało do najniższych z obserwowanych na tej stacji, po czym w kolejnych latach wzrastało, w 2024 roku do wartości $0,606 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. W Łebie od maksimum w 2000 roku, wynoszącego $0,990 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, stężenie Ni w wodzie opadowej zmniejszyło się w 2001 roku i od tej pory przez cały czas, z niewielkimi wahaniami z roku na rok, utrzymywało się na podobnym, ale coraz niższym poziomie, wynoszącym średnio $0,18 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. W roku 2024 stężenie Ni na stacji nadmorskiej gwałtownie wzrosło do wartości $0,204 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, czyli niższej od obserwowanej w rejonie Puszczy Boreckiej o $0,101 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. Najniższe spośród trzech stacji stężenie niklu w opadzie odnotowano w 2024 roku na stacji w Szymbarku, gdzie wartość stężenia wyniosła $0,172 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, co stanowiło wartość niższą niż w Puszczy Boreckiej o $0,434 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ i o $0,329 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ niższą niż w Łebie.

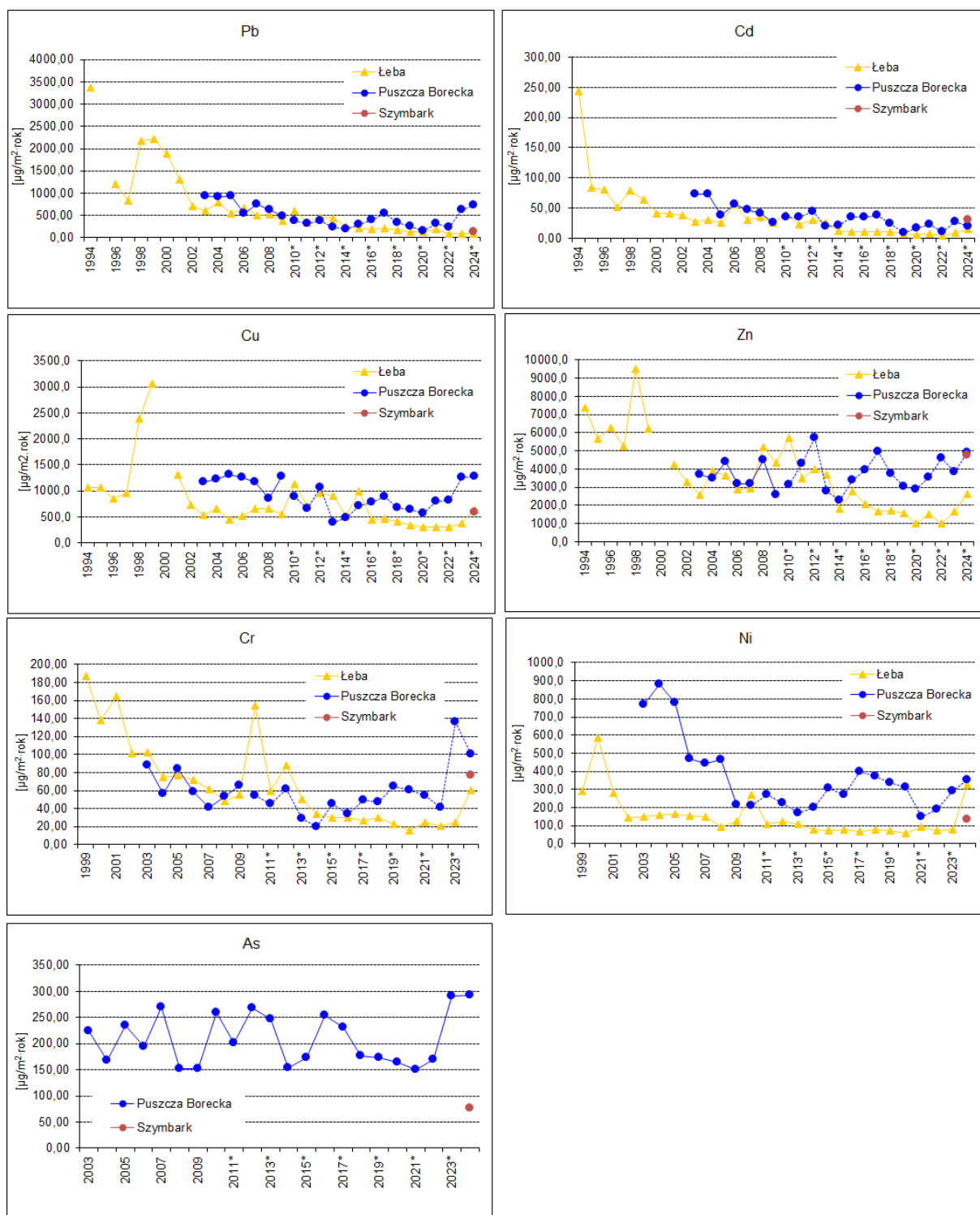
Przebieg stężenia arsenu w wodzie opadowej, z pomiarów prowadzonych do 2023 roku tylko na stacji Puszcza Borecka, był zmienny z roku na rok, a najwyższe wartości odnotowano w 2003 roku ($0,42 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), czyli w roku rozpoczęcia pomiarów As na tej stacji oraz w ostatnich dwóch latach 2023-2024, kiedy poziom As w opadzie wzrósł do $0,407$ - $0,502 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. W okresie między wartościami najwyższymi, czyli w latach 2004-2022, stężenie kształtowało się w zakresie od $0,200 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ (2008) do $0,352 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ (2006). Od 2024 roku pomiary prowadzone są również na stacji w Szymbarku, gdzie w pierwszym roku badań stężenie As w wodzie opadowej wyniosło $0,100 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, co stanowiło wartość niższą od odnotowanej na stacji Puszcza Borecka o $0,402 \mu\text{g}/\text{dm}^3$.

Na stacji nadmorskiej odnotowano w 2024 roku w porównaniu z rokiem poprzednim wzrost stężenia wszystkich metali ciężkich w opadzie, a na stacji Puszcza Borecka wzrost stężenia wszystkich metali ciężkich, poza chromem i kadmem. Względem średniej wieloletniej (1991-2023, Cr i Ni 1999-2023) na stacji nadmorskiej w Łebie stężenia wszystkich metali ciężkich w wodzie opadowej, poza niklem, były niższe: chromu o 7%, miedzi o 24%, cynku o 36%, kadmu o 77%, ołowiu o 88%, a stężenie niklu było wyższe o 139%. W odniesieniu do średniej wieloletniej 2003-2023 na stacji Puszcza Borecka stężenia wszystkich badanych metali (poza kadmem) były wyższe: niklu o 13%, cynku o 58%, arsenu i miedzi o 67%, ołowiu o 85% i chromu o 110%, natomiast kadmu niższe o 30%.



Rysunek 18. Stężenie metali ciężkich w opadach atmosferycznych w rejonach badań tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2024

* od 2010 roku stężenie metali ciężkich na stacji Puszcza Borecka oznaczane jest w opadzie całkowitym



Rysunek 19. Mokra depozycja metali ciężkich w rejonach badań tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2024

* od 2010 roku stężenie metali ciężkich na stacji Puszcza Borecka jest oznaczane w opadzie całkowitym.

Tabela 155. Stężenie (a) i mokra depozycja (b) metali ciężkich w wodzie opadowej na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Łebie, Puszczy Boreckiej i Szymbarku w latach 1994-2024

a)

Rok	Łeba							Rok	Puszcza Borecka							Rok	Szymbark								
	h	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Ni		h	Pb	Cd	Cu	Zn	As	Cr		Ni	h	Pb	Cd	Cu	Zn	As	Cr	Ni
	mm	stężenie roczne [µg/dm³]							mm	stężenie roczne [µg/dm³]							mm	stężenie roczne [µg/dm³]							
1994	660,9	5,100	0,370	1,600	11,20	x	x	1994	739,7	x	x	x	x	x	x	x	1994		x	x	x	x	x	x	x
1995	560,5	-	0,150	1,900	10,10	x	x	1995	699,1	x	x	x	x	x	x	x	1995		x	x	x	x	x	x	x
1996	574,2	2,100	0,140	1,500	10,90	x	x	1996	494,1	x	x	x	x	x	x	x	1996		x	x	x	x	x	x	x
1997	635,9	1,300	0,080	1,500	8,30	x	x	1997	611,0	x	x	x	x	x	x	x	1997		x	x	x	x	x	x	x
1998	791,7	2,760	0,100	3,030	12,01	x	x	1998	749,2	x	x	x	x	x	x	x	1998		x	x	x	x	x	x	x
1999	803,6	2,750	0,080	3,800	7,75	0,233	0,360	1999	653,1	x	x	x	x	x	x	x	1999		x	x	x	x	x	x	x
2000	594,3	3,190	0,070	-	-	0,233	0,990	2000	571,8	x	x	x	x	x	x	x	2000		x	x	x	x	x	x	x
2001	786,6	1,660	0,052	1,680	5,40	0,210	0,360	2001	756,5	x	x	x	x	x	x	x	2001		x	x	x	x	x	x	x
2002	746,0	0,960	0,051	0,990	4,41	0,136	0,190	2002	654,4	x	x	x	x	x	x	x	2002		x	x	x	x	x	x	x
2003	569,6	1,080	0,048	0,950	4,55	0,180	0,260	2003	539,3	1,726	0,136	2,185	6,85	0,416	0,164	1,422	2003		x	x	x	x	x	x	x
2004	826,5	0,960	0,036	0,800	4,73	0,090	0,190	2004	726,5	1,259	0,101	1,680	4,78	0,230	0,078	1,209	2004		x	x	x	x	x	x	x
2005	478,6	1,160	0,055	0,940	7,62	0,160	0,340	2005	685,2	1,377	0,055	1,922	6,42	0,343	0,123	1,140	2005		x	x	x	x	x	x	x
2006	579,3	1,150	0,097	0,900	4,94	0,123	0,270	2006	552,8	0,970	0,101	2,284	5,75	0,352	0,106	0,853	2006		x	x	x	x	x	x	x
2007	775,2	0,650	0,039	0,840	3,77	0,080	0,190	2007	818,9	0,919	0,057	1,426	3,89	0,329	0,050	0,539	2007		x	x	x	x	x	x	x
2008	674,2	0,780	0,051	0,990	7,72	0,071	0,140	2008	763,6	0,831	0,053	1,117	5,88	0,200	0,069	0,604	2008		x	x	x	x	x	x	x
2009	681,7	0,560	0,038	0,820	6,38	0,082	0,180	2009	695,8	0,691	0,038	1,826	3,70	0,219	0,094	0,308	2009		x	x	x	x	x	x	x
2010	909,0	0,680	0,044	1,250	6,31	0,170	0,300	2010*	743,4	0,504	0,047	1,188	4,24	0,350	0,073	0,286	2010		x	x	x	x	x	x	x
2011	652,1	0,510	0,034	1,080	5,37	0,091	0,170	2011*	643,9	0,484	0,054	1,015	6,69	0,312	0,071	0,424	2011		x	x	x	x	x	x	x
2012	868,4	0,540	0,034	1,100	4,62	0,102	0,140	2012*	813,0	0,460	0,055	1,309	7,00	0,330	0,075	0,277	2012		x	x	x	x	x	x	x
2013	740,2	0,590	0,036	1,210	4,98	0,067	0,150	2013*	786,2	0,313	0,025	0,512	3,53	0,315	0,037	0,219	2013		x	x	x	x	x	x	x
2014	433,1	0,580	0,028	1,210	4,22	0,078	0,180	2014*	522,4	0,367	0,042	0,916	4,36	0,294	0,037	0,380	2014		x	x	x	x	x	x	x
2015	493,2	0,420	0,019	2,010	5,60	0,060	0,150	2015*	623,7	0,466	0,055	1,151	5,41	0,278	0,073	0,494	2015		x	x	x	x	x	x	x
2016	663,4	0,300	0,016	0,670	3,14	0,038	0,110	2016*	784,8	0,518	0,044	1,007	5,05	0,323	0,044	0,348	2016		x	x	x	x	x	x	x
2017	832,9	0,250	0,013	0,570	2,01	0,033	0,080	2017*	935,7	0,587	0,040	0,944	5,32	0,246	0,053	0,427	2017		x	x	x	x	x	x	x
2018	523,5	0,352	0,021	0,779	3,33	0,058	0,148	2018*	601,3	0,575	0,039	1,132	6,23	0,295	0,079	0,622	2018		x	x	x	x	x	x	x
2019	704,1	0,200	0,010	0,500	2,24	0,032	0,100	2019*	635,8	0,397	0,013	0,998	4,78	0,271	0,102	0,529	2019		x	x	x	x	x	x	x
2020	528,6	0,250	0,011	0,590	1,92	0,030	0,110	2020*	643,0	0,243	0,024	0,898	4,49	0,256	0,094	0,489	2020		x	x	x	x	x	x	x
2021	574,1	0,320	0,013	0,530	2,63	0,044	0,160	2021*	667,4	0,480	0,040	1,190	5,29	0,230	0,080	0,230	2021		x	x	x	x	x	x	x
2022	497,8	0,190	0,009	0,620	2,01	0,041	0,150	2022*	617,9	0,378	0,016	1,334	7,47	0,274	0,066	0,304	2022		x	x	x	x	x	x	x
2023	685,6	0,130	0,013	0,530	2,40	0,035	0,110	2023*	619,7	1,002	0,043	2,033	6,17	0,470	0,220	0,470	2023		x	x	x	x	x	x	x
2024	654,7	0,158	0,022	0,971	4,04	0,094	0,501	2024*	582,2	1,264	0,035	2,192	8,46	0,502	0,172	0,606	2024	766,2	0,175	0,040	0,766	6,21	0,100	0,100	0,172

'x' – brak pomiarów,

'-' - niepełna seria roczna (<75% wartości), uniemożliwiająca wyliczenie średniej.

b)

Rok	Łeba							Rok	Puszcza Borecka								Rok	Szymbark							
	h	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Ni		h	Pb	Cd	Cu	Zn	As	Cr	Ni		h	Pb	Cd	Cu	Zn	As	Cr	Ni
	mm	ładunek roczny [µg/m ²]							mm	ładunek roczny [µg/m ²]								mm	ładunek roczny [µg/m ²]						
1994	660,9	3370,590	244,53	1057,440	7402,1	x	x	1994	739,7	x	x	x	x	x	x	x	1994		x	x	x	x	x	x	x
1995	560,5	-	84,08	1064,950	5661,1	x	x	1995	699,1	x	x	x	x	x	x	x	1995		x	x	x	x	x	x	x
1996	574,2	1205,820	80,39	861,300	6258,8	x	x	1996	494,1	x	x	x	x	x	x	x	1996		x	x	x	x	x	x	x
1997	635,9	826,670	50,87	953,850	5278,0	x	x	1997	611,0	x	x	x	x	x	x	x	1997		x	x	x	x	x	x	x
1998	791,7	2185,092	79,17	2398,851	9508,3	x	x	1998	749,2	x	x	x	x	x	x	x	1998		x	x	x	x	x	x	x
1999	803,6	2209,900	64,29	3053,680	6227,9	187,24	289,296	1999	653,1	x	x	x	x	x	x	x	1999		x	x	x	x	x	x	x
2000	594,3	1895,817	41,60	-	-	138,47	588,357	2000	571,8	x	x	x	x	x	x	x	2000		x	x	x	x	x	x	x
2001	786,6	1305,756	40,90	1321,488	4247,6	165,19	283,176	2001	756,5	x	x	x	x	x	x	x	2001		x	x	x	x	x	x	x
2002	746,0	716,160	38,05	738,540	3289,9	101,46	141,740	2002	654,4	x	x	x	x	x	x	x	2002		x	x	x	x	x	x	x
2003	569,6	615,168	27,34	541,120	2591,7	102,53	148,096	2003	539,3	930,977	73,52	1178,138	3692,7	224,31	88,41	766,788	2003		x	x	x	x	x	x	x
2004	826,5	793,440	29,75	661,200	3909,3	74,39	157,035	2004	726,5	914,595	73,69	1220,692	3471,4	167,39	56,47	878,137	2004		x	x	x	x	x	x	x
2005	478,6	555,176	26,32	449,884	3646,9	76,58	162,724	2005	685,2	943,603	37,48	1316,833	4401,5	234,97	84,02	781,448	2005		x	x	x	x	x	x	x
2006	579,3	666,195	56,19	521,370	2861,7	71,25	156,411	2006	552,8	536,435	55,56	1262,591	3178,4	194,58	58,68	471,358	2006		x	x	x	x	x	x	x
2007	775,2	503,880	30,23	651,168	2922,5	62,02	147,288	2007	818,9	752,654	46,94	1167,634	3183,8	269,03	41,10	441,449	2007		x	x	x	x	x	x	x
2008	674,2	525,876	34,38	667,458	5204,8	47,87	94,388	2008	763,6	634,545	40,73	853,064	4486,9	152,64	53,00	461,573	2008		x	x	x	x	x	x	x
2009	681,7	381,752	25,90	558,994	4349,2	55,90	122,706	2009	695,8	480,877	26,42	1270,424	2573,2	152,61	65,22	214,423	2009		x	x	x	x	x	x	x
2010	909,0	618,120	40,00	1136,250	5735,8	154,53	272,700	2010*	743,4	374,350	34,63	882,906	3154,0	260,10	54,46	212,622	2010		x	x	x	x	x	x	x
2011	652,1	332,571	22,17	704,268	3501,8	59,34	110,857	2011*	643,9	311,441	34,50	653,575	4308,5	201,00	45,48	272,771	2011		x	x	x	x	x	x	x
2012	868,4	468,936	29,53	955,240	4012,0	88,58	121,576	2012*	813,0	374,059	44,65	1063,874	5694,1	268,29	61,21	224,830	2012		x	x	x	x	x	x	x
2013	740,2	440,000	26,00	900,000	3690,0	50,00	110,000	2013*	786,2	245,791	19,42	402,576	2773,2	247,80	28,86	171,934	2013		x	x	x	x	x	x	x
2014	433,1	250,000	12,00	520,000	1830,0	34,00	77,000	2014*	522,4	191,610	21,77	478,374	2277,3	153,47	19,39	198,765	2014		x	x	x	x	x	x	x
2015	493,2	210,000	10,00	990,000	2760,0	30,00	73,000	2015*	623,7	290,511	34,17	717,987	3372,6	173,42	45,24	307,943	2015		x	x	x	x	x	x	x
2016	663,4	200,000	10,00	450,000	2080,0	30,00	80,000	2016*	784,8	406,148	34,17	789,923	3960,1	253,48	34,45	273,279	2016		x	x	x	x	x	x	x
2017	832,9	210,000	11,00	470,000	1680,0	27,00	67,000	2017*	935,7	549,201	37,85	883,497	4980,2	230,57	49,45	399,426	2017		x	x	x	x	x	x	x
2018	523,5	180,000	11,00	410,000	1740,0	30,00	77,000	2018*	601,3	345,968	23,63	680,849	3747,6	177,08	47,57	373,722	2018		x	x	x	x	x	x	x
2019	704,1	140,000	7,00	350,000	1580,0	23,00	73,000	2019*	635,8	252,363	8,46	634,443	3037,2	172,25	65,07	336,616	2019		x	x	x	x	x	x	x
2020	528,6	130,000	6,00	310,000	1020,0	16,00	58,000	2020*	643,0	156,178	15,75	577,680	2884,8	164,80	60,52	314,198	2020		x	x	x	x	x	x	x
2021	574,1	190,000	7,00	300,000	1510,0	25,00	93,000	2021*	667,4	318,000	23,00	793,000	3531,0	151,00	54,00	150,000	2021		x	x	x	x	x	x	x
2022	497,8	100,000	5,00	310,000	1000,0	21,00	72,000	2022*	617,9	233,320	9,78	824,195	4613,5	169,27	40,68	187,899	2022		x	x	x	x	x	x	x
2023	685,6	90,000	9,00	370,000	1670,0	25,00	79,000	2023*	619,7	621,243	26,46	1259,874	3826,5	291,37	136,20	291,331	2023		x	x	x	x	x	x	x
2024	654,7	100,000	15,00	640,000	2650,0	61,00	328,000	2024*	582,2	736,026	20,28	1276,380	4923,1	292,05	100,08	352,898	2024	766,2	134,311	30,84	586,833	4760,3	76,62	76,62	131,479

Wartość średnia roczna jest obliczona jako średnia arytmetyczna ważona, gdzie wagą jest miesięczna suma opadów; na stacji w Łebie od 1999 roku: próbki półmiesięczne, od 2016 roku próbki miesięczne zlewane z dwutygodniowych, od 2024 roku próbki miesięczne zlewane z tygodniowych; średnie miesięczne stężenie jest obliczone jako wartość średnia arytmetyczna ważona, gdzie wagą jest suma opadów w okresie poboru próbki.

* na stacji Puszcza Borecka od 2010 roku stężenie metali ciężkich oznaczane jest w opadzie całkowitym

Wielkości rocznej depozycji większości metali ciężkich, badanych na stacji Puszcza Borecka w opadach całkowitych, w 2024 roku (poza kadmem i niklem) były większe niż uśrednione wielkości depozycji metali z opadami mokrymi, badanymi w okresie 2003-2009 i całkowitymi, badanymi w latach 2010-2023. Różnice względne w stosunku do średniej dla wielolecia osiągnęły od - 41% w przypadku kadmu i -4% w przypadku niklu, przez 34% dla cynku oraz 41-42% dla arsenu i miedzi, do 57% dla ołowiu i 77% dla chromu. Wielkości rocznej depozycji metali ciężkich w Łebie badanych przez cały okres obserwacyjny w opadzie mokrym w 2024 roku były mniejsze względem wartości uśrednionej dla wielolecia w przypadku wszystkich metali, poza niklem. Różnice względne wyniosły od - 89% dla ołowiu, - 75% dla kadmu, - 36% dla cynku, - 24% dla miedzi i - 9% dla chromu do 134% dla niklu.

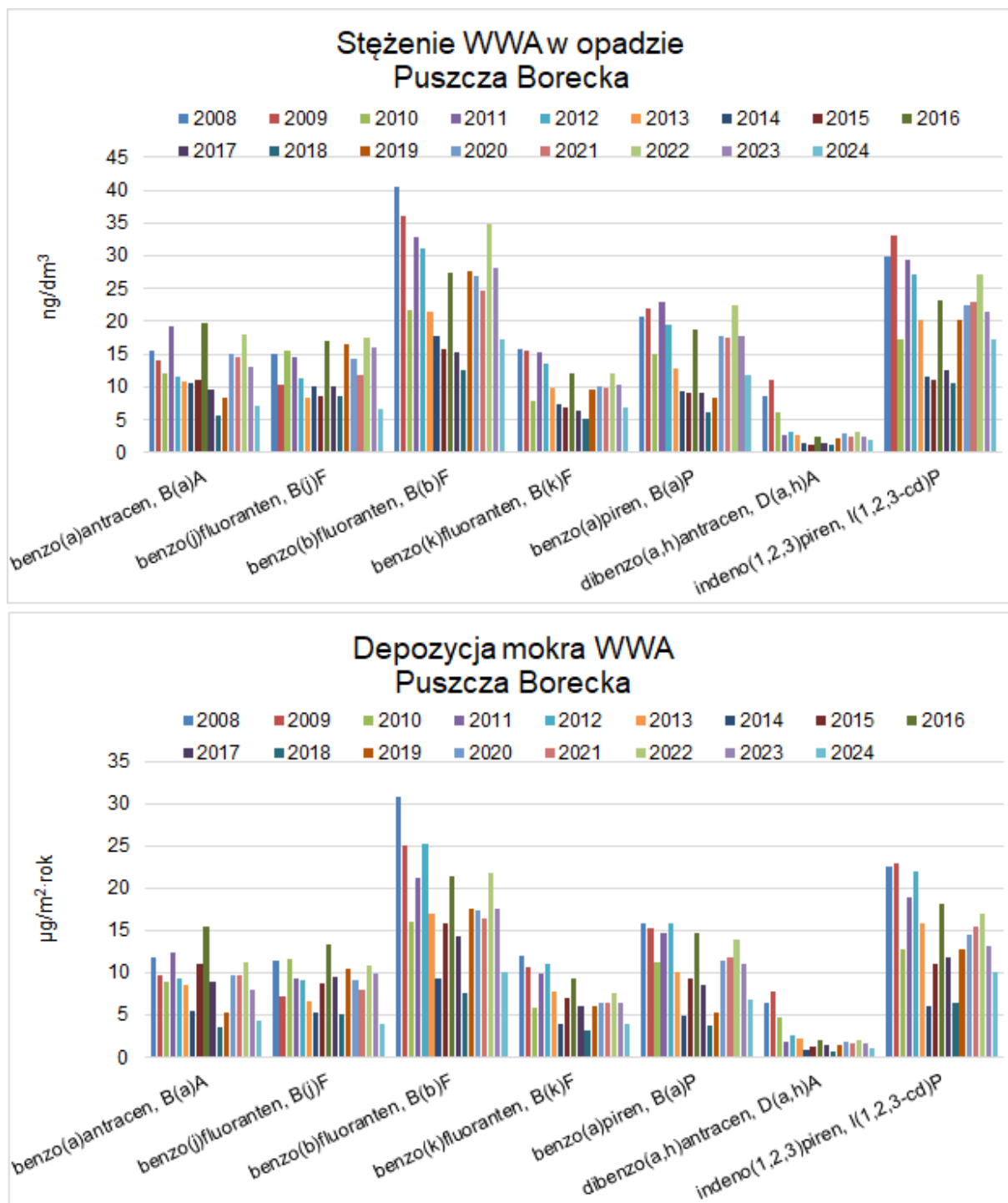
6.4. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w opadzie

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w opadach badane są na stacji Puszcza Borecka od 2008 roku w myśl Dyrektywy 2004/107/WE.

W największych ilościach w opadach występował benzo(b)fluoranten, następnie indeno(1,2,3-cd)piren i benzo(a)piren. Przez wiele lat czwartym pod względem stężenia i depozycji WWA w opadzie atmosferycznym był benzo(j)fluoranten, tymczasem w 2024 roku wartości stężenia benzo(j)fluorantenu B(j)F, benzo(a)antracenu B(a)A i benzo(k)fluorantenu B(k)F bardzo zbliżyły się do siebie i największe z trzech wymienionych stężenie miał benzo(a)antracen. Najmniejsze udziały w depozycji sumy WWA miał w 2024 roku, podobnie jak w całym wieloleciu 2008-2024, dibenzo(a,h)antracen.

Stężenie sumy WWA oznaczanych w opadach osiągnęło w roku 2024 wartość niższą o 37% niż rok wcześniej i o 35% od średniej z okresu 2008-2023. Stężenia wszystkich badanych WWA były w roku 2024 niższe od średniej z piętnastu poprzednich lat. Względne różnice wyniosły od -58% dla B(j)F do -20% dla pozostałych, dla I(1,2,3-cd)P.

Roczna depozycja sumy WWA była w roku 2024 o 41% mniejsza niż rok wcześniej (wskutek zmniejszenia stężeń badanych składników i sumy opadów) i o 41% od wartości uśrednionej w okresie 2008-2023. Wartości depozycji badanych WWA były mniejsze od średnich z lat 2008-2023 dla wszystkich badanych związków, a względne różnice pomiędzy depozycją w roku 2024 a średnią z wielolecia wyniosły od -59% dla B(j)F przez -40% dla B(a)P po -34% dla I(1,2,3-cd)P. Do obliczania wielkości depozycji WWA wykorzystywano wysokość opadu zmierzoną deszczomierzem Hellmanna.



Rysunek 20. Średnie roczne stężenia WWA w opadach całkowitych (na górze) i mokra depozycja WWA (na dole) na stacji Puszcza Borecka w latach 2008-2024

Tabela 16. Stężenie WWA w opadach atmosferycznych i mokra depozycja WWA na stacji Puszcza Borecka w latach 2008-2024

Rok	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
	średnie stężenie roczne, ng/dm ³																
benzo(a)antracen, B(a)A	15,62	13,96	12,15	19,14	11,52	10,8	10,62	11,13	19,72	9,5	5,77	8,46	15,03	14,49	18,07	12,96	7,27
benzo(j)fluoranten, B(j)F	14,99	10,42	15,6	14,62	11,28	8,4	10,16	8,74	17,06	10,16	8,51	16,5	14,24	11,84	17,43	16,03	6,69
benzo(b)fluoranten, B(b)F	40,49	36,11	21,62	32,83	31,14	21,56	17,88	15,79	27,38	15,31	12,7	27,77	26,99	24,68	34,75	28,25	17,22
benzo(k)fluoranten, B(k)F	15,84	15,49	7,78	15,24	13,69	9,93	7,45	6,99	12,01	6,41	5,23	9,58	10,07	9,75	12,09	10,46	6,86
benzo(a)piren, B(a)P	20,85	21,98	15,01	22,88	19,52	12,77	9,31	9,23	18,8	9,05	6,13	8,44	17,69	17,64	22,41	17,69	11,77
dibenzo(a,h)antracen, D(a,h)A	8,54	11,13	6,26	2,74	3,27	2,7	1,57	1,18	2,57	1,53	1,2	2,17	2,94	2,38	3,1	2,51	1,86
indeno(1,2,3)piren, I(1,2,3-cd)P	29,79	33,06	17,29	29,28	27,16	20,28	11,54	11,11	23,24	12,69	10,73	20,19	22,43	23,05	27,13	21,36	17,17
suma WWA	144,88	147,38	95,71	135,18	116,49	91,69	70,79	64,16	120,80	64,65	50,27	93,10	109,39	103,82	134,99	109,27	68,84

Rok	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
	ładunek roczny, µg/m ²																
benzo(a)antracen, B(a)A	11,886	9,665	9,034	12,349	9,365	8,492	5,547	11,128	15,462	8,893	3,472	5,378	9,667	9,669	11,311	8,029	4,234
benzo(j)fluoranten, B(j)F	11,407	7,219	11,598	9,416	9,170	6,604	5,306	8,739	13,377	9,506	5,116	10,490	9,155	7,899	10,911	9,936	3,892
benzo(b)fluoranten, B(b)F	30,802	25,009	16,071	21,180	25,316	16,949	9,339	15,788	21,471	14,322	7,636	17,656	17,357	16,470	21,748	17,508	10,023
benzo(k)fluoranten, B(k)F	12,047	10,729	5,786	9,832	11,131	7,804	3,893	6,992	9,415	5,997	3,146	6,092	6,472	6,509	7,570	6,483	3,994
benzo(a)piren, B(a)P	15,866	15,220	11,156	14,762	15,870	10,039	4,865	9,235	14,745	8,466	3,686	5,364	11,377	11,771	14,029	10,960	6,851
dibenzo(a,h)antracen, D(a,h)A	6,500	7,706	4,650	1,769	2,655	2,125	0,822	1,179	2,017	1,428	0,721	1,379	1,888	1,591	1,941	1,558	1,086
indeno(1,2,3)piren, I(1,2,3-cd)P	22,667	22,892	12,855	18,888	22,085	15,944	6,026	11,106	18,226	11,878	6,451	12,839	14,421	15,383	16,980	13,238	9,999
suma WWA	110,222	102,061	71,149	87,208	94,710	72,084	36,974	64,165	94,731	60,491	30,228	59,199	70,338	69,292	84,489	67,713	40,079

7. Depozycja zanieczyszczeń do podłoża w 2024 roku na tle wielolecia

Wielkość suchej depozycji tlenowych związków siarki: dwutlenku siarki i siarczanów w aerozolu, tlenowych związków azotu: dwutlenku azotu i azotanów w aerozolu obliczano, wykorzystując wielkość stężenia tych związków oraz współczynniki osiadania danej substancji [Lehmhaus i in. 1986]. Oszacowano również roczną suchą depozycję jonu wodorowego związaną z depozycją dwutlenku siarki.

Wielkość depozycji mokrej obliczano wykorzystując wartości stężenia poszczególnych substancji w próbach opadów oraz wysokość opadu w danym okresie pomiarowym. Mokłą depozycję jonu wodorowego obliczano na podstawie wartości pH opadów.

Roczne wartości mokrego ładunku jonu wodorowego (rysunek 16, tabela 17) wyniosły w 2024 roku od 2,1200 mgH⁺/m² w Jarczewie, 2,2258 mgH⁺/m² na stacji Puszcza Borecka, 3,0700 mgH⁺/m² w Łebie do 19,1140 mgH⁺/m² na stacji w Szymbarku.

W roku 2024 mokra depozycja siarki siarczanowej, kolejnego składnika mającego istotny wpływ na zakwaszenie podłoża, wyniosła od 127,9-215,2 mgS/m²·rok na stacjach nizinnych i 221,07 mgS/m²·rok w Szymbarku.

Mokra depozycja azotu azotanowego mieściła się w zakresie od 204,0-240,1 mgN/m²·rok na stacjach nizinnych i 178,27 mgN/m²·rok na stacji w Szymbarku.

Mokra depozycja jonów wodorowych, siarczanowych i azotanowych w nizinnych rejonach badań była w 2024 roku niższa niż w średnio w wieloleciu (1994-2023).

W rejonach badania tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w 2024 roku wartości depozycji całkowitej najważniejszych związków zakwaszających wyniosły: depozycji siarki w związkach tlenowych [mgS/m²·rok]: od 185,2 (Puszcza Borecka) do 307,5 (Jarczew), depozycji azotu w związkach tlenowych [mgN/m²·rok]: od 338,8 (Puszcza Borecka) do 545,3 (Jarczew), depozycji jonu wodorowego [mgH⁺/m²·rok]: od 4,6 (Puszcza Borecka) do 7,3 (Łeba).

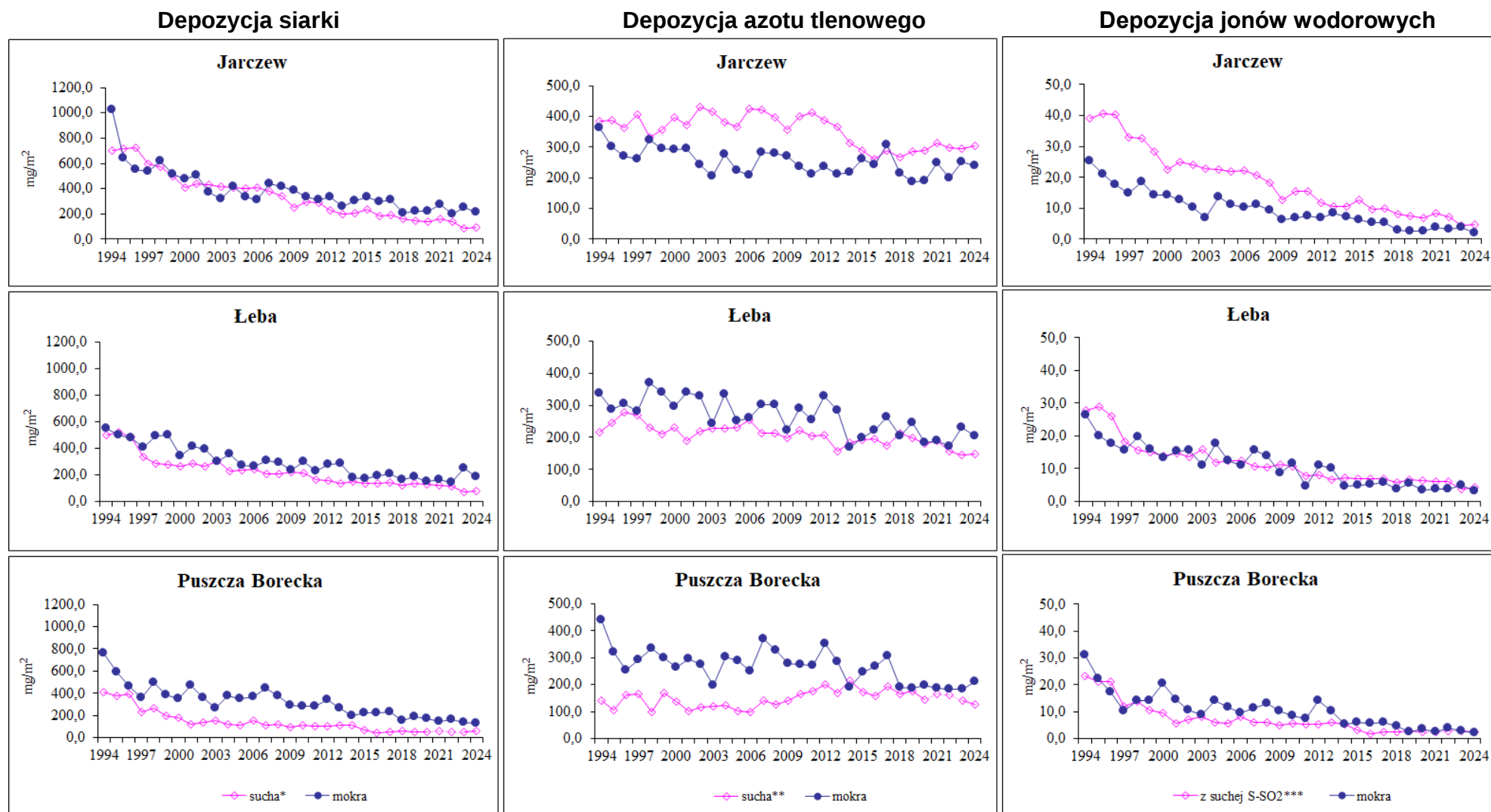
Jak w poprzednich latach, mokra depozycja siarki w związkach tlenowych przeważała nad suchą we wszystkich rejonach badań. Depozycja mokra nad suchą przeważała również w przypadku azotu w związkach tlenowych w rejonie Puszczy Boreckiej i w rejonie nadmorskim, natomiast w rejonie środkowo-wschodnim azot trafiał do podłoża przede wszystkim pod postacią suchej depozycji. Jony wodorowe w 2024 roku we wszystkich nizinnych rejonach badań docierały do podłoża głównie jako sucha depozycja.

W 2024 roku udziały mokrej depozycji w depozycji całkowitej były następujące: siarki w związkach tlenowych - od 69% w Łebie i na stacji Puszcza Borecka do 70% w Jarczewie, azotu w związkach tlenowych - od 44 % w Jarczewie, 58% w Łebie i 63% w Puszczy Boreckiej, natomiast depozycja mokra jonu wodorowego stanowiła od 30% całkowitej depozycji w Jarczewie, 42% w Łebie, do 46% w rejonie Puszczy Boreckiej.

Tabela 17. Stężenie i depozycja mokra jonów wodorowych na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2024

Rok	Jarczew	Łeba	Puszcza Borecka	Szymbark	Rok	Jarczew	Łeba	Puszcza Borecka	Szymbark
	stężenie jonów wodoru mg/dm ³					ładunek jonów wodoru mg/m ² rok			
1994	0,0288	0,0398	0,0417	x	1994	25,0600	26,4400	31,0410	x
1995	0,0372	0,0355	0,0347	x	1995	20,8000	19,8400	24,0962	x
1996	0,0309	0,0302	0,0347	x	1996	17,4300	17,2300	17,2791	x
1997	0,0240	0,0245	0,0162	x	1997	14,7300	15,5800	9,9119	x
1998	0,0257	0,0251	0,0186	x	1998	16,0800	19,7900	13,9712	x
1999	0,0214	0,0195	0,0219	x	1999	14,2800	15,6700	14,1671	x
2000	0,0245	0,0229	0,0355	x	2000	14,2600	13,6100	20,3858	x
2001	0,0186	0,0195	0,0191	x	2001	12,6300	15,4200	14,2902	x
2002	0,0186	0,0209	0,0162	x	2002	10,3100	15,5900	10,5002	x
2003	0,0158	0,0191	0,0155	x	2003	7,0000	10,9900	8,9931	x
2004	0,0245	0,0214	0,0195	x	2004	13,7000	17,6000	14,0992	x
2005	0,0229	0,0263	0,0166	x	2005	11,3500	12,5200	11,4368	x
2006	0,0191	0,0186	0,0170	x	2006	10,3100	10,9900	9,4403	x
2007	0,0195	0,0200	0,0138	x	2007	11,0200	15,5800	11,4836	x
2008	0,0141	0,0204	0,0174	x	2008	9,4300	13,7900	13,0596	x
2009	0,0089	0,0129	0,0145	x	2009	6,1400	8,7900	9,9793	x
2010	0,0105	0,0135	0,0110	x	2010	7,5100	12,1800	8,1890	x
2011	0,0126	0,0078	0,0115	x	2011	7,3800	5,0900	7,1322	x
2012	0,0117	0,0126	0,0166	x	2012	6,9100	11,0300	13,6928	x
2013	0,0151	0,0141	0,0129	x	2013	8,7700	10,5800	10,0973	x
2014	0,0132	0,0107	0,0105	x	2014	7,7600	4,6800	5,3662	x
2015	0,0120	0,0102	0,0097	x	2015	6,3800	4,9800	6,1396	x
2016	0,0089	0,0081	0,0071	x	2016	5,6900	5,3700	5,5407	x
2017	0,0071	0,0071	0,0065	x	2017	5,4100	5,8300	6,0066	x
2018	0,0056	0,0072	0,0076	x	2018	2,9300	3,8200	4,5927	x
2019	0,0051	0,0076	0,0038	x	2019	2,6800	5,4200	2,4263	x
2020	0,0039	0,0066	0,0054	x	2020	2,5600	3,4900	3,4537	x
2021	0,0062	0,0066	0,0038	x	2021	3,9200	3,7900	2,4633	x
2022	0,0055	0,0074	0,0058	x	2022	3,0500	3,6900	3,6553	x
2023	0,0062	0,0072	0,0047	x	2023	3,8700	5,0000	3,3006	x
2024	0,0035	0,0046	0,0038	0,0241	2024	2,1200	3,0700	2,2258	19,1140

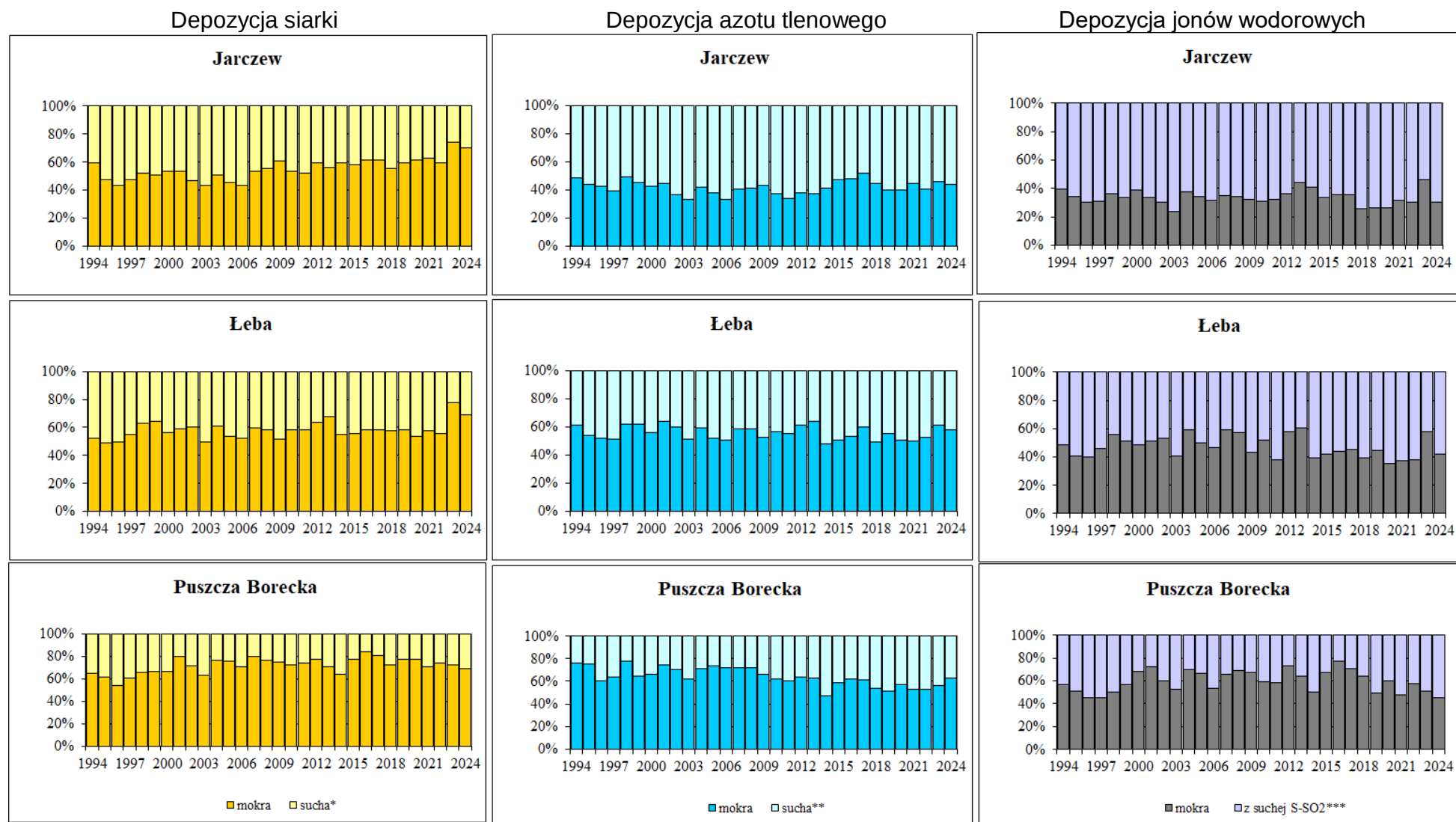
Wartość średnią roczną wyznaczono ze średniego rocznego stężenia jonów wodorowych obliczonego jako średnia arytmetyczna ważona z dobowych obliczeniowych stężeń jonów wodorowych - wagą dobową suma opadów;
pH= – log_{c_H}, gdzie: c_H - stężenie jonów wodorowych.



Rysunek 21. Sucha i mokra depozycja siarki, azotu tlenowego i jonów wodorowych w rejonach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2024

* S-SO₂ oraz S-SO₄²⁻ (aerozol), ** N-NO₂ oraz N-NO₃⁻ (aerozol), *** z depozycji SO₂.

Na stacji Puszcza Borecka od 2017 roku wyniki suchej depozycji na podstawie pomiarów automatycznych SO₂ i NO₂.



Rysunek 22. Udział suchej i mokrej depozycji w depozycji całkowitej w rejonach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2024

* S-SO₂ oraz S-SO₄²⁻ (aerozol), ** N-NO₂ oraz N-NO₃⁻ (aerozol), *** z depozycji SO₂; na stacji Puszcza Borecka od 2017 roku sucha depozycja na podstawie pomiarów automatycznych SO₂ i NO₂.

W tabeli 17 zamieszczono dane o rocznych wartościach suchej, mokrej i całkowitej depozycji siarki, azotu tlenowego i jonów wodorowych w latach 1994- 2024, zilustrowane również na wykresach. Na rysunku 21 przedstawiono bezwzględne wartości suchej i mokrej depozycji tlenowych związków siarki i azotu oraz jonu wodorowego, a na rysunku 22 - udziały suchej i mokrej depozycji związków zakwaszających w depozycji całkowitej we wszystkich rejonach badań tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w kolejnych latach monitoringu.

W Jarczewie miał miejsce powolny spadek suchej i mokrej depozycji siarki (rysunek 21), przy czym stale bardzo powoli wzrasta stosunek mokrej do całkowitej depozycji tego składnika w tym rejonie badań (rysunek 22). Obserwowano ponadto spadek suchej i mokrej depozycji jonu wodorowego. Dostawa tlenowych związków azotu w postaci suchej depozycji była w okresie wielolecia prawie niezmienna, natomiast bardzo nieznacznie zmniejszała się mokra depozycja tego składnika. Po okresie niewielkiego wzrostu mokrej depozycji azotu tlenowego w latach 2015-2017, a spadku suchej, wskutek czego wartości zrównały się ze sobą (rysunek 21), znów – od 2018 roku – widoczna jest przewaga depozycji suchej nad mokrą.

Na stacji nadmorskiej w Łebie depozycja sucha i mokra związków siarki i jonu wodorowego w ciągu wielolecia nieznacznie, ale konsekwentnie malała. W okresie 2014-2022 zanotowano przewagę depozycji suchej nad mokrą jonu wodorowego, w 2023 roku nieznaczną przewagę depozycji mokrej nad suchą, a w 2024 roku ponownie dominację suchej depozycji jonu wodorowego. Mokra depozycja związków azotu była zmienna z roku na rok i wykazywała w całym okresie badań tendencję malejącą, natomiast sucha depozycja tlenowych związków azotu również wahała się z roku na rok, lecz z mniejszą amplitudą. W całym okresie obserwacyjnym notowano przewagę depozycji mokrej nad suchą tlenowych związków azotu. Depozycja wszystkich trzech zanieczyszczeń na stacji nadmorskiej wykazuje powolny spadek na przestrzeni wielolecia, zarówno w przypadku suchego jak i mokrego ładunku.

Na stacji Puszcza Borecka sucha i mokra depozycja jonów siarki i wodoru malała intensywniej w latach 1994-1997, a następnie jej spadek zmniejszył się i w ostatnim okresie można mówić o braku zmienności z roku na rok przy bardzo słabej tendencji spadkowej. Mokra depozycja azotu wykazała niewielką tendencję spadkową w całym okresie pomiarowym, przy przeplatających się okresach wzrostu i spadku, natomiast dopływ azotu w wyniku suchej depozycji po roku 2000 wykazywał słabą tendencję wzrostową do roku 2014, a następnie słaby spadek. W ostatnich dwóch latach depozycja mokra związków azotu wzrosła, a sucha zmniejszyła się.

Na przestrzeni kolejnych lat w Jarczewie udziały suchej i mokrej depozycji siarki w depozycji całkowitej siarki (rysunek 22) wahały się wokół 50%, choć od 2007 roku niezmiennie przeważała depozycja mokra, której średni udział w całkowitej w okresie 1994-2024 wyniósł 55%. Podobne jak w Jarczewie udziały suchej i mokrej depozycji siarki w depozycji całkowitej obserwowano na stacji w Łebie, gdzie nieznacznie większą przewagę miała depozycja mokra nad suchą (ok. 58%).

Zdecydowana przewaga depozycji mokrej związków siarki nad depozycją suchą występowała w okresie wielolecia na stacji Puszcza Borecka, gdzie 72% związków siarki docierało do podłoża z opadem atmosferycznym.

Tlenowe związki azotu docierały do podłoża na stacji w Jarczewie przede wszystkim jako sucha depozycja (58% depozycji całkowitej). Na przestrzeni lat wystąpił

tylko jeden przypadek, w 2017 roku, kiedy depozycja mokra tlenowych związków azotu na tej stacji nieznacznie wyprzedziła suchą (52%). Na stacji w Łebie w okresie wielolecia udział suchej i mokrej depozycji tych związków w depozycji całkowitej był prawie równy, z niewielką przewagą depozycji mokrej (56%) nad suchą (44%), choć w 2014 i w 2018 roku nieznacznie przeważała depozycja sucha nad mokrą, a w 2021 roku udział obu był jednakowy. Zdecydowana przewaga depozycji mokrej nad suchą, wynosząca 60-80%, przez wiele lat występowała na stacji Puszcza Borecka, do roku 2014, kiedy podobnie jak w przypadku Łeby w depozycji całkowitej związków azotu dominowała depozycja sucha. Po tej dacie depozycja mokra stanowiła 50-70% całkowitej. Średni udział depozycji mokrej tlenowych związków azotu w całkowitej depozycji w latach 1994-2024 wynosi 64%.

W całym wieloletnim okresie badań jony wodorowe na stacji w Jarczewie docierały do podłoża w postaci suchej depozycji (średnio ok. 66% depozycji całkowitej). Na stacji nadmorskiej w Łebie po roku 2014 odnotowano z wyjątkiem roku 2023 wyłącznie lata z przewagą depozycji suchej jonów wodorowych. Na stacji Puszcza Borecka depozycja mokra jonu wodorowego stanowi średnio ok. 60%, choć sześciokrotnie, w latach 1996, 1997, 2014, 2019 i 2021 i 2024, przeważała depozycja sucha nad mokrą.

Tabela 18. Depozycja tlenowych związków siarki, tlenowych związków azotu i jonów wodorowych w rejonach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce

Jarczew									
Rok	Depozycja siarki			Depozycja azotu tlenowego			Depozycja jonów wodorowych		
	sucha*	mokra	całkowita	sucha**	mokra	całkowita	z suchej S-SO ₂ ***	mokra	całkowita
	mg/m ²	mg/m ²	mg/m ²	mg/m ²	mg/m ²	mg/m ²	mg/m ²	mg/m ²	mg/m ²
1994	698,5	1025,6	1724,1	385,4	363,6	749,0	39,1	25,3	64,4
1995	713,0	639,7	1352,7	388,8	301,0	689,8	40,7	21,0	61,7
1996	721,0	554,8	1275,8	364,8	270,8	635,6	40,3	17,6	57,9
1997	595,8	537,8	1133,6	405,4	260,0	665,4	33,0	14,9	47,9
1998	571,6	616,2	1187,8	333,0	323,3	656,3	32,5	18,5	51,0
1999	502,4	510,7	1013,1	358,6	295,0	653,6	28,2	14,3	42,5
2000	411,1	474,7	885,8	396,6	290,8	687,4	22,5	14,2	36,7
2001	441,9	504,1	946,0	372,5	295,0	667,5	24,9	12,6	37,5
2002	428,1	370,7	798,8	431,4	244,2	675,6	24,0	10,3	34,3
2003	415,5	316,0	731,5	416,3	205,9	622,2	22,7	7,0	29,7
2004	405,4	419,4	824,8	381,6	277,0	658,6	22,6	13,7	36,3
2005	399,9	335,9	735,8	366,9	223,0	589,9	21,9	11,3	33,2
2006	410,9	310,9	721,8	424,8	209,1	633,9	22,1	10,3	32,4
2007	380,0	439,1	819,1	421,3	284,0	705,3	20,6	11,0	31,6
2008	337,6	419,1	756,7	396,2	280,0	676,2	18,1	9,4	27,5
2009	249,9	385,2	635,1	355,9	270,9	626,8	12,7	6,1	18,8
2010	295,5	336,9	632,4	401,8	237,1	638,9	15,6	7,0	22,5
2011	288,1	312,0	600,1	413,2	213,0	626,2	15,3	7,3	22,7
2012	226,9	332,2	559,1	388,5	237,3	625,8	11,9	6,8	18,7
2013	201,6	258,0	459,6	365,1	212,8	577,9	10,7	8,5	19,1
2014	205,3	300,2	505,5	312,9	218,9	531,8	10,5	7,2	17,8
2015	237,2	331,9	569,1	289,1	260,3	549,4	12,6	6,3	18,9
2016	185,6	293,4	479,0	262,6	241,6	504,2	9,7	5,4	15,1
2017	194,5	312,1	506,6	289,9	309,1	599,0	9,8	5,4	15,1
2018	164,2	205,3	369,5	268,4	214,5	482,9	8,2	2,8	11,0
2019	149,6	221,2	370,9	286,3	187,5	474,0	7,4	2,6	10,0
2020	139,7	222,5	362,2	289,2	190,6	479,8	7,0	2,5	9,5
2021	163,4	275,5	438,9	313,5	247,7	561,2	8,3	3,8	12,1
2022	136,0	197,9	333,9	296,9	200,7	497,6	7,1	3,1	10,2
2023	86,5	251,9	338,4	296,4	251,4	547,8	4,5	3,9	8,4
2024	92,3	215,2	307,5	305,2	240,1	545,3	4,8	2,1	6,9

* S-SO₂ oraz S-SO₄²⁻ (aerozol), ** N-NO₂ oraz N-NO₃⁻ (aerozol), *** z depozycji SO₂.
Depozycja roczna jest obliczana jako suma wartości miesięcznych.

Łeba									
Rok	Depozycja siarki			Depozycja azotu tlenowego			Depozycja jonów wodorowych		
	sucha*	mokra	całkowita	sucha**	mokra	całkowita	z suchej S-SO ₂ ***	mokra	całkowita
	mg/m ²	mg/m ²	mg/m ²	mg/m ²	mg/m ²	mg/m ²	mg/m ²	mg/m ²	mg/m ²
1994	502,5	551,0	1053,5	216,8	338,4	555,2	27,7	26,5	54,2
1995	521,6	496,5	1018,1	244,1	285,9	530,0	28,9	19,9	48,8
1996	481,6	476,3	957,9	279,0	303,9	582,9	26,2	17,6	43,8
1997	335,1	404,7	739,8	268,7	281,2	549,9	18,3	15,5	33,8
1998	287,2	490,9	778,1	229,3	368,7	598,0	15,5	19,8	35,3
1999	279,4	500,6	780,0	209,2	339,9	549,1	15,0	15,9	30,9
2000	264,1	339,2	603,3	230,6	294,9	525,5	14,0	13,4	27,4
2001	287,5	413,2	700,7	189,0	340,0	529,0	14,8	15,4	30,2
2002	261,2	391,1	652,3	218,9	327,8	546,7	13,6	15,6	29,2
2003	303,5	297,9	601,4	227,4	242,1	469,5	16,0	11,0	27,0
2004	230,4	358,3	588,7	227,1	334,8	561,9	12,0	17,6	29,6
2005	239,0	273,7	512,7	231,3	250,5	481,8	12,4	12,5	24,9
2006	242,6	266,9	509,5	253,8	261,6	515,4	12,5	11,0	23,5
2007	208,3	303,8	512,1	212,5	300,6	513,1	10,6	15,5	26,1
2008	209,4	290,6	500,0	214,0	300,3	514,3	10,4	13,8	24,2
2009	223,1	237,9	461,0	197,8	222,6	420,4	11,4	8,6	20,0
2010	212,4	299,2	511,6	222,7	288,4	511,1	10,8	11,7	22,5
2011	165,1	231,0	396,1	204,9	254,5	459,4	7,9	4,8	12,7
2012	160,3	279,1	439,4	208,4	328,7	537,1	8,1	10,9	19,0
2013	135,7	285,5	421,2	158,3	284,2	442,5	6,7	10,1	16,8
2014	146,7	176,4	323,1	182,0	169,5	351,5	7,2	4,7	11,8
2015	139,0	171,9	310,9	192,6	199,7	392,3	6,9	5,0	11,8
2016	138,4	194,3	332,7	196,1	222,9	419,0	6,9	5,3	12,2
2017	146,3	205,1	351,4	173,7	263,2	436,9	7,0	5,9	12,9
2018	121,9	165,3	287,2	213,3	205,4	418,7	5,8	3,8	9,6
2019	134,3	187,0	321,7	198,6	244,6	443,2	6,7	5,4	12,0
2020	128,6	148,9	277,5	179,6	183,7	363,3	6,4	3,5	9,9
2021	121,7	167,6	289,3	189,2	189,1	378,3	6,2	3,8	10,0
2022	117,1	145,4	262,5	156,6	172,1	328,7	6,0	3,7	9,7
2023	71,1	247,5	318,6	144,8	231,3	376,1	3,6	5,0	8,6
2024	82,4	182,5	264,9	149,1	204,0	353,1	4,2	3,1	7,3

* S-SO₂ oraz S-SO₄²⁻ (aerozol), ** N-NO₂ oraz N-NO₃ (aerozol), *** z depozycji SO₂.
 Depozycja roczna jest obliczana jako suma wartości miesięcznych.

Puszcza Borecka									
Rok	Depozycja siarki			Depozycja azotu tlenowego			Depozycja jonów wodorowych		
	sucha*	mokra	całkowita	sucha**	mokra	całkowita	z suchej S-SO ₂ ***	mokra	całkowita
	mg/m ²	mg/m ²	mg/m ²	mg/m ²	mg/m ²	mg/m ²	mg/m ²	mg/m ²	mg/m ²
1994	412,9	762,1	1175,0	139,5	438,7	578,1	23,4	31,0	54,4
1995	374,9	592,6	967,4	104,4	318,8	423,2	21,2	22,2	43,4
1996	390,8	463,7	854,4	163,7	253,8	417,5	21,0	17,3	38,4
1997	233,1	362,1	595,2	163,9	292,1	456,0	12,1	10,1	22,2
1998	263,1	499,5	762,6	97,6	333,7	431,3	13,9	14,0	27,9
1999	197,4	388,2	585,6	167,5	299,7	467,2	10,6	14,1	24,7
2000	177,4	347,8	525,2	136,1	264,7	400,8	9,6	20,3	29,9
2001	116,0	469,9	585,9	102,5	297,0	399,5	5,5	14,5	20,0
2002	141,4	356,1	497,5	116,6	275,4	392,0	7,1	10,6	17,7
2003	153,8	263,8	417,6	119,0	197,9	316,8	8,0	8,9	16,9
2004	119,2	379,9	499,1	121,7	302,2	424,0	6,1	14,1	20,2
2005	109,4	347,4	456,8	102,0	287,7	389,7	5,7	11,5	17,2
2006	151,2	370,1	521,3	97,1	249,8	346,9	8,1	9,4	17,5
2007	113,9	442,2	556,1	142,2	369,4	511,6	5,8	11,1	16,9
2008	117,2	380,3	497,5	128,4	328,7	457,1	6,0	13,2	19,2
2009	97,6	291,0	388,6	142,0	277,6	419,6	4,9	10,3	15,2
2010	111,4	285,6	397,1	164,9	272,9	437,8	5,7	8,3	14,0
2011	102,5	286,0	388,7	176,1	272,3	448,4	5,3	7,4	12,7
2012	99,5	344,2	443,7	201,4	351,5	552,9	5,1	14,1	19,2
2013	110,4	265,5	376,2	167,8	286,4	454,4	5,8	10,2	16,0
2014	107,5	194,3	301,6	215,6	189,5	405,1	5,4	5,4	10,8
2015	64,7	222,2	286,8	172,2	246,2	418,3	3,0	6,1	9,1
2016	42,7	226,7	269,5	159,8	265,9	425,7	1,6	5,5	7,1
2017****	55,8	233,5	289,3	193,4	306,1	499,4	2,5	6,0	8,5
2018****	57,6	151,4	209,1	166,3	191,7	358,3	2,6	4,7	7,3
2019****	55,9	189,6	245,5	175,5	186,6	362,1	2,7	2,6	5,3
2020****	50,2	171,4	221,7	145,7	195,9	341,6	2,3	3,4	5,7
2021****	58,9	144,6	203,5	165,7	185	350,7	2,6	2,4	5,0
2022****	55,6	160,8	216,4	160,5	181,9	342,4	2,7	3,7	6,4
2023****	52,8	137,3	190,1	141,2	181,4	322,6	2,7	2,8	5,5
2024****	57,3	127,9	185,2	126,2	212,6	338,8	2,5	2,1	4,6

* S-SO₂ oraz S-SO₄²⁻ (aerozol), ** N-NO₂ oraz N-NO₃⁻ (aerozol), *** z depozycji SO₂,

**** wyniki suchej depozycji na podstawie pomiarów automatycznych SO₂ i NO₂

Depozycja roczna jest obliczana jako suma wartości miesięcznych.

8. Sytuacja Polski na tle Europy

Chemiczne Centrum Koordynacyjne CCC EMEP co roku publikuje dane zarejestrowane na sieci stacji w postaci raportów. Raporty publikowane są z opóźnieniem dwuletnim, tyle bowiem zajmuje weryfikacja i opracowanie danych.

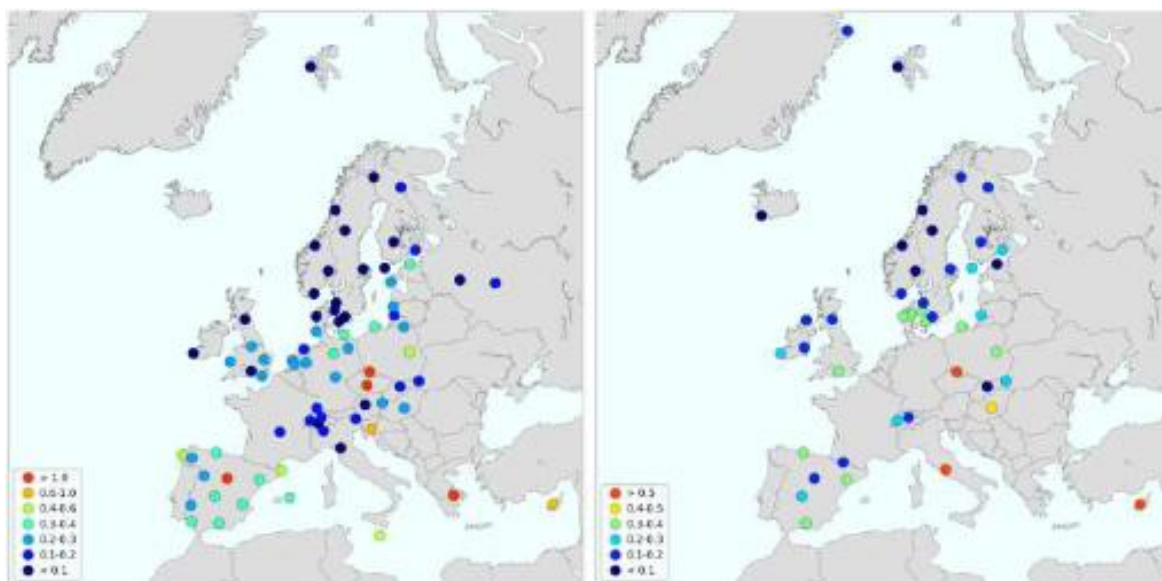
W niniejszym opracowaniu zaprezentowano wyniki pomiarów wybranych zanieczyszczeń powietrza i opadów atmosferycznych na stacjach EMEP pokazując, jak wyniki stacji polskich przedstawiają się na tle pozostałych stacji europejskich. Wykorzystano dane zamieszczone w następujących dokumentach: Hjellbrekke, A.-G. (2025). Data Report 2023. Particulate matter, carbonaceous and inorganic compounds (EMEP/CCC-Report 1/2025) oraz Aas, W., Halvorsen, H. L., Pfaffhuber, K. A. (2025). Heavy metals and POP measurements 2023. (EMEP/CCC report 3/2025).

8.1. Zanieczyszczenie powietrza

W 2023 roku najmniejsze stężenia dwutlenku siarki ($<0,1 \mu\text{gS}/\text{m}^3$) na obszarach pozamiejskich w Europie, reprezentowanych w pomiarach EMEP, odnotowano, podobnie jak w latach poprzednich w Skandynawii, na Spitsbergenie, na trzech stacjach brytyjskich oraz punktowo na stacjach włoskiej, austriackiej i rosyjskiej, nieco wyższe wartości ($0,1-0,2 \mu\text{gS}/\text{m}^3$) ciągnące się pasem od Francji, poprzez Szwajcarię, Austrię do Słowacji. Jeszcze wyższe stężenia, ale z grupy niższych ($0,2-0,3 \mu\text{gS}/\text{m}^3$) notowano na wielu stacjach europejskich: na Półwyspie Iberyjskim, w Wielkiej Brytanii, na stacjach Beneluxu niemieckich, po litewskie, a także na Węgrzech. W grupie tej znalazła się polska stacja Puszcza Borecka. Najwyższe wartości ($>1 \mu\text{gS}/\text{m}^3$) odnotowano na Śnieżce i w Koseticach (CZ), na stacji greckiej i hiszpańskiej. Pozostałe dwie polskie stacje znalazły się w grupach z przeciętnym stężeniem dwutlenku siarki: Łeba w grupie $0,3-0,4 \mu\text{gS}/\text{m}^3$ a Jarczew - $0,4-0,6 \mu\text{gS}/\text{m}^3$ (rysunek 23).

Dwutlenek siarki SO_2

Siarczan SO_4^{2-}

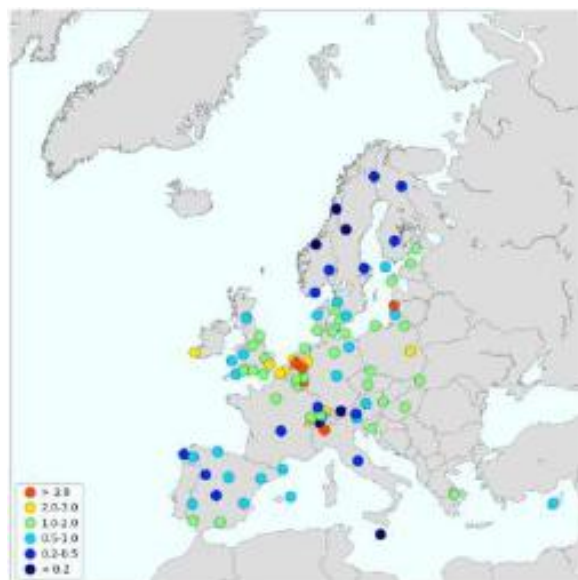


Rysunek 23. Rozkład przestrzenny stężenia tlenowych związków siarki w powietrzu [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] na stacjach EMEP w 2023 roku. Źródło: EMEP [Hjellbrekke, 2025]

Stężenia siarczanów w aerozolu w 2023 roku najmniejsze były na Półwyspie Skandynawskim ($<0,1$, $0,1-0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$), na Spitsbergenie, Islandii, Grenlandii, na stacji estońskiej, słowackiej, szwajcarskiej, francuskiej i hiszpańskiej. Stosunkowo niskie wartości ($0,3-0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) odnotowano na polskich stacjach w Łebie i Jarczewie (brak na mapie informacji o Puszczy Boreckiej!), jak również na stacjach duńskich i szwedzkich, zlokalizowanych wokół cieśnin duńskich czy też na trzech stacjach hiszpańskich i stacji brytyjskiej znajdującej się nad Kanałem La Manche. Najwyższe w domenie EMEP wartości siarczanów w aerozolu ($>0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) odnotowano w 2023 roku na Śnieżce, na stacji włoskiej oraz cypryjskiej (rysunek 23).

Do najważniejszych składników aerozolu atmosferycznego, poza jonami siarczanowymi, należą jony azotanowe. Podobnie jak jony siarczanowe, jony azotanowe powstają w wyniku utleniania swych gazowych prekursorów, w tym wypadku NO_x .

Dwutlenek azotu NO_2

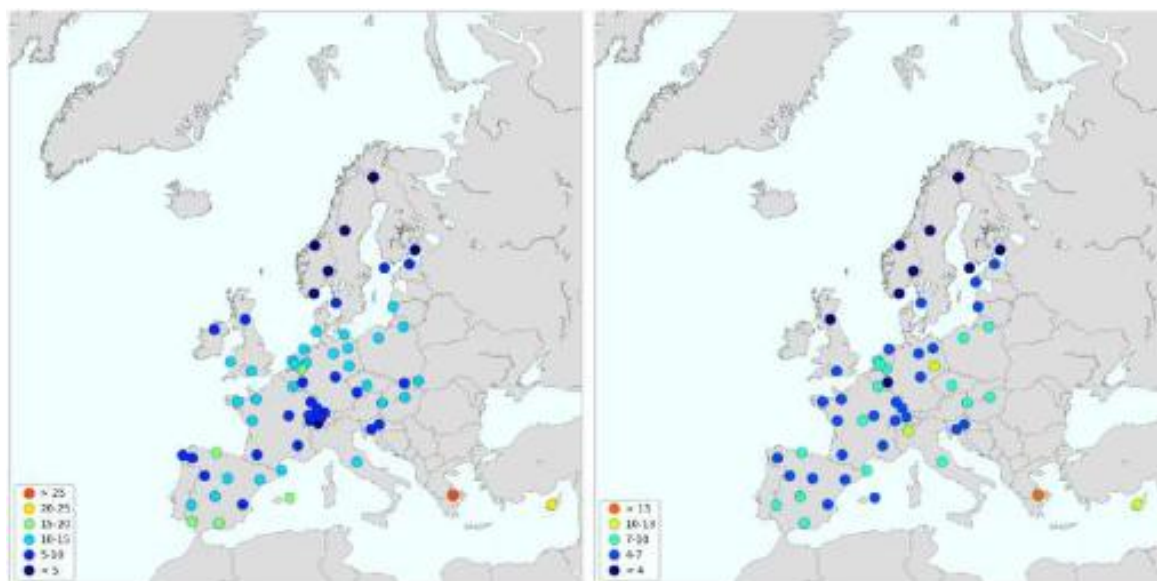


Rysunek 24. Rozkład przestrzenny stężenia dwutlenku azotu w powietrzu [$\mu\text{gN}/\text{m}^3$] na stacjach EMEP w 2023 roku. Źródło: EMEP [Hjellbrekke, 2025]

Najniższe stężenia dwutlenku azotu w powietrzu obserwowano, jak w latach poprzednich, na stacjach skandynawskich, na Malcie, na stacjach alpejskich Sonnblick (AT) i Jungfraujoch (CH) ($<0,2 \mu\text{gN}/\text{m}^3$). Stężenia z grupy tych niższych ($0,2-0,5 \mu\text{gN}/\text{m}^3$) notowano na Półwyspie Iberyjskim, na stacji francuskiej i włoskiej czy na pozostałych stacjach alpejskich. Wszystkie stacje polskie, poza Jarczewem, znalazły się grupie o przeciętnych stężeniach dwutlenku azotu ($1,0-2,0 \mu\text{gN}/\text{m}^3$) w licznym towarzystwie stacji duńskich, niemieckich, belgijskich i brytyjskich, a także na stacjach zlokalizowanych na południe od Polski (czeskich, słowackich, węgierskich, chorwackich, czy greckich). Grupa stacji o ponadprzeciętnym stężeniu N-NO_2 objęła Jarczew ($2,27 \mu\text{gN}/\text{m}^3$) oraz liczne stacje Beneluxu. Najwyższe wartości ($>3,0 \mu\text{gN}/\text{m}^3$) występowały w 2023 roku na pozostałych stacjach Beneluxu, na stacji włoskiej i litewskiej (rysunek 24).

PM10

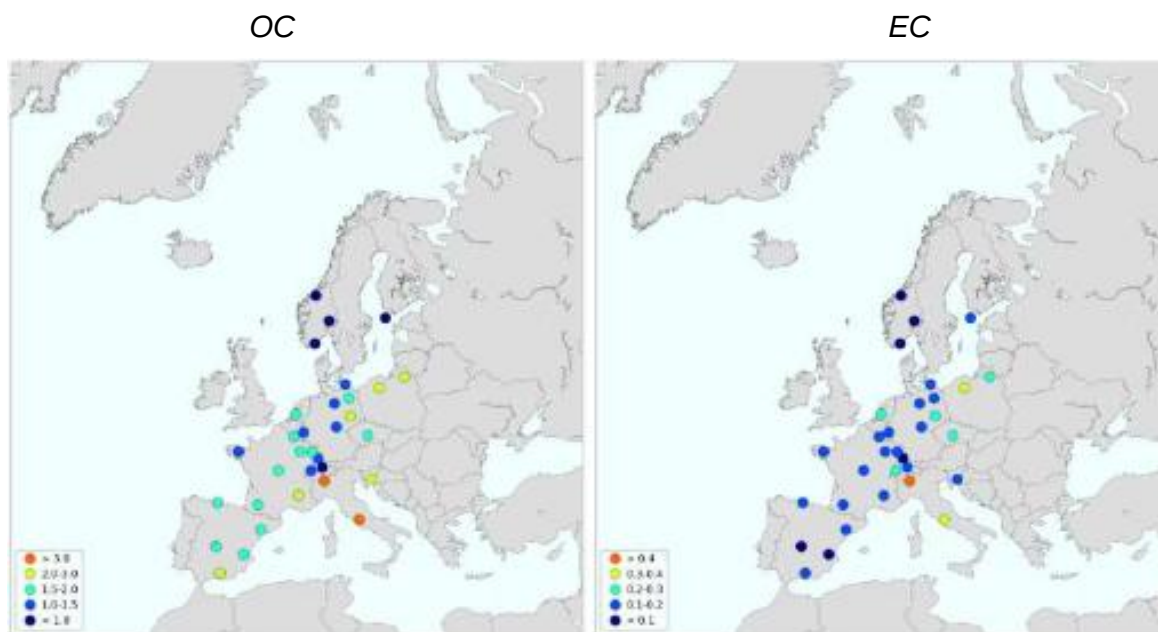
PM2,5



Rysunek 25. Rozkład przestrzenny stężenia pyłu zawieszonego PM10 i PM2,5 w powietrzu [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] na stacjach EMEP w 2023 roku. Źródło: EMEP [Hjellbrekke, 2025]

Największe stężenia pyłu zawieszonego PM10 na obszarach pozamiejskich (rysunek 25) w 2023 roku jedynie na stacji greckiej przekroczyły $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Znacznie wyższe od przeciętnych wartości ($20\text{--}25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) notowano na stacji cypryjskiej. Polskie stacje Puszcza Borecka i Zielonka mieściły się w 2023 roku w grupie stacji o stężeniach poniżej przeciętnych $10\text{--}15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, podobnie jak większość stacji europejskich. Najniższe wartości, poniżej $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, występowały przede wszystkim na północy Półwyspu Skandynawskiego. Kraje skandynawskie są w dużym stopniu chronione przed napływem pyłu PM10 z kontynentu.

Rozkład stężenia pyłu PM2,5 w Europie (rysunek 25) jest bardzo zbliżony do rozkładu pyłu PM10. Najniższe wartości, poniżej $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, występowały przede wszystkim na Półwyspie Skandynawskim – w Szwecji, Norwegii i Finlandii, a także w Wielkiej Brytanii. Najwyższe stężenia pyłu PM2,5 ($>13 \mu\text{g}/\text{m}^3$) w rejonach badań EMEP zmierzono na stacji greckiej. Stacje polskie Puszcza Borecka i Zielonka znalazły się w grupie stacji z przeciętnymi wartościami ($7\text{--}10 \mu\text{g}/\text{m}^3$), podobnie jak wiele stacji europejskich zlokalizowanych w zachodniej i centralnej części kontynentu.



Rysunek 26. Rozkład przestrzenny stężenia węgla organicznego OC i węgla elementarnego EC [$\mu\text{gC}/\text{m}^3$] w pyłe zawieszonym PM_{2,5} na stacjach EMEP w 2023 roku. Źródło: EMEP [Hjellbrekke, 2025]

Badania stężenia węgla organicznego i węgla elementarnego w pyłe zawieszonym PM_{2,5} od kilku lat obejmuje coraz większą liczbę stacji EMEP. W 2023 roku najniższe wartości stężenia (dla OC < 1,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) obserwowano, jak w poprzednich latach, na Półwyspie Skandynawskim (rysunek 26). Wartości na stacjach polskich Puszcza Borecka i Zielonka w 2023 roku mieściły się w przedziale stężeń wyższych niż przeciętne (2,0-3,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Najwyższe w Europie (>3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) wartości średniego rocznego stężenia OC w pyłe zawieszonym PM_{2,5} notowały stacje włoskie.

Zbliżony przestrzennie rozkład wartości obserwowano dla węgla elementarnego EC. Tu również najniższe wartości (< 0,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) zmierzono na Półwyspie Skandynawskim i na stacji szwajcarskiej Rigi (CH05), oraz na dwóch stacjach Półwyspu Iberyjskiego. Najwyższą wartość – przekraczającą 0,40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ – odnotowano na jednej ze stacji włoskich, na drugiej stacji włoskiej stężenia należały do jednych z wyższych (0,3-0,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), podobnie jak w 2023 roku w Zielonce. Stężenie węgla elementarnego na stacji Puszcza Borecka w 2023 roku należy zaliczyć z grupy wartości przeciętnych w Europie (0,2-0,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Pomiary zawartości metali ciężkich w powietrzu i opadach atmosferycznych włączono do programu EMEP w 1999 roku, ale pomiary (w tym także w Polsce na stacji w Łebie) były wykonywane wcześniej i są dostępne w bazie EMEP. W 2023 roku łącznie funkcjonowało 72 stacji realizujących pomiary metali ciężkich, z czego 41 badało zawartość metali ciężkich zarówno w powietrzu jak i w opadach. W 2023 roku dane o metalach ciężkich były dostarczane do bazy EMEP łącznie przez 23 kraje. Z Polski do bazy danych EMEP w 2023 roku były raportowane dane o metalach ciężkich w opadzie ze stacji w Łebie, metalach ciężkich w pyłe ze stacji w Zielonce i dane

o zawartości metali ciężkich zarówno w powietrzu jak i opadach ze stacji Puszcza Borecka.

Najniższe stężenia większości metali ciężkich zarówno w powietrzu jak i w opadzie występują w północnej Skandynawii.

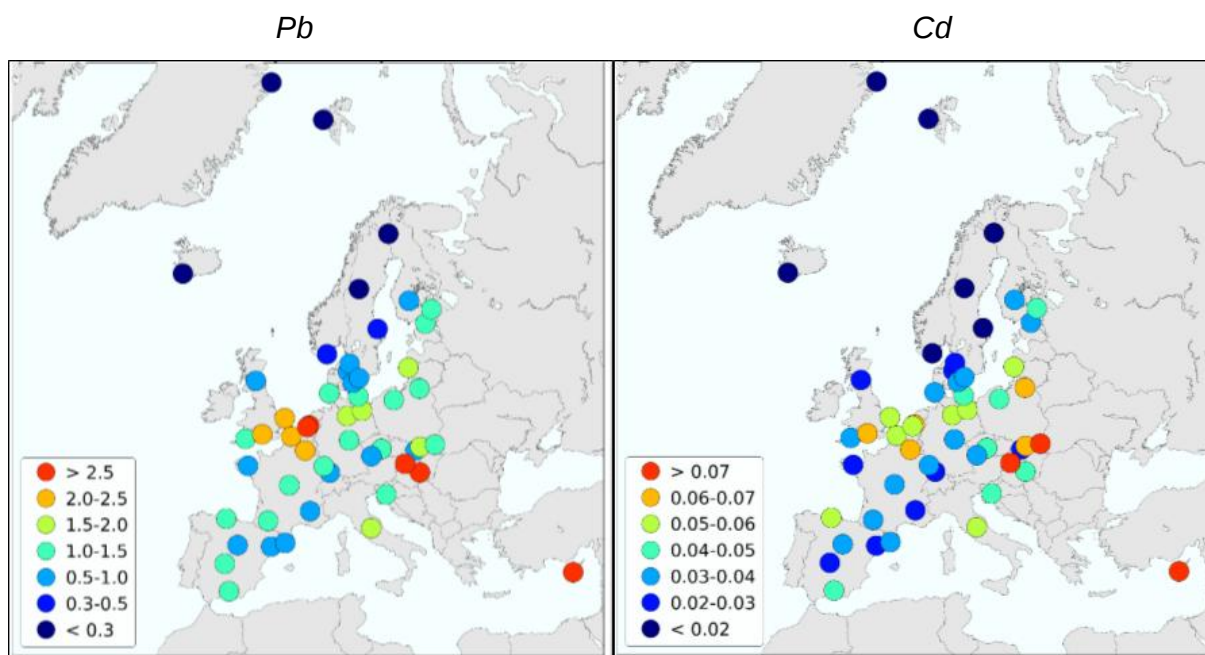
Najwyższe stężenia metali w aerozolu obserwuje się na ogół wokół kanału La Manche i obszarów o dużym natężeniu ruchu statków, a także w Europie Wschodniej, a konkretnie w Czechach, Słowacji i na Węgrzech. Jeśli chodzi o opady, najwyższe poziomy obserwuje się w Europie Wschodniej, ale podwyższone poziomy obserwuje się również w innych miejscach, takich jak Hiszpania i Irlandia, w zależności od badanego elementu.

Stężenia nie są jednak rozłożone równomiernie i dla poszczególnych elementów zaznaczają się ogniska w innych częściach Europy, np. w punktach pomiarowych zlokalizowanych w krajach Beneluksu, na Cyprze, czy we Włoszech.

Rozkład stężenia wybranych metali ciężkich w pyłe zawieszonym w 2023 roku przedstawiono na rysunkach 27-28.

Najniższe stężenia ołowiu w aerozolu ($<0,3 \text{ ng/m}^3$) występowały, podobnie jak w poprzednich latach, na stacjach Półwyspu Skandynawskiego, a także na Grenlandii, Islandii i Spitsbergenie. Najwyższe stężenia Pb w powietrzu ($> 2,5 \text{ ng/m}^3$) w 2023 roku odnotowano na stacji francuskiej, słowackiej i węgierskiej ($3,43 \text{ ng/m}^3$) oraz na Cyprze. Wartości zanotowane na obu polskich stacjach: Puszcza Borecka i Zielonka mieściły się w grupie z wartościami przeciętnymi ($1,0\text{-}1,5 \text{ ng/m}^3$).

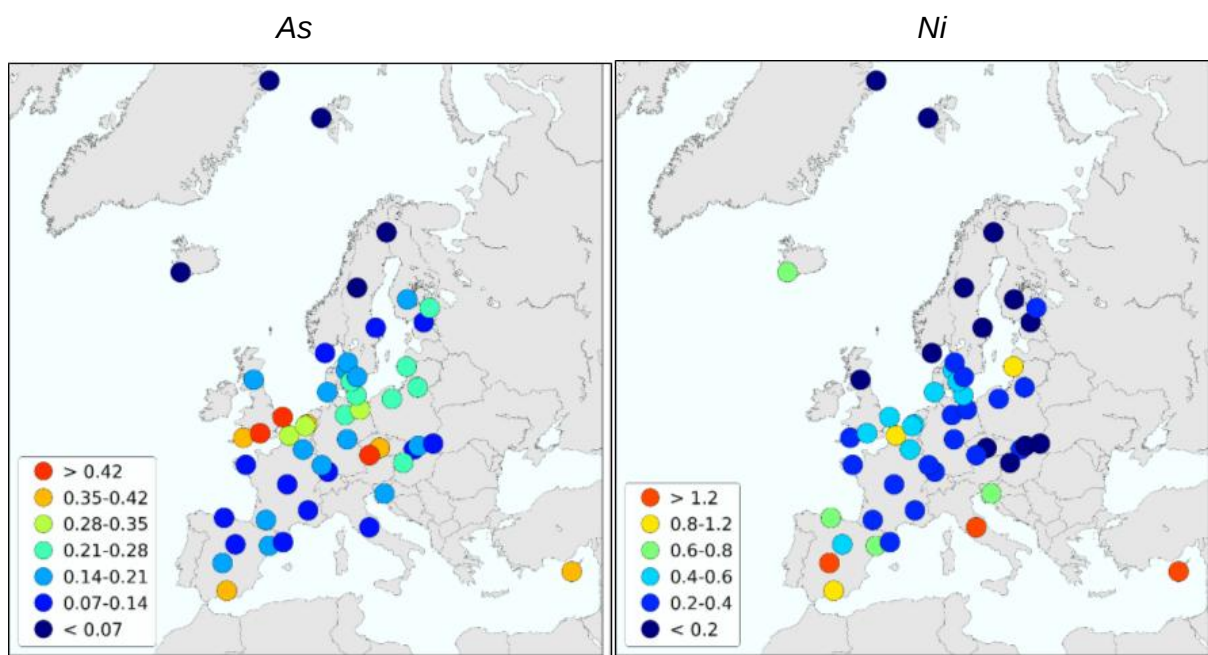
W przypadku kadmu strefa najniższych stężeń ciągnie się zasadniczo z północnego-wschodu na południowy zachód Europy: od Półwyspu Skandynawskiego, wzdłuż kontynentu europejskiego przez jego środkowe części do Półwyspu Iberyjskiego. Po obu stronach wartości najniższych pojawiają się punkty ze stężeniami wyższymi i bardzo wysokimi. Nieco wyższe od przeciętnych wartości przecinają transekt na wysokości północnych Niemiec, gdzie na kilku stacjach odnotowano stężenia średnie roczne z grup ($0,05\text{-}0,06$, $0,04\text{-}0,05 \text{ ng/m}^3$). Najwyższe stężenia Cd w aerozolu ($>0,07 \text{ ng/m}^3$) dotyczyły w 2023 roku stacji słowackich, stacji zlokalizowanej na Cyprze, oraz (niewidocznej na mapie) stacji armeńskiej. Puszcza Borecka znalazła się w grupie o stężeniach ponadprzeciętnych ($0,06\text{-}0,07 \text{ ng/m}^3$), a Zielonka w grupie stężeń przeciętnych ($0,04\text{-}0,05 \text{ ng/m}^3$).



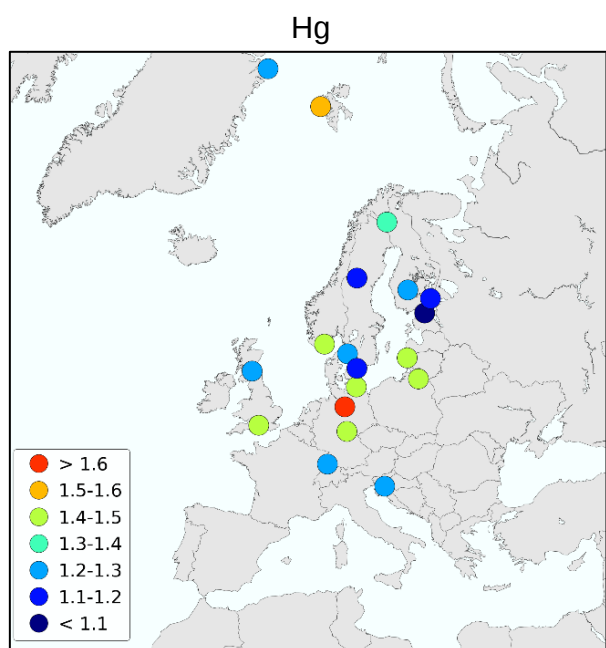
Rysunek 27. Rozkład przestrzenny stężenia ołowiu i kadmu w pyłe zawieszonym [ng/m^3] na stacjach EMEP w 2023 roku. Źródło: EMEP [Aas i in., 2025]

Rozkład stężeń arsenu na terenach pozamiejskich w Europie wykazuje najniższe wartości ($<0,07 \text{ ng/m}^3$) na Półwyspie Skandynawskim, stosunkowo niskie stężenia ($0,07-0,14 \text{ ng/m}^3$) obserwowano w 2023 roku na obszarze Hiszpanii (z wyjątkiem charakteryzującej się wartościami ponadprzeciętnymi ($0,35-0,42 \text{ ng/m}^3$) stacji Viznar (ES07)) oraz Francji i niektórych stacjach położonych w basenie Morza Bałtyckiego. Najwyższe $>0,42 \text{ ng/m}^3$ odnotowano na stacjach brytyjskich, oraz na stacji czeskiej. Obie stacje polskie – Puszcza Borecka i Zielonka wykazywały w 2023 roku stężenia przeciętne w domenie, z grupy $0,21-0,28 \text{ ng/m}^3$.

W przypadku niklu w pyłe PM10 najniższe wartości ($<0,2 \text{ ng/m}^3$) obserwowano na Półwyspie Skandynawskim, na Grenlandii, Spitsbergenie i na stacji brytyjskiej. Skupisko wykazujące wartości najniższe objęło również całą grupę stacji, w skład których weszły stacja czeska i trzy stacje słowackie. Najwyższe stężenie ($>1,2 \text{ ng/m}^3$) Ni w 2023 roku obserwowano w trzech stacjach na południu Europy – jednej hiszpańskiej, jednej włoskiej i cypryjskiej. Polskie stacje Zielonka i Puszcza Borecka znajdowały się w grupie bardzo niskich stężeń ($0,2-0,4 \text{ ng/m}^3$), wraz z większością stacji w pasie ciągnącym się z SW na NE kontynentu europejskiego.



Rysunek 28. Rozkład przestrzenny stężenia arsenu i niklu w pyłe zawieszonym [ng/m^3] na stacjach EMEP w 2023 roku. Źródło: EMEP [Aas i in., 2025]

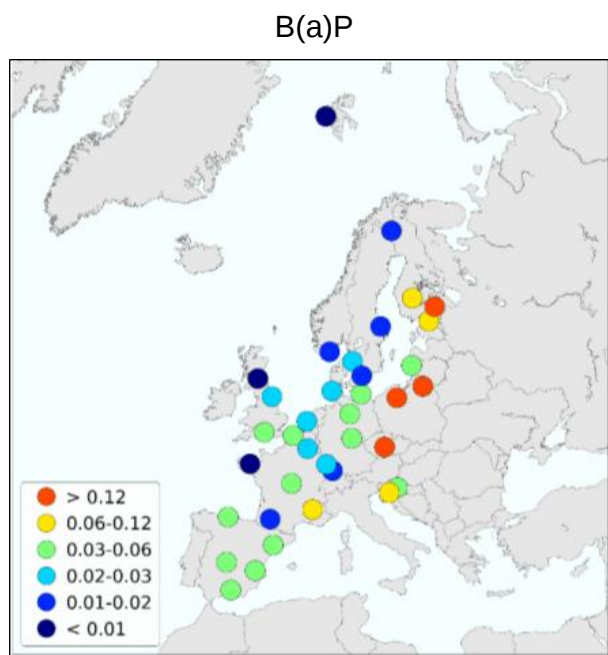


Rysunek 29. Rozkład przestrzenny stężenia rtęci w powietrzu [ng/m^3] na stacjach EMEP w 2023 roku. Źródło: EMEP [Aas i in., 2025]

W Europie Środkowej obserwuje się tendencję do wyższych stężeń rtęci w pobliżu źródeł emisji w porównaniu z Europą północną. W przypadku rtęci gazowej i elementarnej ogółem najwyższe stężenie w 2023 roku obserwowano w Niemczech i na Spitsbergenie. Jedyna wykonująca pomiary rtęci gazowej w Polsce stacja Puszcza

Borecka wykazywała w 2023 roku wartości nieco ponadprzeciętne (1,4-1,5 ng/m³), podobne do obserwowanych w tej części kontynentu.

Badania stężenia benzo(a)pirenu w pyle zawieszonym PM₁₀ wykazują najniższe wartości na północy Europy – w Skandynawii, Wielkiej Brytanii, na północy Francji (<0,015 ng/m³) i na zachodzie kontynentu – w Hiszpanii. Stężenia rosły w miarę przesuwania się na wschód i najwyższe wartości osiągały w Polsce i Czechach (rysunek 30).



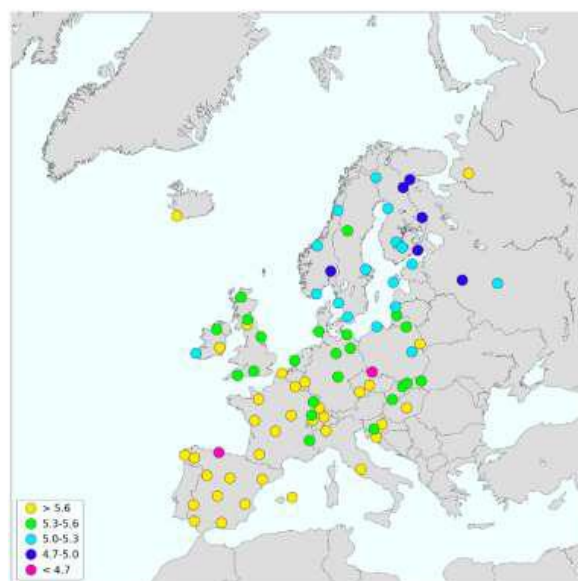
Rysunek 30. Rozkład przestrzenny stężenia benzo(a)pirenu w pyle zawieszonym PM₁₀ [ng/m³] na stacjach EMEP w 2023 roku. Źródło: EMEP [Aas i in., 2025]

8.2. Zanieczyszczenie opadów

Na rysunku 31 przedstawiono rozkład pH opadów atmosferycznych w europejskich rejonach EMEP.

W 2023 roku rozkład pH w Europie wykazywał pewną prawidłowość. Przeciętne wartości wystąpiły na Półwyspie Skandynawskim (pH 5,0-5,3), tak samo w Łebie i w Jarczewie. Wyższe wartości układały się pasem od wysp brytyjskich poprzez kraje Europy Środkowej do Polski pH 5,3-5,6 (zielone), w tej grupie stacja Puszcza Borecka. Najniższe wartości pH (pH<4,7) wystąpiły na stacji hiszpańskiej ES08, Niembro pH=4,17, oraz, podobnie jak w poprzednich latach, na stacji wysokogórskiej na Śnieżce (4,53). Najwyższe wartości pH opadów (powyżej 5,6) przebiegały wzdłuż pasa ciągnącego się od najbardziej odległych punktów zlokalizowanych na Półwyspie Iberyjskim, poprzez Francję, Włochy i Austrię, kraje dawnej Jugosławii, Węgry i Czechy. Do tej grupy stacji należy też stacja należąca do Islandii, dwie stacje brytyjskie, stacja białoruska (przy granicy z Polską) i jedna ze stacji rosyjskich.

pH

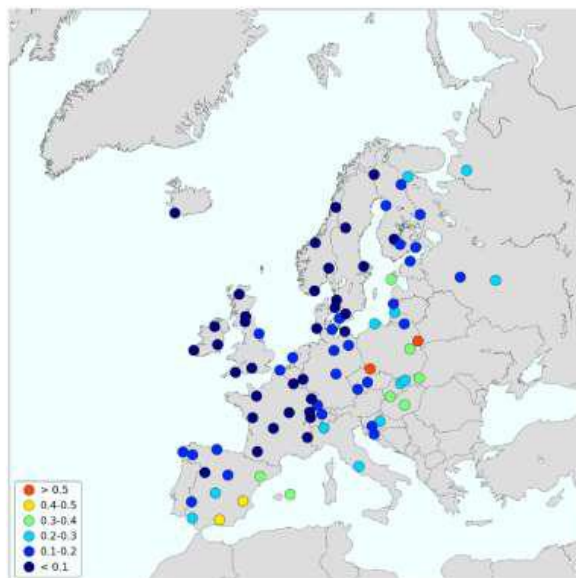


Rysunek 31. Rozkład przestrzenny wartości pH opadów atmosferycznych na stacjach EMEP w 2023 roku. Źródło: EMEP [Hjellbrekke, 2025]

W przypadku jonów siarczanowych w opadzie atmosferycznym (wartości skorygowane ze względu na obecność aerozolu morskiego) w 2023 roku najniższe stężenia siarczanów w opadzie obserwowano na Półwyspie Skandynawskim, na Wyspach Brytyjskich i w Islandii, na większości stacji francuskich, jednej stacji hiszpańskiej, jednej duńskiej i jednej niemieckiej ($<0,1 \text{ mgS/dm}^3$). Opady o stosunkowo niskiej zawartości siarczanów ($0,1\text{-}0,2 \text{ mgS/dm}^3$) w 2023 roku występowały na większości stacji hiszpańskich i stacjach niemieckich, czy na Słowacji oraz niektórych stacjach znajdujących się na wschód od Polski. Do tej grupy w 2023 roku należała też stacja Puszcza Borecka ($0,19 \text{ mgS/dm}^3$).

Najwyższe wartości ($>0,5 \text{ mgS/dm}^3$) obserwowano na Śnieżce ($0,92 \text{ mgS/dm}^3$) i na białoruskiej stacji Vysokoe ($1,89 \text{ mgS/dm}^3$), niższe ($0,4\text{-}0,5 \text{ mgS/dm}^3$) na dwóch stacjach położonych w południowej części Półwyspu Iberyjskiego, jeszcze niższe ($0,3\text{-}0,4 \text{ mgS/dm}^3$) w Jarczewie ($0,39 \text{ mgS/dm}^3$), czy na Węgrzech (rysunek 32). Stacja w Łebie wykazywała w 2023 roku stężenie siarczanów w wodach opadowych na poziomie przeciętnym dla kontynentu (grupa $0,2\text{-}0,3 \text{ mgS/dm}^3$).

Siarczany SO_4^{2-}



Rysunek 32. Rozkład przestrzenny stężenia jonów siarczanowych w opadach atmosferycznych [mgS/dm^3] (wartości skorygowane ze względu na obecność aerozolu morskiego) na stacjach EMEP w 2023 roku. Źródło: EMEP [Hjellbrekke, 2025]

Rozkład przestrzenny stężenia jonów azotanowych w opadach atmosferycznych na stacjach sieci europejskiej (rysunek 33) charakteryzował się występowaniem najmniejszych wartości ($<0,1 \text{ mgN/dm}^3$) na większości stacji nadmorskich zlokalizowanych wzdłuż północnych wybrzeży europejskich - Półwyspu Skandynawskiego i wzdłuż północnych brzegów Wysp Brytyjskich, oraz w Islandii, niskich wartości ($0,1-0,2 \text{ mgN/dm}^3$) w części stacji hiszpańskich i francuskich, oraz na pozostałych stacjach brytyjskich i skandynawskich.

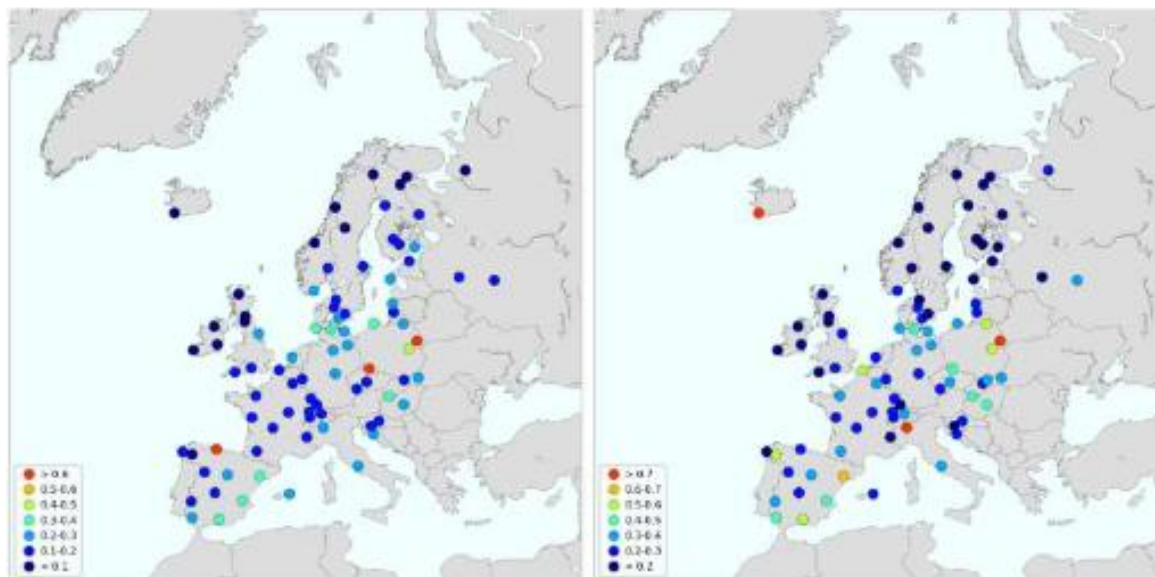
Stacja w Jarczewie znalazła się w grupie stacji o nieco ponadprzeciętnych ($0,4-0,5 \text{ mgN/dm}^3$) stężeniach, stacja w Łebie w grupie o stężeniach przeciętnych ($0,3-0,4 \text{ mgN/dm}^3$), a Puszcza Borecka w grupie poniżej wartości przeciętnych ($0,2-0,3 \text{ mgN/dm}^3$). Stacja wysokogórska na Śnieżce w 2023 roku charakteryzowała się opadami o najwyższej zawartości azotanów ($1,29 \text{ mgN/dm}^3$) (grupa $>0,6 \text{ mgN/dm}^3$) w skali Europy, podobnie jak stacja hiszpańska ES08 Niembro ($0,80 \text{ mgN/dm}^3$), jednak niższej niż na leżącej tuż przy granicy z Polską stacji białoruskiej BY04 Vysokoe ($2,10 \text{ mgN/dm}^3$).

Stężenie jonów amonowych zwykle odzwierciedlało lokalizację obszarów rolniczych, będących głównym źródłem emisji amoniaku – większe wartości notowały stacje położone w takich rejonach. Obrazy uzyskane od 2023 roku (rysunek 33), podobnie jak w latach 2021-2022, odbiegają od tego schematu. W 2023 roku najwyższe stężenia jonów amonowych ($>0,7 \text{ mgN/dm}^3$) odnotowano w północnych Włoszech (IT04 Ispra) i na stacji białoruskiej, oraz na stacji islandzkiej. Stosunkowo wysokie stężenia jonów amonowych $>0,6-0,7 \text{ mgN/dm}^3$ stwierdzono również na jednej ze stacji hiszpańskich leżącej u wybrzeży Morza Śródziemnego. Stacje Beneluksu wykazujące zwykle najwyższe wartości stężenia amoniaku znalazły się w 2023 roku w grupie stężeń nieco ponadprzeciętnych ($0,5-0,6 \text{ mgN/dm}^3$), podobnie jak polskie stacje Jarczew

i Puszcza Borecka lub stężeń przeciętnych (0,4-0,5 mgN/dm³), w tej grupie w 2023 roku znalazła się Śnieżka, lub nieco poniżej przeciętnych, podobnie jak stacja w Łebie.

Azotany NO₃⁻

Jon amonowy NH₄⁺

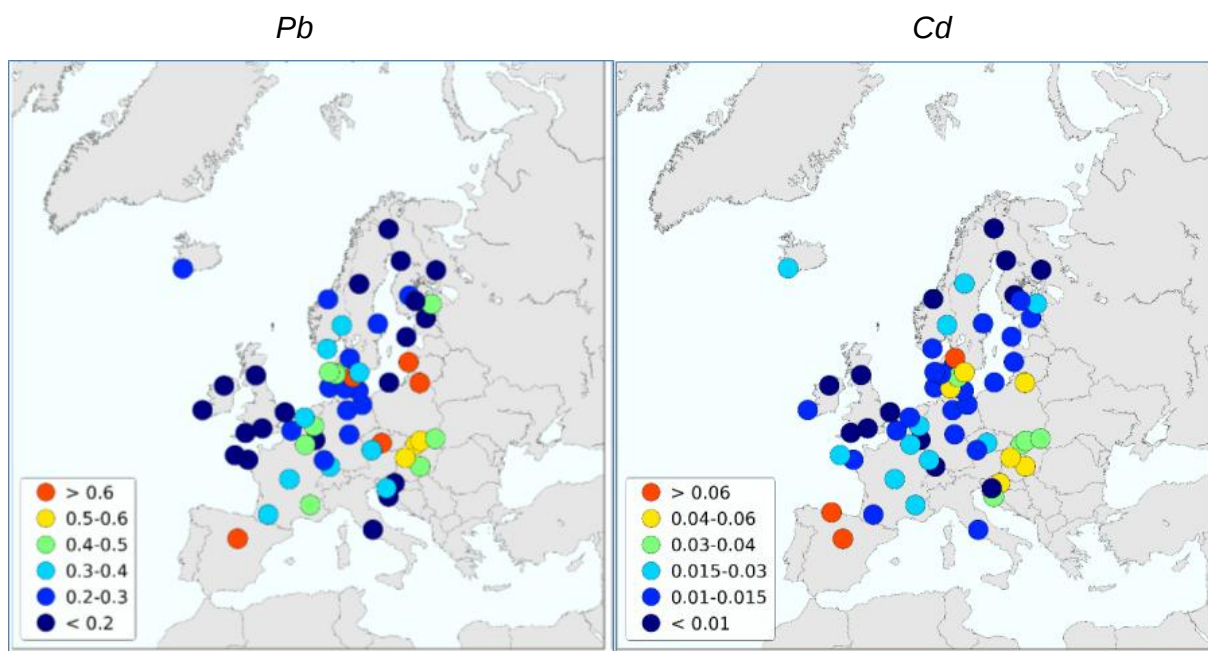


Rysunek 33. Rozkład przestrzenny stężenia związków azotu [mgN/dm³] w opadach atmosferycznych na stacjach EMEP w 2023 roku. Źródło: EMEP [Hjellbrekke, 2025]

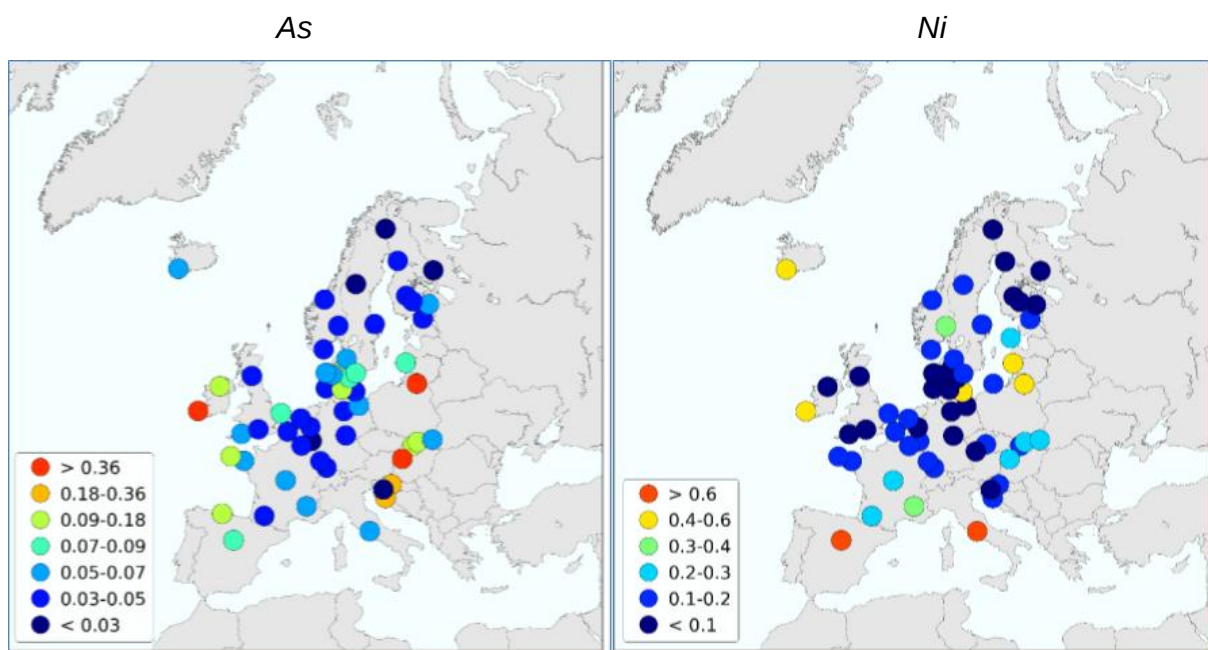
Jak już wspomniano, najniższe stężenia większości badanych elementów, w tym metali ciężkich, zarówno w powietrzu jak i w opadzie występują w północnej Skandynawii. Przyrost wartości zasadniczo następuje z północy w kierunku południowo-wschodnim, ale stężenia nie są rozłożone równomiernie i dla poszczególnych elementów w kolejnych latach zaznaczały się ogniska z wyższymi wartościami, jak np. na Węgrzech czy w krajach Beneluksu.

Rozkład wartości stężenia wybranych metali ciężkich w opadzie atmosferycznym w 2023 roku zilustrowano na rysunkach 34-36.

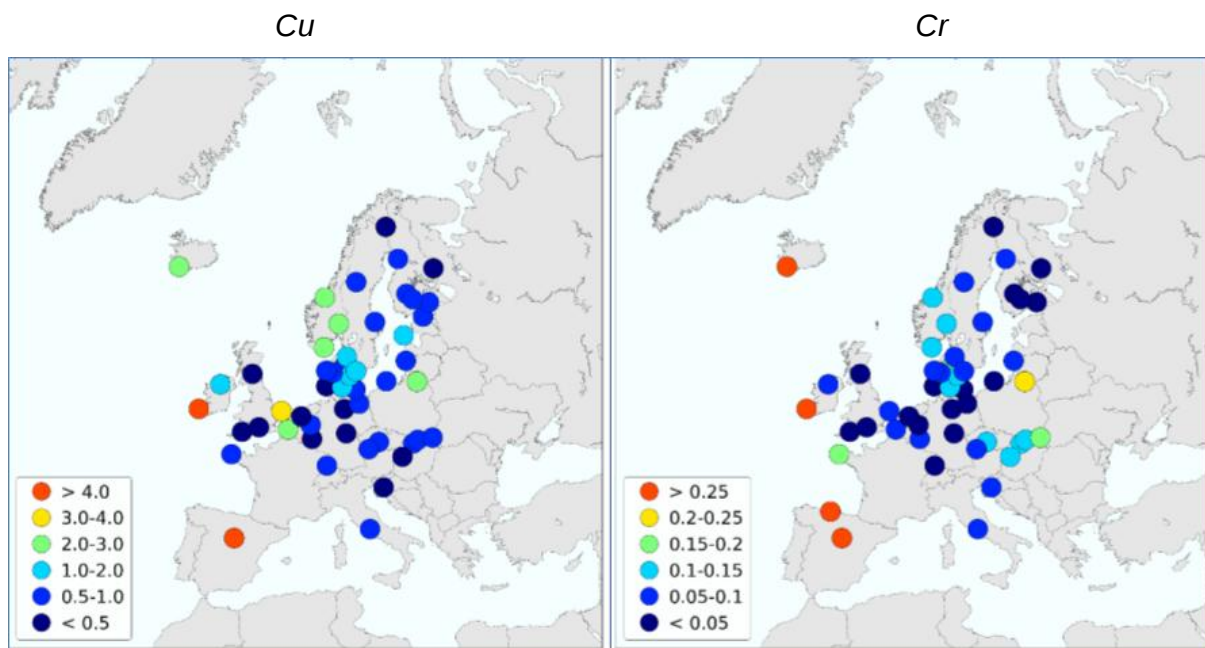
W przypadku wszystkich metali ciężkich w opadzie atmosferycznym obserwowanych w Łebie wartości mieściły się w grupie stężeń najniższych (Pb, Cr) lub prawie najniższych (Cd, Ni, Cu). W 2023 roku na stacji Puszcza Borecka odnotowano natomiast stężenia metali ciężkich w opadzie wyższe niż przeciętnie w Europie, przy czym stężenia Cu znalazły się w grupie nieco tylko powyżej przeciętnej (2-3 µg/dm³), Cd, Ni, Cr znacznie powyżej przeciętnych w skali Europy (Cd 0,04-0,06 µg/dm³, Ni 0,4-0,6 µg/dm³, Cr 0,20-0,25 µg/dm³), a stężenia As i Pb w grupie najwyższych stężeń na kontynencie (As>0,36 µg/dm³, Pb>0,6 µg/dm³).



Rysunek 34. Rozkład przestrzenny stężenia ołowiu i kadmu w opadach atmosferycznych [$\mu\text{g}/\text{dm}^3$] na stacjach EMEP w 2023 roku. Źródło: EMEP [Aas i in., 2025]



Rysunek 35. Rozkład przestrzenny stężenia arsenu i niklu w opadach atmosferycznych [$\mu\text{g}/\text{dm}^3$] na stacjach EMEP w 2023 roku. Źródło: EMEP [Aas i in., 2025]

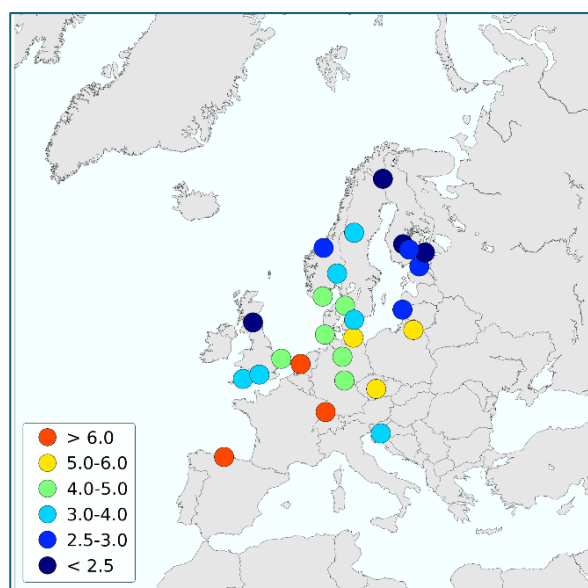


Rysunek 36. Rozkład przestrzenny stężenia miedzi i chromu w opadach atmosferycznych [$\mu\text{g}/\text{dm}^3$] na stacjach EMEP w 2023 roku. Źródło: EMEP [Aas i in., 2025]

W porównaniu do innych metali ciężkich stosunkowo nieliczne stacje wykonują pomiary rtęci w opadach.

Najwyższe stężenia rtęci w opadzie ($>6,0 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) w roku 2023 obserwowano w Holandii, Hiszpanii i Niemczech, nieznacznie niższe ($5,0-6,0 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) także w Czechach i Polsce, gdzie pomiar tego elementu w ramach EMEP realizowany był w 2023 roku tylko na stacji Puszcza Borecka (rysunek 37). Najniższe stężenie rtęci w opadzie obserwowano na stacjach fińskich i stacji brytyjskiej.

Hg



Rysunek 37. Rozkład przestrzenny stężenia rtęci w opadach atmosferycznych [$\mu\text{g}/\text{dm}^3$] na stacjach EMEP w 2023 roku. Źródło: EMEP [Aas i in., 2025]

9. Podsumowanie

W 2024 roku uległa zmianie struktura sieci stacji realizujących w Polsce zadania na rzecz programu EMEP. Pozostały stacje w Łebie i w Jarczewie oraz stacja Puszcza Borecka, a także stowarzyszona z EMEP stacja w Zielonce, natomiast zaprzestano pomiarów w programie stacja na Śnieżce, a rozpoczęła działalność w ramach sieci stacja w Szymbarku.

Porównanie wyników badań zanieczyszczeń powietrza i opadów atmosferycznych w 2024 roku na tle wielolecia 1994-2023 pozwoliło sformułować następujące wnioski:

- w odniesieniu do zapisów *Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu* (Dz. U. z 2012 r., poz. 1031) do *Ustawy Prawo ochrony środowiska* (Dz. U. z 2013 r., poz. 1232, z późn. zm.) w 2024 roku na stacji w Szymbarku został przekroczony poziom celu długoterminowego dla ozonu dla celów ochrony zdrowia ustalony (na rok 2020) dla 8- godzinnego okresu uśredniania wyników na poziomie $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a na wszystkich stacjach poza Łebą został przekroczony poziom celu długoterminowego dla ozonu dla kryterium ochrony roślin ustalony (na rok 2020) na poziomie $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$; na stacji w Szymbarku odnotowano jeden przypadek przekroczenia poziomu informowania dla pyłu zawieszonego PM₁₀, tj. wartości $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dla okresu uśredniania wyników wynoszącego 24 godziny; przekroczenie to zostało spowodowane napływem mas powietrza znad Sahary;
- średnie roczne stężenia dwutlenku siarki (SO₂) utrzymały na wszystkich stacjach tendencję malejącą, osiągając wartości minimalne lub prawie minimalne w wieloleciu;
- średnie roczne stężenia dwutlenku azotu (NO₂) utrzymywały się w ostatnich latach na zbliżonym poziomie, na większości stacji nieznacznie niższym niż w latach 90. XX wieku;
- stężenia wszystkich głównych zanieczyszczeń w powietrzu najwyższe wartości średnie wieloletnie wykazywały na stacji w Jarczewie, poza dwutlenkiem siarki, z najwyższymi wartościami w Szymbarku, chlorkami, z najwyższymi wartościami w Łebie i ozonem, który, pomijając stację wysokogórską na Śnieżce, najwyższe średnie wieloletnie wartości przyjmował w Łebie;
- stężenie siarczanów wykazywało tendencję malejącą we wszystkich nizinnych rejonach badań;
- średnie roczne stężenie azotu azotanowego (oznaczanego w sumie HNO₃+NO₃⁻) wykazywało tendencję wzrostową w okresie wielolecia w rejonie Puszczy Boreckiej, od roku 2008 do roku 2014 do wartości najwyższej ze wszystkich stacji, po czym w 2015 roku spektakularnie spadło i utrzymuje się na poziomie jak w pozostałych rejonach badań, przybierając od 2015 roku wartości niemalże równe z obserwowanymi w Jarczewie; w Jarczewie i w Łebie obserwowano niewielką tendencję spadkową, również w przypadku azotu azotanowego oznaczanego jako pojedynczy składnik;
- średnie roczne stężenie azotu amonowego oznaczanego w postaci sumy NH₃+NH₄⁺ wykazuje wahania roczne; stężenia na stacji Puszcza Borecka zdecydowanie wzrastały w latach 2007-2011, zmniejszyły się do 2016 roku, po czym znów zaczęły wzrastać, a po roku 2018 wystąpił ich spadek; w Jarczewie obserwowano wyraźny spadek stężenia jonów amonowych, mierzonych jako pojedynczy składnik,

od roku 2011, silniejszy niż w pozostałych rejonach badań, po czym po kilku latach względnej stabilizacji, znów się zmniejszyły; odnotowany w ostatnim roku na stacji w Łebie i w Jarczewie wzrost stężenia sumy związków amonowych nie powinien zaburzyć obserwowanej tendencji spadkowej;

- wartości średnie roczne stężenia ozonu przyziemnego w całym okresie obserwacji były na stacjach nizinnych zbliżone do siebie; wykazywały niewielkie zmiany z roku na rok; obserwowana ok. 3-4 letnia cykliczność wahań nadal jest widoczna; stężenie ozonu na stacji w Szymbarku, z serii którą dysponujemy, czyli od 2008 roku, przybiera wartości zbliżone do obserwowanych na stacjach nizinnych;
- w roku 2024 stężenie dwutlenku węgla, mierzone tylko na stacji Puszcza Borecka, osiągnęło jedną z najwyższych wartości w historii pomiarów na stacji; stężenia dwutlenku węgla wykazują od początku pomiarów stałą tendencję wzrostową, wyhamowaną w ostatnich latach;
- stężenia rtęci gazowej na stacji Puszcza Borecka charakteryzowały się niewielką zmiennością w czasie w okresie 2004-2020 (pomiar metodą manualną) i oscylowały wokół wartości $1,45 \text{ ng/m}^3$; w 2024 roku wartość średnia należała do najniższych i wyniosła $1,37 \text{ ng/m}^3$ (po zmianie metody pomiarowej);
- średnie roczne stężenie pyłu PM₁₀ na stacji Puszcza Borecka w roku 2024 było niższe od średniej z okresu wieloletniego 2005-2023, ale wyższe niż rok wcześniej; stężenie pyłu PM_{2,5} (wykazujące podobne prawidłowości, jak PM₁₀) osiągnęło wartość niższą od średniej z okresu wieloletniego 2009-2023, ale zarazem wyższą niż rok wcześniej; porównanie wieloletniego przebiegu stężenia pyłu PM₁₀ między stacjami wskazuje na występowanie wartości najwyższych na stacji w Szymbarku, niższych na stacji w Zielonce i najniższych na stacji Puszcza Borecka; w roku 2024 wartości stężenia pyłu PM₁₀ i PM_{2,5} na stacji w Zielonce były najniższe z dotychczas obserwowanych na tej stacji, i niższe niż w pozostałych rejonach badań; na przestrzeni wielolecia do roku 2018 wyższe wartości stężenia pyłu PM_{2,5} notowano na stacji w Zielonce, a w następnych latach niezmiennie na stacji Puszcza Borecka;
- wybrane metale ciężkie oznaczane w pyłe PM₁₀ wykazywały niejednakową zmienność z roku na rok, chociaż dla większości obserwowano w skali wielolecia tendencję malejącą; stężenia As, Cd, Ni i Pb zaobserwowane na stacji w Zielonce przez wiele lat były wyższe od obserwowanych w Puszczy Boreckiej, od 2022 roku było odwrotnie i wartości z Puszczy Boreckiej dominowały nad obserwowanymi na stacji w Zielonce;
- w stosunku do wartości średniej z poprzednich lat badań (2008-2023), stężenie sumy WWA w Puszczy Boreckiej w roku 2024 było wyższe o 2%, a w stosunku do roku poprzedniego o 22% wyższe; odnotowano zwiększenie średnich rocznych wartości stężenia czterech spośród siedmiu badanych WWA; na stacji w Zielonce odnotowano wzrost stężenia tylko dwóch spośród siedmiu WWA; na obu stacjach obserwowano w 2024 roku spadek stężenia benzo(a)pirenu i przesunięcie w kolejności wśród obserwowanych WWA z miejsca trzeciego na przedostatnie (Puszcza Borecka) lub trzecie od końca (Zielonka); o ile w pierwszym okresie wspólnych badań stężenie sumy WWA i poszczególnych WWA na stacji w Zielonce były wyższe niż na stacji Puszcza Borecka, to w ostatnim roku, a przypadku niektórych WWA już rok lub nawet

dwa lata wcześniej, stężenia WWA na stacji Puszcza Borecka były wyższe niż w Zielonce;

- rok 2024 pod względem ilości opadów był rokiem ocenianym jako normalny – roczne sumy były w porównaniu do średniej z lat 1994-2023 nieznacznie wyższe - o 0,8% na stacji nadmorskiej, na pozostałych stacjach niższe: o 3,5% w Jarczewie, o 14% na stacji Puszcza Borecka i o 11,8% (w porównaniu do średniej z lat 1995-2023) na stacji w Szymbarku; jednocześnie odnotowano znaczne dysproporcje pomiędzy warunkami pluwialnymi obserwowanymi w porach roku: skrajnie wilgotna zima i bardzo sucha wiosna, czy poszczególnych miesiącach, kiedy skrajnie wilgotne miesiące przeplatały się z miesiącami skrajnie suchymi;
- w roku 2024 w nizinnych rejonach badań opady charakteryzowały się odczynem normalnym, a na stacji reprezentującej rejon pogórzy i gór niskich odczynem lekko obniżonym; wieloletni przebieg pH wody opadowej w nizinnych rejonach badań świadczy o utrzymaniu się wzrostowej tendencji wskaźnika pH (spadku kwasowości), a występowanie opadów o odczynie normalnym, biorąc pod uwagę średnie roczne wartości pH, obserwowano począwszy od 2017 roku (Puszcza Borecka od 2016 roku, a Łeba w roku 2011 i potem od 2017);
- w okresie 1994-2024 widoczne jest wyraźne przesunięcie na wszystkich stacjach w kierunku wyższych wartości pH – na stacjach nizinnych zwiększała się systematycznie częstość opadów w przedziałach 5,1-6,1 i 6,1-6,5, a po roku 2016 również w przedziale pH>6,5; jednocześnie malała częstość opadów z przedziału 4,1- 4,6 i <4,1, przy czym opady z ostatniej grupy po 2016 roku w nizinnych rejonach badań praktycznie nie występowały;
- we wszystkich rejonach badań ładunki jonów wodorowych dostarczane do podłoża z opadami malały w wieloleciu;
- stężenie jonów siarczanowych w opadach na stacjach nizinnych malało stopniowo od roku 1994;
- w przebiegu stężeń jonu azotanowego w opadach obserwowano stały bardzo powolny spadek, a wartości na stacjach nizinnych są zbliżone do siebie;
- od roku 2000 do 2010 najwyższe stężenia jonu amonowego w opadach obserwowano na stacji w Jarczewie; w ostatnich latach Jarczew zrównał się jednak z resztą stacji;
- największe stężenia chlorków w opadach obserwowano w całym okresie na stacji w Łebie, co związane jest z położeniem tej stacji w rejonie nadmorskim, a najmniejsze w Jarczewie;
- wartości stężenia substancji oznaczanych w wodzie opadowej ze stacji w Szymbarku w 2024 roku nie odbiegały od uzyskanych na pozostałych stacjach;
- wybrane metale ciężkie w 2024 roku oznaczane były z prób pobranych na trzech stacjach: w Łebie, Puszczy Boreckiej i w Szymbarku; stężenia metali ciężkich na stacjach Łeba i Puszcza Borecka malały na przestrzeni wielolecia przez wiele lat, a w ostatnim okresie wzrosły; w porównaniu z rokiem poprzednim odnotowano wzrost stężenia wszystkich metali ciężkich w Łebie, oraz prawie wszystkich, z wyjątkiem Cd i Cr na stacji Puszcza Borecka; stężenia wszystkich metali na stacji Puszcza Borecka były w 2024 roku wyższe niż na stacji nadmorskiej, a wartości z Szymbarku były zbliżone do odnotowanych w Łebie w przypadku Pb, Cu, Cr, niższe

niż na obu stacjach w przypadku Ni czy As, oraz bliskie do obserwowanych na stacji Puszcza Borecka dla Cd i Zn; podobne do stężeń przebiegi wykazywała także mokra depozycja metali ciężkich.

Porównanie na tle pozostałych stacji europejskich pozwala stwierdzić, że w większości przypadków otrzymane wyniki nie odbiegają od uzyskanych w regionie.

Bibliografia

Aas, W., Halvorsen, H. L., Pfaffhuber, K. A. (2025). Heavy metals and POP measurements 2023. (EMEP/CCC report 3/2025). Kjeller: NILU.

Acid Deposition in the United Kingdom 1992-1994. Fourth Report of the Review Group on Acid Rain, 1997.

Bogucka M., 2011: Monitoring tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce dla potrzeb EMEP, GAW/WMO i Komisji Europejskiej; Raport syntetyczny 2010 (<https://powietrze.gios.gov.pl/depoz/publikacje/monitoring-tla-zanieczyszczenia-atmosfery-w-polsce-dla-potrzeb-emep-gaw-wmo-i-komisji-europejskiej-raport-syntetyczny-za-2010-rok/>)

Bogucka M., 2023: Monitoring tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce dla potrzeb EMEP, GAW/WMO i Komisji Europejskiej. Raport syntetyczny ze stacji EMEP w Polsce za 2022 r. GIOŚ, Warszawa 2023 (<https://powietrze.gios.gov.pl/depoz/wp-content/uploads/2024/02/Raport-syntetyczny-2022.pdf>)

Bogucka M., 2025: Monitoring tła zanieczyszczenia atmosfery na stacjach EMEP, obsługiwanych przez IMGW-PIB. Raport roczny za 2024 rok. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy (praca wykonana na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska).

Critical Levels of Air Pollutants for the United Kingdom (praca zbiorowa pod kier. M.R. Ashmore), 1996.

Degórska A., Skotak K., Prządka Z., Syrzycki M. 2025: Monitoring tła zanieczyszczenia atmosfery na Stacji „Puszcza Borecka”. Raport roczny 2024. Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy (praca wykonana na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska).

Degórska A., Skotak K., Syrzycki M. 2024: Monitoring tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce dla potrzeb EMEP, GAW/WMO i Komisji Europejskiej. Raport syntetyczny 2023. GIOŚ, Warszawa 2024. (<https://powietrze.gios.gov.pl/depoz/publikacje/monitoring-tla-zanieczyszczenia-atmosfery-w-polsce-dla-potrzeb-emep-gaw-wmo-i-komisji-europejskiej-raport-syntetyczny-ze-stacji-emep-za-2023-rok/>)

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy

Dyrektywa 2004/107/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 15 grudnia 2004 r. w sprawie arsenu, kadmu, rtęci, niklu i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w otaczającym powietrzu.

Hjellbrekke, A.-G. (2025). Data Report 2023. Particulate matter, carbonaceous and inorganic compounds (EMEP/CCC-Report 1/2025). Kjeller: NILU.

Jansen W., Block A., Knaack J., 1988: Kwaśne deszcze. Historia, powstawanie, skutki. *Aura* 4: 88, 1988, s.18-19.

Kaczorowska Z., 1962: Opady w Polsce w przekroju wieloletnim. *Prace Geograficzne*, 33.

Kijowska-Strugała M., Bochenek W., 2025: Monitoring tła zanieczyszczenia atmosfery na Stacji Badawczej IGiPZ PAN w Szymbarku. Raport roczny za 2024 rok. Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN (praca wykonana na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska)

Lehmhaus J., Saltbones J., Eliassen A., 1986: A Modified Sulphur Budget for Europe for 1990. The Norwegian Meteorological Institute, EMEP/MSC-W Report 3/86.

Liana E., 2023: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i ocena depozycji zanieczyszczeń do podłoża w 2023 roku. Raport roczny z badań monitoringowych w 2022 roku. (opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska). <https://powietrze.gios.gov.pl/depoz/publikacje/raport-roczny-z-chemizmu-opadow-za-2022-rok/>

Lityński J., 1969: Liczbowa klasyfikacja typów cyrkulacji i typów pogody dla Polski. *Prace PIHM*, z. 91.

Lorenc H., Suwalska-Bogucka M., 1995: Tendencje termiczne zim w Polsce jako wskaźnik oceny zmienności klimatu. *Wiad. IMGW*, 18, 1.

Miętus M., Filipiak J., Owczarek M., Jakusik E., 2005. Zmienność warunków opadowych w rejonie polskiego wybrzeża Morza Bałtyckiego w świetle kwantylowej klasyfikacji opadowej. *Materiały Badawcze IMGW, Seria Meteorologia*, 37, 59 pp.

Miętus M., Owczarek M., Filipiak J., 2002: Warunki termiczne na obszarze Wybrzeża i Pomorza w świetle wybranych klasyfikacji, *Materiały Badawcze IMGW, Seria Meteorologia*, 36, 56 pp.

Mitosek G., Degórska A., Iwanek J., Przybylska G., Skotak K., 2003: EMEP Assessment Report. Poland (ed. by G. Mitosek), Instytut Ochrony Środowiska, Institute of Environmental Protection, Warsaw 2004 (https://emep.int/publ/reports/2004/assessment/Part2_183-196.pdf)

Pawłowska J., Jankowska A., Pindor T., 2000: Kalendarz typów cyrkulacji atmosferycznej według J. Lityńskiego : 1991-1999, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa: IMGW.

Roczna ocena jakości powietrza w województwie małopolskim. Raport wojewódzki za rok 2024. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, 2025

Rozporządzenie Ministra Środowiska dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. z 2012 r., poz. 1031)

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8 października 2019 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. z 2019 r., poz. 1931)

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 czerwca 2018 r. w sprawie zakresu i sposobu przekazywania informacji dotyczących zanieczyszczenia powietrza (Dz. U. z 2018 r., poz. 1120)

Seinfeld J. H., Pandis S.N., 1998: Atmospheric Chemistry and Physics. From Air Pollution to Climate Change. J. Wiley & Sons, Inc., New York.

Województwo małopolskie. Powiadomienie o przekroczeniu poziomu informowania i poziomu alarmowego dla pyłu zawieszonego PM10 w powietrzu. Komunikat 02.04.2024. Regionalny Wydział Monitoringu Środowiska w Krakowie (<https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/rwms/content/show/11834>)

<https://gawsis.meteoswiss.ch/GAWSIS//#/>

<http://ebas.nilu.no/>

<https://projects.nilu.no//ccc/sitedescriptions/>

<https://www.emep.int/>

<https://projects.nilu.no/ccc/sitedescriptions/index.html>

<https://projects.nilu.no/ccc/network/index.html>

Spis rysunków

Rysunek 1. Lokalizacja stacji monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w 2024 roku.....	6
Rysunek 2. Rozkład częstości (%) kierunków cyrkulacji atmosferycznej w Polsce w 2024 roku na tle wielolecia 1994-2023 i w porównaniu do 2023 roku	15
Rysunek 3. Przebieg roczny miesięcznych sum usłonecznienia na stacjach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w 2024 roku na tle przebiegu średniego wieloletniego i w porównaniu do 2023 roku.....	16
Rysunek 4. Przebieg roczny temperatury powietrza na stacjach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w 2024 roku na tle przebiegu średniego wieloletniego i w porównaniu do 2023 roku.....	17
Rysunek 5. Przebieg roczny miesięcznych sum opadów atmosferycznych na stacjach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w 2024 roku na tle przebiegu średniego wieloletniego oraz w porównaniu do roku 2023	19
Rysunek 6. Stężenie podstawowych zanieczyszczeń powietrza na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2024, z uwzględnieniem danych ze stacji na Śnieżce, działającej do końca 2023 roku.....	27
Rysunek 7. Średnie roczne stężenie dwutlenku węgla na stacji Puszcza Borecka w latach 2002- 2024.....	35
Rysunek 8. Średnie roczne stężenie rtęci gazowej na stacji Puszcza Borecka w latach 2004- 2024	36

Rysunek 9. Średnie roczne stężenie pyłu zawieszonego PM ₁₀ i PM _{2,5} na stacjach Puszcz Borecka w latach 2005-2024, Zielonka w latach 2015-2024 i Szymbark (tylko PM ₁₀) w latach 2018-2024.....	38
Rysunek 10. Średnie roczne stężenie metali ciężkich na tle stężeń pyłu PM ₁₀ na stacji Puszcz Borecka w latach 2005-2024 i na stacji Zielonka w latach 2015-2024.....	41
Rysunek 11. Średnie roczne wartości stężenia wybranych WWA w pyłe PM ₁₀ na stacji Puszcz Borecka w latach 2008-2024 i na stacji Zielonka w latach 2015-2024.....	43
Rysunek 12. Średnie roczne wartości stężenia składników badanych w pyłe PM _{2,5} na stacji Puszcz Borecka w latach 2011-2024 i na stacji Zielonka w latach 2016-2024	45
Rysunek 13. Stężenie jonów wodorowych, wskaźnik pH i przewodność elektrolityczna właściwa opadów atmosferycznych na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2024, z uwzględnieniem danych ze stacji na Śnieżce, działającej do końca 2023 roku	49
Rysunek 14. Częstość występowania pH wody opadowej na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2024	52
Rysunek 15. Stężenie podstawowych jonów w wodzie opadowej na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2024, z uwzględnieniem danych ze stacji na Śnieżce, działającej do końca 2023 roku.....	55
Rysunek 16. Mokra depozycja jonów wodorowych, siarki siarczanowej, związków azotu i jonów chlorkowych na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2024, z uwzględnieniem danych ze stacji na Śnieżce, działającej do końca 2023 roku .	56
Rysunek 17. Mokra depozycja kationów na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2024, z uwzględnieniem danych ze stacji na Śnieżce, działającej do końca 2023 roku	57
Rysunek 18. Stężenie metali ciężkich w opadach atmosferycznych w rejonach badań tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2024	68
Rysunek 19. Mokra depozycja metali ciężkich w rejonach badań tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2024.....	69
Rysunek 20. Średnie roczne stężenia WWA w opadach całkowitych (na górze) i mokra depozycja WWA (na dole) na stacji Puszcz Borecka w latach 2008-2024	73
Rysunek 21. Sucha i mokra depozycja siarki, azotu tlenowego i jonów wodorowych w rejonach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2024.....	77
Rysunek 22. Udział suchej i mokrej depozycji w depozycji całkowitej w rejonach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2024.....	78
Rysunek 23. Rozkład przestrzenny stężenia tlenowych związków siarki w powietrzu [µgS/m ³] na stacjach EMEP w 2023 roku. Źródło: EMEP [Hjellbrekke,2025]	85
Rysunek 24. Rozkład przestrzenny stężenia dwutlenku azotu w powietrzu [µgN/m ³] na stacjach EMEP w 2023 roku. Źródło: EMEP [Hjellbrekke,2025]	86
Rysunek 25. Rozkład przestrzenny stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ i PM _{2,5} w powietrzu [µg/m ³] na stacjach EMEP w 2023 roku. Źródło: EMEP [Hjellbrekke,2025]....	87
Rysunek 26. Rozkład przestrzenny stężenia węgla organicznego OC i węgla elementarnego EC [µgC/m ³] w pyłe zawieszonym PM _{2,5} na stacjach EMEP w 2023 roku. Źródło: EMEP [Hjellbrekke,2025]	88
Rysunek 27. Rozkład przestrzenny stężenia ołowiu i kadmu w pyłe zawieszonym [ng/m ³] na stacjach EMEP w 2023 roku. Źródło: EMEP [Aas i in., 2025]	90
Rysunek 28. Rozkład przestrzenny stężenia arsenu i niklu w pyłe zawieszonym [ng/m ³] na stacjach EMEP w 2023 roku. Źródło: EMEP [Aas i in., 2025]	91
Rysunek 29. Rozkład przestrzenny stężenia rtęci w powietrzu [ng/m ³] na stacjach EMEP w 2023 roku. Źródło: EMEP [Aas i in., 2025]	91
Rysunek 30. Rozkład przestrzenny stężenia benzo(a)pirenu w pyłe zawieszonym PM ₁₀ [ng/m ³] na stacjach EMEP w 2023 roku. Źródło: EMEP [Aas i in., 2025].....	92

Rysunek 31. Rozkład przestrzenny wartości pH opadów atmosferycznych na stacjach EMEP w 2023 roku. Źródło: EMEP [Hjellbrekke,2025].....	93
Rysunek 32. Rozkład przestrzenny stężenia jonów siarczanowych w opadach atmosferycznych [mgS/dm ³] (wartości skorygowane ze względu na obecność aerozolu morskiego) na stacjach EMEP w 2023 roku. Źródło: EMEP [Hjellbrekke,2025]	94
Rysunek 33. Rozkład przestrzenny stężenia związków azotu [mgN/dm ³] w opadach atmosferycznych na stacjach EMEP w 2023 roku. Źródło: EMEP [Hjellbrekke,2025]	95
Rysunek 34. Rozkład przestrzenny stężenia ołowiu i kadmu w opadach atmosferycznych [µg/dm ³] na stacjach EMEP w 2023 roku. Źródło: EMEP [Aas i in., 2025]	96
Rysunek 35. Rozkład przestrzenny stężenia arsenu i niklu w opadach atmosferycznych [µg/dm ³] na stacjach EMEP w 2023 roku. Źródło: EMEP [Aas i in., 2025]	96
Rysunek 36. Rozkład przestrzenny stężenia miedzi i chromu w opadach atmosferycznych [µg/dm ³] na stacjach EMEP w 2023 roku. Źródło: EMEP [Aas i in., 2025].....	97
Rysunek 37. Rozkład przestrzenny stężenia rtęci w opadach atmosferycznych [µg/dm ³] na stacjach EMEP w 2023 roku. Źródło: EMEP [Aas i in., 2025]	97

Spis tabel

Tabela 1. Stacje monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce	7
Tabela 2. Metody pomiarowe stosowane na stacjach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w 2024 roku.....	11
Tabela 3. Zanieczyszczenie powietrza na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w 2024 roku na tle poziomów dopuszczalnych i docelowych. Kryterium: ochrona zdrowia ludzi.....	22
Tabela 4. Zanieczyszczenie powietrza na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w 2024 roku na tle wartości dopuszczalnych i docelowych. Kryterium: ochrona roślin	24
Tabela 5. Zanieczyszczenie powietrza na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2024 (wartości średnie arytmetyczne).....	30
Tabela 6. Średnie roczne stężenie dwutlenku węgla na stacji Puszcza Borecka w latach 2002- 2024	34
Tabela 7. Średnie roczne stężenie rtęci gazowej na stacji Puszcza Borecka w latach 2004-2024	36
Tabela 8. Średnie roczne stężenie pyłu zawieszonego PM ₁₀ i PM _{2,5} na stacjach Puszcza Borecka w latach 2005-2024, Zielonka w latach 2015-2024 i Szymbark (tylko PM ₁₀) w latach 2018-2024.....	39
Tabela 9. Średnie roczne stężenie metali ciężkich w pyłe PM ₁₀ na stacji Puszcza Borecka w latach 2005-2024 i na stacji Zielonka w latach 2015-2024.....	42
Tabela 10. Średnie roczne stężenie wybranych WWA w pyłe PM ₁₀ na stacji Puszcza Borecka w latach 2008-2024 i na stacji Zielonka w latach 2015-2024.....	44
Tabela 11. Średnie roczne stężenie składników w pyłe PM _{2,5} na stacji Puszcza Borecka w latach 2011-2024 i na stacji Zielonka w latach 2016-2024	46
Tabela 12. Klasyfikacja wód opadowych według skali z podziałem na sześć klas wartości pH (Źródło: Jansen i in. 1988, zmodyfikowana).....	47
Tabela 13. Częstość występowania pH wody opadowej (%) na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2024	50
Tabela 14. Stężenie składników wody opadowej i mokra depozycja na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2024	58
Tabela 15. Stężenie (a) i mokra depozycja (b) metali ciężkich w wodzie opadowej na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Łebie, Puszczy Boreckiej i Szymbarku w latach 1994-2024	70
Tabela 16. Stężenie WWA w opadach atmosferycznych i mokra depozycja WWA na stacji Puszcza Borecka w latach 2008-2024.....	74
Tabela 17. Stężenie i depozycja mokra jonów wodorowych na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2024	76
Tabela 18. Depozycja tlenowych związków siarki, tlenowych związków azotu i jonów wodorowych w rejonach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce.....	81