



**Główny Inspektorat Ochrony Środowiska**

**MONITORING TŁA ZANIECZYSZCZENIA  
ATMOSFERY W POLSCE DLA POTRZEB  
EMEP, GAW/WMO  
I KOMISJI EUROPEJSKIEJ**

**RAPORT SYNTETYCZNY ZE STACJI EMEP W POLSCE  
RAPORT ZA 2022 R.**



Praca wykonana na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (umowa nr GIOŚ/ZP/1/2023/DMŚ/NFOŚiGW z dnia 13.01.2023 r.) finansowana ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

Warszawa, 2023

Opracowano w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowym Instytucie Badawczym w Warszawie na podstawie raportów rocznych IMGW-PIB i IOŚ-PIB z 2022 roku, wykonanych przez poniżej wymienionych autorów:

mgr Magdalena Bogucka	Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy
-----------------------	---

dr inż. Anna Degórska dr inż. Krzysztof Skotak mgr inż. Zdzisław Prządka mgr Marcin Syrzycki	Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy Stacja Kompleksowego Monitoringu Środowiska „Puszcza Borecka”
---	---

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

## Spis treści

1. Wstęp.....	4
2. Stacje monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce .....	5
3. Program pomiarowy .....	7
4. Warunki meteorologiczne w 2022 roku na tle wielolecia.....	12
5. Zanieczyszczenie powietrza w 2022 roku na tle wielolecia .....	16
5.1. Odniesienie wyników do poziomów dopuszczalnych i docelowych .....	16
5.2. Podstawowe zanieczyszczenia powietrza .....	21
5.3. Dwutlenek węgla.....	30
5.4. Rtęć gazowa .....	31
5.5. Pył zawieszony .....	32
5.5.1. Stężenie pyłu .....	32
5.5.2. Metale ciężkie w pyłe PM10 .....	34
5.5.3. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w pyłe PM10 .....	37
5.5.4. Składniki w pyłe PM2,5 .....	39
6. Zanieczyszczenie opadów atmosferycznych w 2022 roku na tle wielolecia .....	41
6.1. Odczyn wody opadowej .....	41
6.2. Główne jony w wodzie opadowej .....	46
6.3. Metale ciężkie w opadzie .....	55
6.4. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w opadzie .....	61
7. Depozycja zanieczyszczeń do podłoża w 2022 roku na tle wielolecia .....	63
8. Sytuacja Polski na tle Europy.....	73
8.1. Zanieczyszczenie powietrza.....	73
8.2. Zanieczyszczenie opadów .....	79
9. Podsumowanie .....	83
Bibliografia.....	86
Spis rysunków .....	87
Spis tabel .....	89

## 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 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 [5] i Instytutu Ochrony Środowiska – Państwowego Instytutu Badawczego (IOŚ-PIB) [7], wykonanych na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (GIOŚ), zgodnie z umowami finansowanymi ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW).

Niniejszy raport obejmuje wyniki pomiarów zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w 2022 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 czterech 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 EMEP i GAW/WMO w Polsce obejmuje w chwili obecnej cztery stacje regionalnego tła zanieczyszczenia atmosfery: Jarczew, Łeba i Śnieżkę, gdzie pomiary prowadzi Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, oraz Puszcza Borecką (z posterunkiem pomiarowym zlokalizowanym w Diablej Górze), należącą do Instytutu Ochrony Środowiska – Państwowego Instytutu Badawczego. Jako pierwsza do sieci włączona została w 1978 r., obsługiwana przez IMGW-PIB, ale niedziałająca już stacja w Suwałkach (zlikwidowana w 1994 r.), a następnie sukcesywnie kolejne stacje: Jarczew (od 1985 r.), Śnieżka (od 1992 r.), Puszcza Borecka (od 1992 r.) oraz Łeba (od 1993 r.). 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.

Podstawowe informacje o stacjach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce zamieszczono w tabeli 1, a ich rozmieszczenie zaprezentowano na załączonej mapie (rysunek 1).



Rysunek 1. Lokalizacja stacji monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce

Tabela 1. Stacje monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce

Stacja	$\varphi$	$\lambda$	Wysokość n.p.m. [m]	Położenie stacji	Instytucja prowadząca pomiary	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
Zielonka*	53°39'00,00" N	17 ° 55'59,90" E	121	region północny; pojezierze; leśny	CLB Oddział Bydgoszcz	-	01.01.2010/ 01.01.2015*	-	-	PL09

\*stacja stowarzyszona z EMEP od 2015 roku; 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 2022 roku wykonywały 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. Ponadto na stacji nadmorskiej w Łebie, oprócz wyżej wymienionych, realizowano program BMP/HELCOM (Międzynarodowy Program Monitoringu Bałtyku dla potrzeb Komisji Helsińskiej). Wszystkie omawiane stacje wykonywały zadania wskazane w Programie Państwowego Monitoringu Środowiska i wykorzystywane dla potrzeb Komisji Europejskiej.

W 2022 r. we wszystkich rejonach badań (poza Zielonką) program 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 PM2,5 oraz zawarte w nim wybrane jony, węgiel elementarny i węgiel organiczny. Ponadto po 2020 roku wprowadzono na stacji 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 także zawartość metali ciężkich w opadach atmosferycznych. Zakres programu pomiarowego stacji Zielonka, który realizowano na potrzeby EMEP, obejmował badania pyłu zawieszzonego PM10 i zawartych w nim metali ciężkich i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych oraz pyłu zawieszzonego PM2,5 i zawartych w nim jonów i węgla.

W tabeli 2 (na stronach 10-12) zestawiono szczegółowe informacje o programie pomiarowym realizowanym na stacjach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce, oraz o metodach poboru i 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, a od 2021 roku zawartość rtęci gazowej w powietrzu, którą do 2020 r. oznaczano manualnie w próbkach pobieranych w losowo wybranym dniu raz w tygodniu. 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 na stacji w Łebie oznaczano w próbkach miesięcznych, zlewanych z dwutygodniowych.

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,
- laboratorium Wysokogórskiego Obserwatorium Meteorologicznego IMGW-PIB im. Tadeusza Hołdysa na Śnieżce,
- 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.

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 i na Śnieżce oraz laboratoria IOŚ-PIB uczestniczą 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 2022 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 ( $\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3+\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_3+\text{NH}_4^+$ ) (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  $\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3+\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_3+\text{NH}_4^+$  na filtrach (BL-PB-05 i BL-PB-21),  $\text{SO}_4$ ,  $\text{NO}_3$ , Cl (norma PN-EN ISO 10304-1:2009),  $\text{NH}_4$  (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 2022 rok [7].

Laboratorium CLB w Bydgoszczy posiada akredytację Polskiego Centrum Akredytacji (nr certyfikatu AB 201) na oznaczanie WWA w pyłe PM10.



Tabela 2. Metody pomiarowe stosowane na stacjach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w 2022 roku

a) powietrze

Składnik/wskaźnik	Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - PIB		Instytut Ochrony Środowiska - PIB	
	Metoda poboru	Metoda oznaczania	Metoda poboru	Metoda oznaczania
<b>POWIETRZE</b>				
O <sub>3</sub>	analizator Thermo Scientific 49i	absorpcja UV	analizator Thermo Scientific 49i	UV fotometria
CO <sub>2</sub>			analizator Thermo Scientific 410i	absorpcja promieniowania podczerwonego
Hg			analizator Lumex RA-915AM	Zeeman AAS
SO <sub>2</sub>	filtr Whatman-40 impregnowany KOH	thorinowa	analizator Thermo Scientific 43i	fluorescencja UV
NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub>	płyn pochłaniający TGS: trójetanoloamina + gwajakol + Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	NEDA Griess-Ilosway	analizator Thermo Scientific 42i	chemiluminescencja
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	filtr Whatman-40	thorinowa	filtr teflonowy	elektroforeza kapilarna
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		redukcja hydrazyną		
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	filtr Whatman-40	gwajakol - chloramina T		
Cl <sup>-</sup>		rodanek rtęci - żelazo		
(HNO <sub>3</sub> + NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	filtr Whatman-40 impregnowany NaF	redukcja hydrazyną	HNO <sub>3</sub> – filtr Whatman-40 impregnowany KOH, NO <sub>3</sub> – filtr teflonowy	elektroforeza kapilarna
(NH <sub>3</sub> + NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	filtr Whatman-40 impregnowany H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	gwajakol - chloramina T	NH <sub>3</sub> – filtr Whatman-40 impregnowany (HCOOH) <sub>2</sub> ; NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> – filtr teflonowy	spektrofotometria

b) pył zawieszony

Składnik/wskaźnik	Instytut Ochrony Środowiska - PIB		CLB w Bydgoszczy			
	Metoda poboru	Metoda oznaczania	Metoda poboru	Metoda oznaczania		
<b>PYŁ ZAWIESZONY</b>						
<b>Pył zawieszony PM10</b>	pobornik wysokoobjętościowy HVS; filtr kwarcowy	wagowa	pobornik wysokoobjętościowy HVS, filtr kwarcowy	wagowa		
<b>As w PM10</b>		GF-AAS		GF-AAS		
<b>Cd w PM10</b>		GF-AAS		GF-AAS		
<b>Cr w PM10</b>		ICP-AES				
<b>Cu w PM10</b>		ICP-AES				
<b>Ni w PM10</b>		GF-AAS		GF-AAS		
<b>Pb w PM10</b>		GF-AAS		GF-AAS		
<b>Zn w PM10</b>		ICP-AES				
<b>benzo(a)piren w PM10</b>		pobornik wysokoobjętościowy HVS; filtr kwarcowy		HPLC	pobornik wysokoobjętościowy HVS, filtr kwarcowy	HPLC
<b>benzo(a)antracen w PM10</b>	HPLC		HPLC			
<b>benzo(b)fluoranten w PM10</b>	HPLC		HPLC			
<b>benzo(j)fluoranten w PM10</b>	HPLC		HPLC			
<b>benzo(k)fluoranten w PM10</b>	HPLC		HPLC			
<b>dibenzo(a,h)antracen</b>	HPLC		HPLC			
<b>indeno(1,2,3-cd)piren w PM10</b>	HPLC		HPLC			
<b>Pył zawieszony PM2,5</b>	pobornik wysokoobjętościowy HVS; filtr kwarcowy	wagowa	pobornik wysokoobjętościowy HVS, filtr kwarcowy	wagowa		
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> w PM2,5</b>		chromatografia jonowa		chromatografia jonowa		
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> w PM2,5</b>		chromatografia jonowa		chromatografia jonowa		
<b>Cl<sup>-</sup> w PM2,5</b>		chromatografia jonowa		chromatografia jonowa		
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> w PM2,5</b>		spektrofotometria		spektrofotometria		
<b>Na<sup>+</sup> w PM2,5</b>		ICP-AES		FAAS		
<b>K<sup>+</sup> w PM2,5</b>		ICP-AES		FAAS		
<b>Mg<sup>2+</sup> w PM2,5</b>		ICP-AES		FAAS		
<b>Ca<sup>2+</sup> w PM2,5</b>		ICP-AES		FAAS		
<b>węgiel elementarny EC w PM2,5</b>		termooptyczna		termooptyczna		
<b>węgiel organiczny OC w PM2,5</b>		termooptyczna		termooptyczna		
GF-AAS - spektrometria atomowa z kuetą grafitową, ICP-AES – plazmowa spektrometria atomowa emisyjna, HPLC - wysokosprawną chromatografią cieczową, FAAS - płomieniowa spektrometria atomowa absorpcyjna.						

c) opady

Składnik/wskaźnik	Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - PIB		Instytut Ochrony Środowiska - PIB	
	Metoda poboru	Metoda oznaczania	Metoda poboru	Metoda oznaczania
<b>OPADY</b>				
wysokość opadu	deszczomierz Hellmana*	objętościowa	deszczomierz Hellmana	objętościowa
pH		elektrometria		elektrometria
przew. elektr.		elektrometria		elektrometria
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		chromatografia jonowa**		chromatografia jonowa
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		chromatografia jonowa**		chromatografia jonowa
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	kolektor opadu typu bulk, próba dobową	spektrofotometria	kolektor opadu mokrego (wet-only), próba dobową	spektrofotometria
Cl <sup>-</sup>		chromatografia jonowa**		chromatografia jonowa
Na <sup>+</sup>		FAAS		ICP-AES
Mg <sup>2+</sup>		FAAS		ICP-AES
Ca <sup>2+</sup>		FAAS		ICP-AES
K <sup>+</sup>		FAAS		ICP-AES
Pb		kolektor opadu mokrego (wet-only), próba dwutygodniowa (Łeba)		GF-AAS
Cd	GF-AAS		GF-AAS	
Cu	GF-AAS		GF-AAS	
Zn	FAAS		FAAS	
Cr	GF-AAS		GF-AAS	
Ni	GF-AAS		GF-AAS	
As			GF-AAS	
Hg		kolektor opadu całkowitego, próbka tygodniowa	CV-AFS	
benzo(a)piren			HPLC	
benzo(a)antracen			HPLC	
benzo(b)fluoranten		kolektor opadu całkowitego, próbka miesięczna zlewana z tygodniowych	HPLC	
benzo(j)fluoranten			HPLC	
benzo(k)fluoranten			HPLC	
dibenzo(a,h)antracen			HPLC	
indeno(1,2,3-cd)piren			HPLC	
				HPLC

\*) Łeba - tylko w okresie występowania opadów stałych (np. śnieg, grad); tu przyrządem obowiązującym od 1.1.2014 r. jest deszczomierz automatyczny SEBA  
 \*\*) Śnieżka: spektrofotometria  
 FAAS - płomieniowa spektrometria atomowa absorpcyjna,  
 ICP-AES – plazmowa spektrometria atomowa emisyjna,  
 GF-AAS - spektrometria atomowa z kuwetą grafitową,  
 CV-AFS - fluorescencja atomowa  
 HPLC - wysokosprawna chromatografia cieczowa.

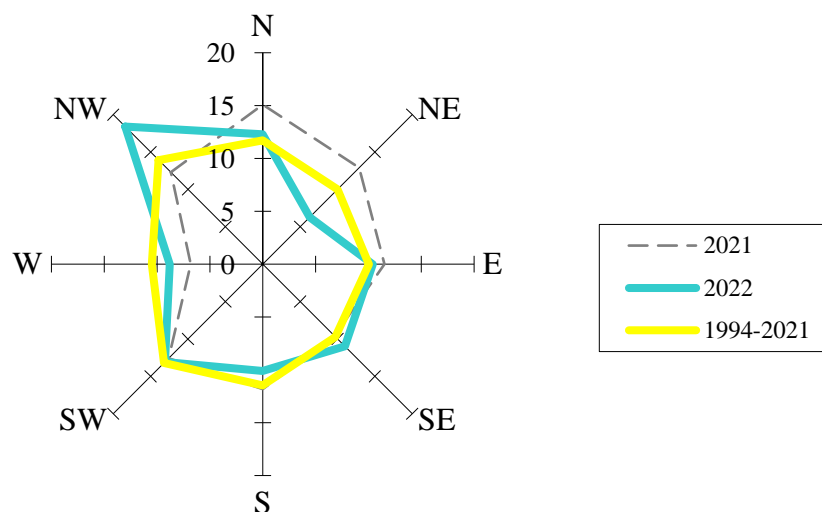
#### 4. Warunki meteorologiczne w 2022 roku na tle wielolecia

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 [7]. 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 [14, 19]. Warunki meteorologiczne w roku 2022 odniesiono do roku poprzedniego i przeciętnych warunków z poprzedzającego wielolecia 1994-2021.

W 2022 roku w Polsce przeważała cyrkulacja północno-zachodnia (NW, 18,4%), południowo-zachodnia (SW, 13,1%) i północna (N, 12,3%), najmniej było dni z cyrkulacją północno-wschodnią (NE, 6,3%) (rys. 2).

W porównaniu do okresu wieloletniego 1994-2021 częściej występowała cyrkulacja północno-zachodnia i południowo-wschodnia (odpowiednio o 4,5% i o 1,3%), natomiast rzadziej północno-wschodnia i zachodnia (odpowiednio o 3,7% i 1,7%). W porównaniu z poprzednim rokiem 2021 częstsza była cyrkulacja NW - o 6,1% oraz cyrkulacja W i sytuacje bezadwekcyjne (cyrkulacja 0) – o ok. 2%, natomiast z mniejszą częstością pojawiał się napływ powietrza z północnego wschodu – o 6,6%, północy – o 2,8% i południa o 1,7% (rys. 2).

Przewaga dominującego w roku 2022 napływu z kierunku północno-zachodniego była widoczna zwłaszcza w styczniu, lutym i maju (odpowiednio z częstością 52, 39 i 29%); nie odnotowano napływu powietrza z tego kierunku w sierpniu, a w listopadzie i grudniu udział napływu z NW był niewielki (zaledwie 3 i 6%).

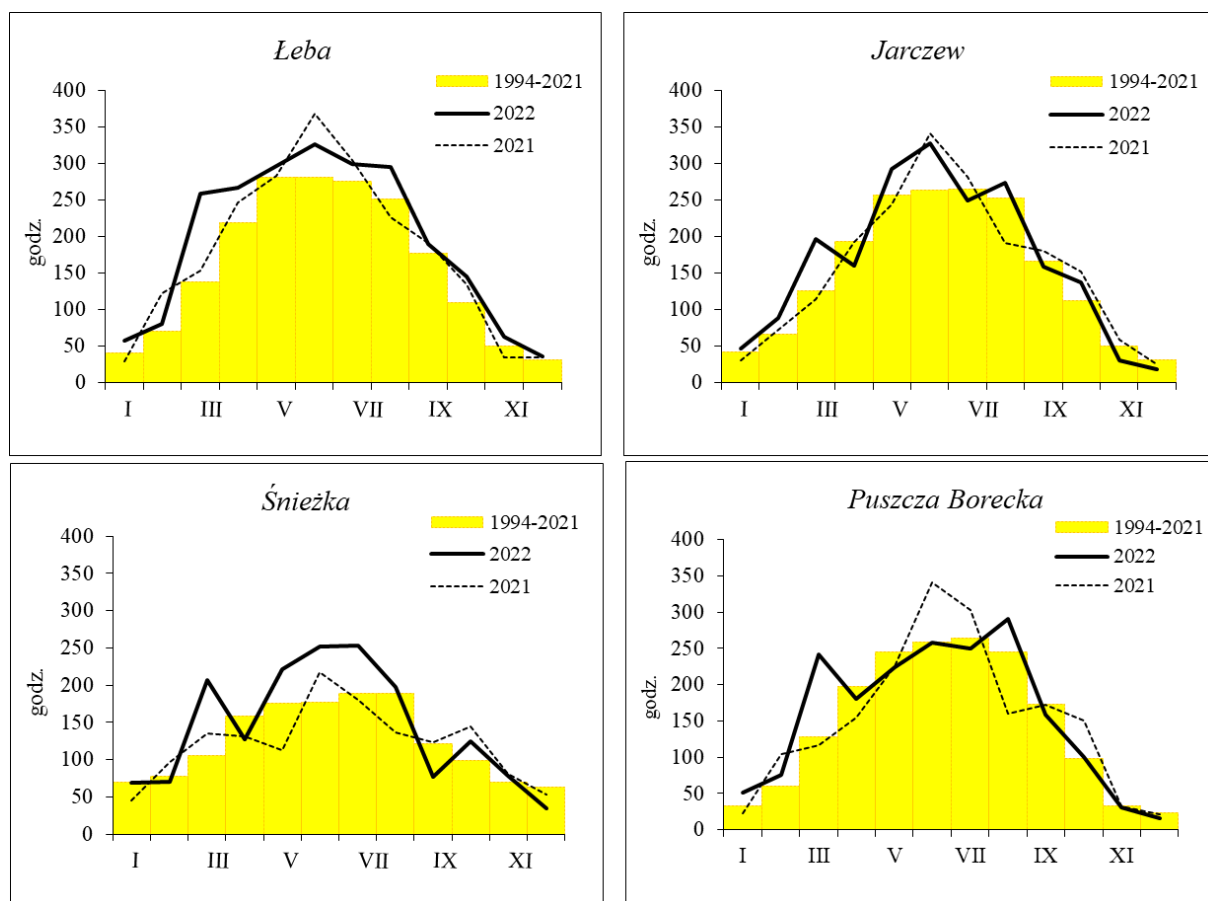


brak wyraźnego kierunku adwekcji mas powietrza:  
2021 r.: 7,4%, 2022 r.: 9,6%, 1994-2021: 9,4%

Rysunek 2. Rozkład częstości (%) kierunków cyrkulacji atmosferycznej<sup>1</sup> w Polsce w 2022 roku na tle wielolecia 1994-2021 i w porównaniu do 2021 roku

<sup>1</sup> Kierunek napływu mas powietrza oceniano na podstawie dobowych typów cyrkulacji wg J. Lityńskiego (1969, [14]).

Roczna suma usłonecznienia w 2022 roku wyniosła 1713 godzin na Śnieżce, a w nizinnych rejonach badań od 1876 godzin w Puszczy Boreckiej, 1981 godzin w Jarczewie do 2313 godzin w Łebie. Suma usłonecznienia była wyższa niż w 2021 roku o 1-9% (od 20 do 176 h). W odniesieniu do średniej wieloletniej z okresu 1994-2021 usłonecznienie w roku 2022 było wyższe: o 116 h (o 7%) w Puszczy Boreckiej, o 167 h (o 9%) w Jarczewie, o 208 h (o 14%) na Śnieżce i o 374 h (o 20%) w Łebie.



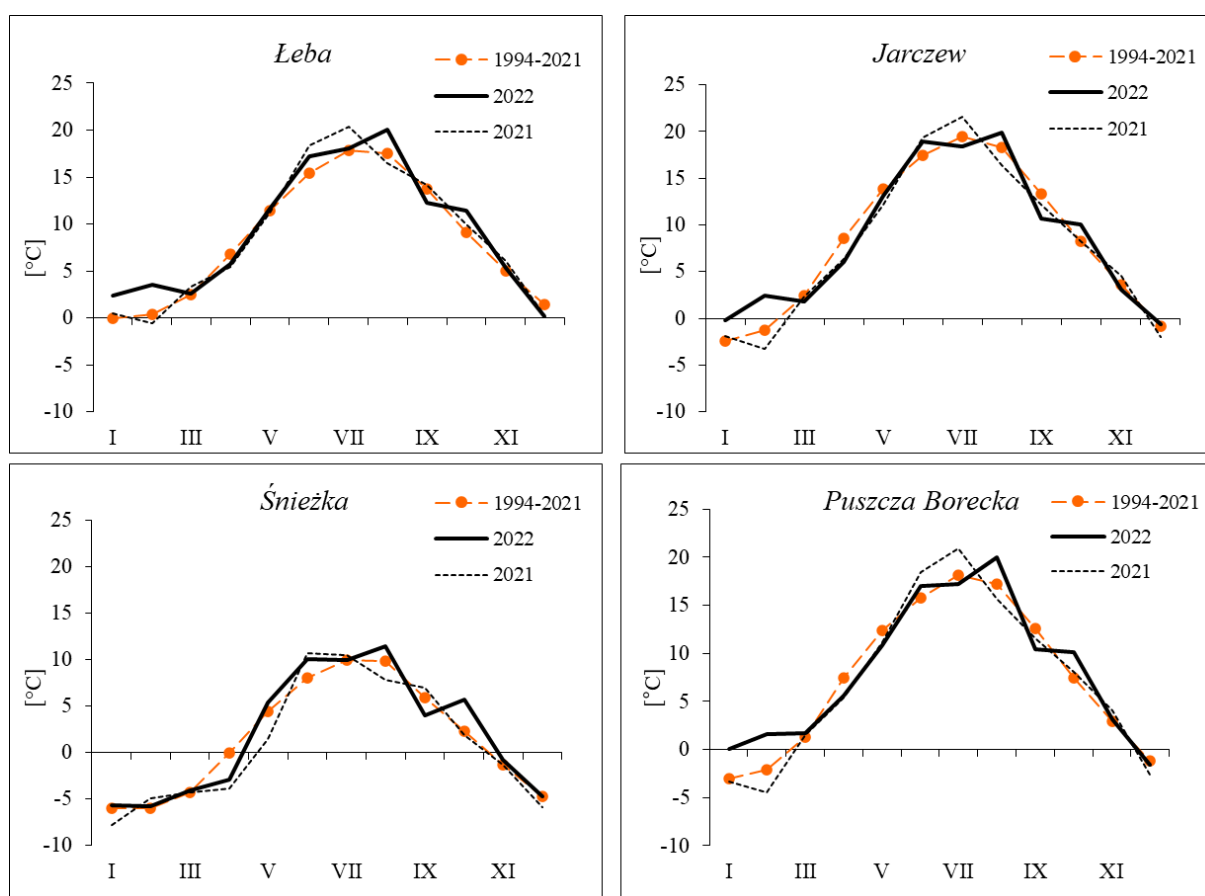
Rysunek 3. Przebieg roczny miesięcznych sum usłonecznienia na stacjach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w 2022 roku na tle przebiegu średniego wieloletniego i w porównaniu do 2021 roku

Rozkład usłonecznienia w roku przedstawiono na rysunku 3. We wszystkich nizinnych rejonach badań, poza Puszczą Borecką, najwięcej godzin ze słońcem przypadło na czerwiec, na stacji Puszcza Borecka na sierpień, a w rejonie wysokogórskim na czerwiec i na lipiec. Znacznie powyżej przeciętnej kształtowało się usłonecznienie w marcu, po czym w kwietniu wszędzie poza stacją nadmorską odnotowano zmniejszenie liczby godzin ze słońcem. Najmniejsze usłonecznienie obserwowano we wszystkich rejonach badań w grudniu. W 2022 roku usłonecznienie w okresie V-VII, dla którego wylicza się AOT40 dla ozonu w sezonie wegetacyjnym wyniosło na Śnieżce 727 h, a na stacjach nizinnych: 869 h w Jarczewie, 870 h w rejonie Puszczy Boreckiej i 921 h w Łebie, i było wyższe niż w wieloleciu 1994-2021 o 84-85 h (o ok. 10-11%) w rejonach nadmorskim i środkowo-wschodnim, oraz o 186 h (o 34%) na stacji wysokogórskiej, a w rejonie Puszczy Boreckiej niższe o 35 h (o blisko 5%).

Średnia roczna temperatura w analizowanych rejonach badań w 2022 roku (rys. 4) wyniosła od 1,9°C na Śnieżce, 8,0°C w Puszczy Boreckiej, 8,6°C w Jarczewie, do 9,2°C w Łebie.

Zgodnie z klasyfikacją termiczną H. Lorenc ([15]; obliczenia własne) rok 2022 na tle średniej klimatologicznego okresu normalnego 1991-2020 w rejonach badań został sklasyfikowany w rejonie Polski środkowo-wschodniej (Jarczew) jako normalny, w rejonie wysokogórskim (Śnieżka) jako lekko ciepły, a w rejonie północnym (Łeba, Puszcza Borecka) jako ciepły.

Meteorologiczne pory roku pod względem termicznym można scharakteryzować następująco: zima (XII 2021 — II 2022) w rejonach badań była normalna (Łeba, Jarczew), lekko ciepła (Śnieżka) lub ciepła (Puszcza Borecka); wiosna na rejonie nadmorskim i wysokogórskim była normalna, w rejonie środkowo-wschodnim (Jarczew) chłodna; lato we wszystkich rejonach badań w świetle zastosowanej klasyfikacji termicznej charakteryzowało się warunkami powyżej normy: w Jarczewie było lekko ciepłe, w rejonie wysokogórskim - ciepłe, a w rejonach Polski północnej bardzo ciepłe; jesień w rejonie Polski środkowej była w normie, a w rejonach nadmorskim i wysokogórskim lekko ciepła.



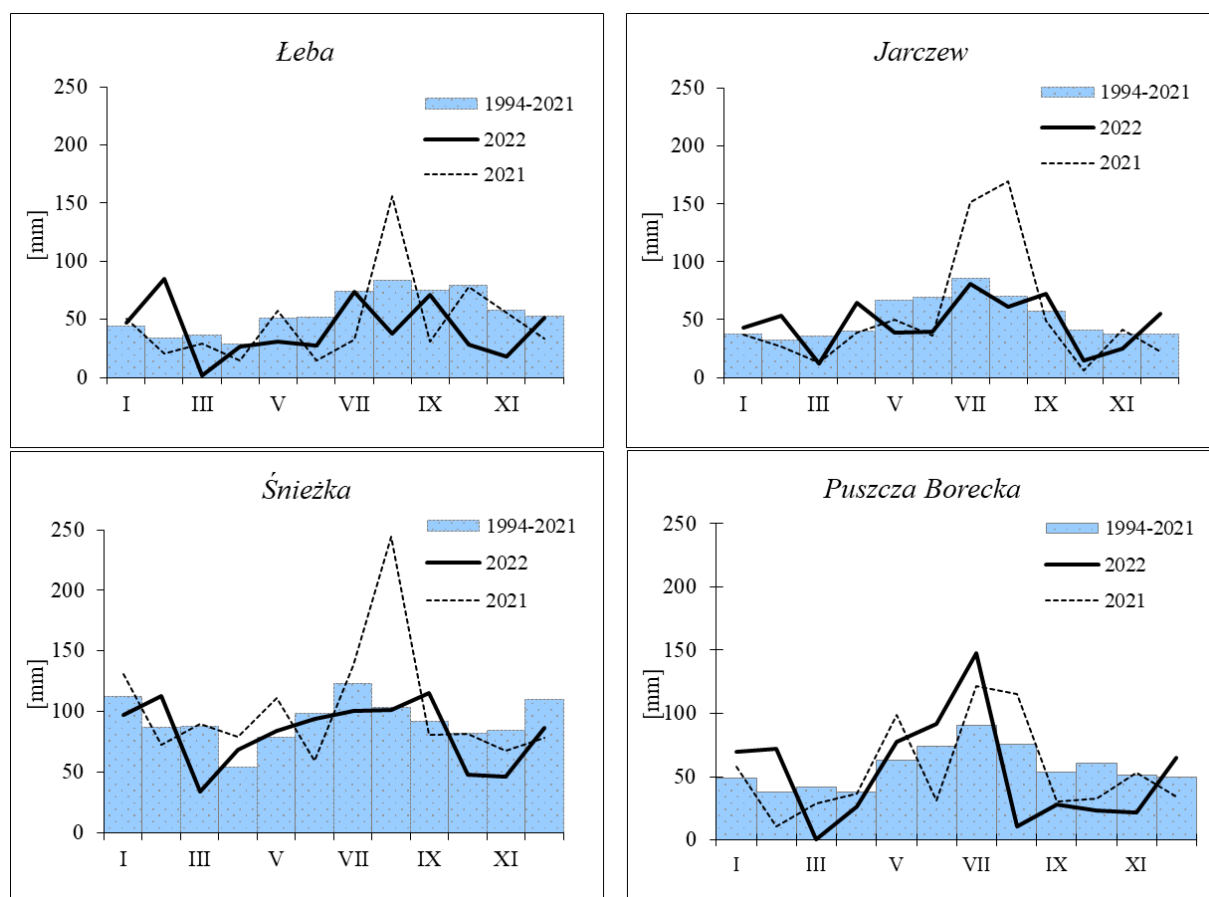
Rysunek 4. Przebieg roczny temperatury powietrza na stacjach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w 2022 roku na tle przebiegu średniego wieloletniego i w porównaniu do 2021 roku

Rok 2022 w porównaniu do poprzedniego był cieplejszy o 0,4-1,0°C. W odniesieniu do średniej temperatury wieloletniej (1994-2021) rok 2022 był cieplejszy o 0,2-0,8°C.

W roku 2022 najwyższą średnią miesięczną temperaturę w rejonach badań odnotowano w sierpniu. W rejonie nadmorskim i w rejonie stacji Puszcza Borecka sierpień był anomalnie ciepły, w pozostałych rejonach badań ciepły (Jarczew, Śnieżka). Jako bardzo ciepły w Łebie zostały sklasyfikowane czerwiec i październik, a na Śnieżce październik. Najchłodniejszy w nizinnych rejonach badań okazał się grudzień, a w rejonie wysokogórskim styczeń i luty (rys. 4). W odniesieniu do średniej wieloletniej 1994-2021 i roku poprzedniego chłodniejszy

był wrzesień, który w Jarczewie – w świetle zastosowanej klasyfikacji termicznej - okazał się miesiącem anomalnie chłodnym, w pozostałych rejonach badań chłodnym (Łeba) lub lekko chłodnym (Śnieżka) (rys. 4).

Roczne **sumy opadów** atmosferycznych w 2022 roku (rys. 5) wyniosły od 497,8 mm w Łebie, 560,6 mm w Jarczewie, 635,3 mm w Puszczy Boreckiej do 988,9 mm na Śnieżce. W porównaniu do 2021 roku roczne sumy opadu w 2022 roku były niższe o 15-82 mm (o ok. 2-13%), w rejonie wysokogórskim niższe o 245 mm (o 20%).



*Rysunek 5. Przebieg roczny miesięcznych sum opadów atmosferycznych na stacjach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w 2022 roku na tle przebiegu średniego wieloletniego oraz w porównaniu do roku 2021*

W porównaniu do okresu wieloletniego 1994-2021 roczne sumy opadu były w 2022 roku wszędzie niższe: o 48 mm (o 7%) w rejonie Puszczy Boreckiej, o 50 mm (o 8%) w Jarczewie, o 124 mm (o 11%) na Śnieżce i o 169 mm (o 25%) w Łebie.

Według klasyfikacji Z. Kaczorowskiej [12], oceniającej niedobór lub nadmiar opadów w stosunku do normy wieloletniej, rok 2022 został sklasyfikowany jako suchy. Średnia roczna suma opadów atmosferycznych na podstawie pomiarów z 52 stacji synoptycznych wyniosła 533,4 mm, co stanowi 84,9% wartości wieloletniej (1991-2020) (Biuletyn PSHM 2022, za [5]).

Rok 2022 we wschodniej części kraju i od centrum po południowy zachód został sklasyfikowany jako normalny, miejscami wilgotny i bardzo wilgotny, na Pomorzu miejscami bardzo suchy, a na przeważającym obszarze kraju głównie jako suchy (Biuletyn PSHM 2022, za [5]).

Przebieg sum opadów w poszczególnych miesiącach był zróżnicowany. Najwyższe miesięczne sumy opadów wystąpiły w rejonie nadmorskim w lutym, w rejonie Puszczy Boreckiej i w Jarczewie w lipcu, a na Śnieżce we wrześniu i w lutym. Najniższe opady



w rejonach badań, podobnie jak w całej Polsce, wystąpiły w marcu. Suma miesięczna opadów marca wyniosła w Łebie 1,4 mm, przy czym wystąpił tam zaledwie jeden dzień z opadem, a na stacji Puszcza Borecka 0,5 mm, przy dwóch dniach z opadem (rys. 5). Należy dodać, że w marcu na wielu stacjach meteorologicznych IMGW-PIB, tj. w Kołobrzegu, Koszalinie, Gdańsku-Świbnie, Resku, Toruniu, Olsztynie, Płocku i w Lesznie nie zanotowano opadów wcale. Rozkład miesięcznych sum opadów w roku zilustrowano na rys. 5.

W ujęciu sezonowym, w skali całego kraju, 2022 rok pod względem opadów atmosferycznych charakteryzował się wilgotną zimą, bardzo suchą wiosną, suchym latem i suchą jesienią ((Biuletyn PSHM 2022, za [5]).

We wszystkich rejonach badań przeważały opady letnie nad zimowymi.

W rejonach badań w 2022 roku na stacjach nizinnych wystąpiło 153-178 dni z opadem (ok. 42-49% dni w roku) i 235 dni (64% dni w roku) na Śnieżce.

Najwyższe sumy opadów w rejonach badań tła zanieczyszczenia atmosfery, gdzie prace prowadzi IMGW-PIB, związane były z napływem mas powietrza z kierunku północno-zachodniego i stanowiły 28% sumy rocznej w przypadku stacji nizinnych i 14% w przypadku stacji wysokogórskiej (23% sumy rocznej). Z napływem z kierunku północno-zachodniego związana była też największa liczba dni z opadem.

W rejonie Puszczy Boreckiej, gdzie badania prowadzi IOŚ-PIB najwięcej – 50% – dni z opadami miało miejsce przy napływie mas powietrza z sektora zachodniego, czyli z kierunków południowo-zachodniego, zachodniego i północno-zachodniego (w 2021 roku najwięcej dni z opadami – 53% - przypadło na sektor północny i był to również najistotniejszy sektor pod względem sumy opadów). Masy powietrza napływające z sektora zachodniego przyniosły również najwięcej opadów w rejon stacji – 62,7% rocznej sumy (odpowiednio 24,8% z kierunku NW, 24,1% z kierunku W i 13,9% z kierunku SW). Najmniej dni z opadami odnotowano przy napływie mas powietrza z północnego wschodu i południa i na te kierunki (oraz południowy wschód) przypadły również najmniejsze sumy opadów.

## **5. Zanieczyszczenie powietrza w 2022 roku na tle wielolecia**

### **5.1. Odniesienie wyników do poziomów dopuszczalnych i docelowych**

W raporcie odniesiono się do obowiązujących w 2022 roku unormowań prawnych, zawartych w ustawie „Prawo Ochrony Środowiska” oraz w jej aktach wykonawczych, przede wszystkim w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. z 2012 r., poz. 1031) [20], jak również do Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy [9], oraz do danych literaturowych podających krytyczne poziomy depozycji substancji powodujących zakwaszenie środowiska [2][6].

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. z 2012 r., poz. 1031) [20] określa m.in.:

- 1) poziomy dopuszczalne dla niektórych substancji w powietrzu, zróżnicowane ze względu na ochronę zdrowia ludzi oraz ochronę roślin;
- 2) poziomy docelowe dla niektórych substancji w powietrzu, zróżnicowane ze względu na ochronę zdrowia ludzi oraz ochronę roślin;
- 3) poziomy celów długoterminowych dla niektórych substancji w powietrzu, zróżnicowane ze względu na ochronę zdrowia ludzi oraz ochronę roślin;
- 4) alarmowe poziomy dla niektórych substancji w powietrzu, których nawet krótkotrwałe przekroczenie może powodować zagrożenie dla zdrowia ludzi;
- 5) poziomy informowania dla niektórych substancji w powietrzu.



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) zmodyfikowało kryteria poziomu informowania i poziomu alarmowego dla PM10 [21].

W tabeli 3 (na stronie 19) i tabeli 4 (na stronie 21) zestawiono wartości zmierzone na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery, pracujących w sieci EMEP, na tle poziomów określonych w obowiązującym *Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. z 2012 r., poz. 1031)*.

W 2022 roku na żadnej ze stacji nie zostały przekroczone poziomy dopuszczalne dwutlenku siarki SO<sub>2</sub> określone dla kryterium ochrony zdrowia. Najwyższe maksymalne 24-godzinne stężenie odnotowano w Łebie, gdzie stanowiło 4,6% poziomu dopuszczalnego (dla czasu uśredniania 24 godziny – 125 µg/m<sup>3</sup>), najniższe na stacji Puszcza Borecka – 3,0% poziomu dopuszczalnego. Nie wystąpiło przekroczenie poziomu dopuszczalnego dwutlenku azotu NO<sub>2</sub> – średnie roczne stężenie było najwyższe w Jarczewie, gdzie stanowiło 18,6% poziomu dopuszczalnego określonego dla kryterium ochrony zdrowia, a najniższe w Łebie – 9,6% wartości dopuszczalnej.

Maksymalne z ośmiogodzinnych średnich kroczących stężeń ozonu na żadnej z omawianych stacji nie przekroczyło dopuszczalnej liczby 25 przypadków ponad poziom docelowy, określony dla kryterium ochrony zdrowia (którego termin osiągnięcia ustalono dla roku 2010), na poziomie równym 120 µg/m<sup>3</sup> dla średniej z okresu 3-letniego. W 2022 roku na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery nie odnotowano przekroczenia poziomu alarmowego, tj. wartości jednogodzinnej 240 µg/m<sup>3</sup>, ani wynoszącej 180 µg/m<sup>3</sup> wartości progowej informowania społeczeństwa o ryzyku przekroczenia poziomu alarmowego dla ozonu w otaczającym powietrzu. W Jarczewie i na stacji Puszcza Borecka został dotrzymany poziom celu długoterminowego dla ozonu (na rok 2020) dla 8-godzinnego okresu uśredniania wyników wynoszący 120 µg/m<sup>3</sup>.

Stężenie pyłu zawieszonego PM10, mierzone na stacjach Puszcza Borecka i Zielonka, normowane jest dla kryterium ochrony 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, nie przekroczyło poziomu dopuszczalnego na stacji Puszcza Borecka, po raz pierwszy w historii badań na tej stacji, natomiast w Zielonce przekroczenie wystąpiło 1 raz. Średnia roczna wartość stężenia pyłu na stacji Puszcza Borecka i w Zielonce stanowiła 34% poziomu dopuszczalnego, wynoszącego 40 µg/m<sup>3</sup>. Z mierzonej na stacjach Puszcza Borecka i Zielonka zawartości metali ciężkich w pyłe zawieszonym średnie roczne stężenie ołowiu w pyłe PM10 osiągnęło odpowiednio 0,4% i 0,2% poziomu dopuszczalnego, wynoszącego 0,5 µg/m<sup>3</sup>. Średnia roczna wartość stężenia arsenu w pyłe zawieszonym PM10 na stacjach Puszcza Borecka i Zielonka wyniosła odpowiednio 3,3% i 2,7% poziomu docelowego, kadmu – odpowiednio 2% i 0,6% poziomu docelowego, a niklu – odpowiednio 3,5% i 0,6% poziomu docelowego. Średnie roczne stężenie benzo(a)pirenu na stacji Puszcza Borecka stanowiło 40% poziomu docelowego określonego dla 2013 roku, a na stacji Zielonka 47%. Średnie roczne stężenie pyłu PM2,5 na stacji Puszcza Borecka i Zielonka osiągnęło odpowiednio 46% i 42% wartości dopuszczalnej (20 µg/m<sup>3</sup>) obowiązującej od 2020 roku.

Tabela 3. Zanieczyszczenie powietrza na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w 2022 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	Śnieżka	Zielonka	Termin osiągnięcia poziomów dopuszczalnych
dwutlenek azotu	rok kalendarzowy	40 µg/m <sup>3</sup>	–	3,8 µg/m <sup>3</sup>	3,8 µg/m <sup>3</sup>	7,4 µg/m <sup>3</sup>	4,4 µg/m <sup>3</sup>	x	2010
dwutlenek siarki	24 godziny	125 µg/m <sup>3</sup>	3 razy	5,8 *µg/m <sup>3</sup>	4,2 *µg/m <sup>3</sup>	4,8*µg/m <sup>3</sup>	5,0 *µg/m <sup>3</sup>	x	2005
pył zawieszony PM10	rok kalendarzowy	40 µg/m <sup>3</sup>	–	x	13,4 µg/m <sup>3</sup>	x	x	13,7 µg/m <sup>3</sup>	2005
pył zawieszony PM10	24 godziny	50 µg/m <sup>3</sup>	35 razy	x	0 razy	x	x	1 raz	2005
ołów w pyłe zawieszonym	rok kalendarzowy	0,5 µg/m <sup>3</sup>	–	x	0,002 µg/m <sup>3</sup>	x	x	0,001 µg/m <sup>3</sup>	2005
pył zawieszony PM2,5	rok kalendarzowy	20 µg/m <sup>3</sup>	–	x	9,3 µg/m <sup>3</sup>	x	x	8,4 µg/m <sup>3</sup>	2020
Zanieczyszczenie	Czas uśredniania	Poziom docelowy	Dopuszczalna częstość przekroczeń w roku	Łeba	Puszcza Borecka	Jarczew	Śnieżka	Zielonka	Termin osiągnięcia poziomu docelowego
ozon	8 godzin **	120 µg/m <sup>3</sup>	25 dni ***	8 dni	1 dzień	0 dni	13 dni	x	2010
arsen w pyłe zawieszonym	rok kalendarzowy	6 ng/m <sup>3</sup>	–	x	0,20 ng/m <sup>3</sup>	x	x	0,16 ng/m <sup>3</sup>	2013
kadm w pyłe zawieszonym	rok kalendarzowy	5 ng/m <sup>3</sup>	–	x	0,10 ng/m <sup>3</sup>	x	x	0,03 ng/m <sup>3</sup>	2013
nikiel w pyłe zawieszonym	rok kalendarzowy	20 ng/m <sup>3</sup>	–	x	0,70 ng/m <sup>3</sup>	x	x	0,12 ng/m <sup>3</sup>	2013
benzo(a)piren w pyłe zawieszonym	rok kalendarzowy	1 ng/m <sup>3</sup>	–	x	0,40 ng/m <sup>3</sup>	x	x	0,47 ng/m <sup>3</sup>	2013
Zanieczyszczenie	Czas uśredniania	Poziom celu długoterminowego	Dopuszczalna częstość przekroczeń w roku	Łeba	Puszcza Borecka	Jarczew	Śnieżka	Zielonka	Termin osiągnięcia poziomu celu długoterminowego
ozon	8 godzin **	120 µg/m <sup>3</sup>	-	144	120	111	145	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

Normowana ze względu na ochronę roślin wartość stężenia SO<sub>2</sub> stanowiła od 3% (Puszcza Borecka) do 13% (Śnieżka) poziomu dopuszczalnego dla rocznego okresu uśredniania, oraz od 4% (Puszcza Borecka) do 14% (Śnieżka) dla okresu zimowego (od 1 października do 31 marca) (w obu przypadkach poziom dopuszczalny wynosi 20 µg/m<sup>3</sup>). Średnie roczne stężenie NO<sub>2</sub> osiągnęło od 13% (Łeba) do 25% (Jarczew) dopuszczalnego poziomu ze względu na ochronę roślin (określonego dla NO<sub>x</sub> jako 30 µg/m<sup>3</sup>).

Wartość wskaźnika AOT40 obliczona dla okresu wegetacyjnego (w okresie od 1 maja do 31 lipca), wyrażona w µg/m<sup>3</sup>·h, wyniosła w 2022 roku od 4492 w Jarczewie, 4801 na stacji Puszcza Borecka, 6931 w Łebie do 10 827 na Śnieżce.

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 2018-2022 wskaźnik AOT40 przyjął na stacjach nizinnych wartości od 5814 w Jarczewie, 7743 na stacji Puszcza Borecka i 10027 w Łebie do 11 978 µg/m<sup>3</sup>·h w rejonie wysokogórskim na Śnieżce, co stanowiło od 32% (Jarczew) do 66% (Śnieżka) poziomu docelowego.

Ustalone na rok 2020 na poziomie 6000 µg/m<sup>3</sup>·h poziomy celów długoterminowych dla ozonu określone dla kryterium ochrony roślin są w tej chwili przekraczane jedynie na stacjach w Łebie i na Śnieżce, na stacjach Puszcza Borecka i w Jarczewie wartości nie przekroczyły poziomu celu długoterminowego.

Dla pozostałych zanieczyszczeń badanych w rejonach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery Rozporządzenie [20] nie określa dopuszczalnych wartości stężenia w powietrzu.

Tabela 4. Zanieczyszczenie powietrza na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w 2022 roku na tle wartości dopuszczalnych i docelowych. Kryterium: ochrona roślin

Zanieczyszczenie	Okres uśredniania	Poziom dopuszczalny	Termin osiągnięcia poziomów dopuszczalnych	Łeba	Puszcza Borecka	Jarczew	Śnieżka	Zielonka	Jednostka
tlenki azotu *	rok kalendarzowy	30 µg/m <sup>3</sup>	2003 r.	3,8	4,4	7,4	4,4	x	µg/m <sup>3</sup>
dwutlenek siarki	rok kalendarzowy	20 µg/m <sup>3</sup>	2003 r.	1,2	0,5	1,4	2,6	x	µg/m <sup>3</sup>
dwutlenek siarki	pora zimowa (1.X-31.III)	20 µg/m <sup>3</sup>	2003 r.	1,6	0,7	1,8	2,8	x	µg/m <sup>3</sup>
Zanieczyszczenie	Okres uśredniania	Poziom docelowy	Termin osiągnięcia poziomu docelowego	Łeba	Puszcza Borecka	Jarczew	Śnieżka	Zielonka	Jednostka
ozon **	okres wegetacyjny (1.V-31.VII)	18 000 µg/m <sup>3</sup> ·h ***	2010 r.	10027	7743	5814	11978	x	µg/m <sup>3</sup> ·h
Zanieczyszczenie	Okres uśredniania	Poziom celu długoterminowego	Termin osiągnięcia poziomu celu długoterminowego	Łeba	Puszcza Borecka	Jarczew	Śnieżka	Zielonka	Jednostka
ozon	okres wegetacyjny (1.V-31.VII)	6 000 µg/m <sup>3</sup> ·h ****	2020 r.	<b>6931</b>	4801	4492	<b>10827</b>	x	µg/m <sup>3</sup> ·h

\* w przeliczeniu na dwutlenek azotu

\*\* średnia z okresu 2018-2022

\*\*\* wyrażony jako AOT40, oznaczające sumę różnic między stężeniem średnim jednogodzinnym wyrażonym w µg/m<sup>3</sup> a wartością 80 µg/m<sup>3</sup> dla każdej godziny w ciągu doby pomiędzy godziną 8:00 a 20:00 czasu środkowoeuropejskiego, dla której stężenie jest większe niż 80 µg/m<sup>3</sup>; normowane jako średnia z 5 kolejnych lat.

\*\*\*\* wartość z roku 2022

## 5.2. Podstawowe zanieczyszczenia powietrza

W tabeli 5 na stronach 27-30 zawarto szczegółowe dane o zanieczyszczeniu powietrza w czterech z omawianych w *Raporcie* rejonów badań tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w okresie 1994-2022, a przebieg średnich rocznych (arytmetycznych) wartości stężenia zanieczyszczeń powietrza w rejonach badań od 1994 roku można prześledzić na rysunku 6 na stronie 24.

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. Średnie stężenie w okresie wielolecia 1994-2021 było najwyższe w Jarczewie, gdzie wyniosło  $2,0 \mu\text{gS}/\text{m}^3$ , najniższe w rejonie Puszczy Boreckiej –  $0,8 \mu\text{gS}/\text{m}^3$ . W ostatnich latach stężenie dwutlenku siarki na wszystkich stacjach zbliżyło się do podobnego poziomu i w 2022 roku wartość S-SO<sub>2</sub> wyniosła od  $0,3 \mu\text{gS}/\text{m}^3$  w rejonie Puszczy Boreckiej i  $0,6 \mu\text{gS}/\text{m}^3$  w Łebie,  $0,7 \mu\text{gS}/\text{m}^3$  w Jarczewie do  $1,3 \mu\text{gS}/\text{m}^3$  w rejonie wysokogórskim. W 2022 roku we wszystkich rejonach badań, poza stacją wysokogórską, stężenie dwutlenku siarki było jak w roku poprzednim, na Śnieżce natomiast o  $0,1 \mu\text{gS}/\text{m}^3$  wyższe niż w 2021 roku. W przypadku Jarczewa stężenie S-SO<sub>2</sub> zmniejszało się sukcesywnie na przestrzeni wielolecia, a w okresie ostatnich siedmiu lat – od 2016 roku nawet do poziomu niższego niż na Śnieżce. Tym samym od kilku lat najwyższe stężenia S-SO<sub>2</sub> obserwujemy na Śnieżce. Od początku wspólnych badań, tj. od roku 1994, we wszystkich czterech rejonach badań stwierdzono spadek stężenia dwutlenku siarki, najmniejszy – o 46% na Śnieżce, większy na stacji nadmorskiej (o 79%) i w Jarczewie (86%) i największy – blisko 88% – w rejonie Puszczy Boreckiej. W 2022 roku, już dwunasty rok z rzędu, stężenie S-SO<sub>2</sub> na stacji nadmorskiej utrzymywało się na poziomie niższym niż na stacji wysokogórskiej, co więcej – po raz siódmy od początku obserwacji – mniejsze niż na stacji wysokogórskiej było stężenie S-SO<sub>2</sub> w Jarczewie.

Stężenie jonu siarczanowego, pochodzącego z przemian dwutlenku siarki, po okresie znaczącego spadku z początku wspólnych obserwacji, utrzymuje się niemal na stałym poziomie  $0,7\text{-}1,0 \mu\text{gS}/\text{m}^3$  na Śnieżce (od roku 1997) i w granicach  $0,4\text{-}0,7 \mu\text{gS}/\text{m}^3$  na stacji Puszcza Borecka (od 2007 roku). W Jarczewie obserwowano sukcesywny spadek stężenia S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> od 2006 roku do wartości  $0,99 \mu\text{gS}/\text{m}^3$  w 2013 roku, a następnie utrzymywanie się na poziomie  $0,9\text{-}1,2 \mu\text{gS}/\text{m}^3$  przy niewielkiej zmienności z roku na rok. Od 2017 roku notowano stopniowy spadek do wartości najniższej z obserwowanych na tej stacji, wynoszącej  $0,7 \mu\text{gS}/\text{m}^3$  w 2022 roku. W rejonie nadmorskim – po okresie względnej stabilizacji na poziomie ok.  $1,27 \mu\text{gS}/\text{m}^3$  w latach 2004-2011, w kolejnych latach stężenie S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> zmniejszyło się do wartości  $0,99 \mu\text{gS}/\text{m}^3$  w roku 2012 i od tego momentu do roku 2018 przy niewielkich wahaniach z roku na rok pozostawało na średnim poziomie ok.  $0,97 \mu\text{gS}/\text{m}^3$ . Od roku 2019 zaczęło się zmniejszać osiągając najniższą w historii pomiarów wartość  $0,68 \mu\text{gS}/\text{m}^3$  w 2022 roku. Od 2012 roku wartości średnie roczne stężenia siarczanów w Łebie i na Śnieżce są do siebie bardzo zbliżone, a od 2016 roku dołączyła do nich stacja w Jarczewie. O ile w ostatnim 2022 roku stężenie na obu stacjach nizinnych zmalały do najniższych z obserwowanych to na stacji wysokogórskiej w porównaniu z poprzednim rokiem nieznacznie wzrosły. Po raz pierwszy w historii badań poziom siarczanów na Śnieżce był wyższy niż w pozostałych rejonach badań. Na stacji Puszcza Borecka od roku 2007 stężenie siarczanów osiąga wartości najniższe spośród wszystkich stacji. W 2022 roku wyniosło  $0,46 \mu\text{gS}/\text{m}^3$ .

We wszystkich rejonach badań zauważalny jest spadek stężenia S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> w stosunku do poziomu z początku wspólnych obserwacji, czyli od roku 1994, o 53-70% - najmniejszy na Śnieżce, a największy w Jarczewie. Średnie wieloletnie stężenie jonu siarczanowego z całego okresu wspólnych obserwacji (1994-2021) najniższe było na stacji Puszcza Borecka ( $0,77 \mu\text{gS}/\text{m}^3$ ), a najwyższe na stacji w Jarczewie ( $1,46 \mu\text{gS}/\text{m}^3$ ).

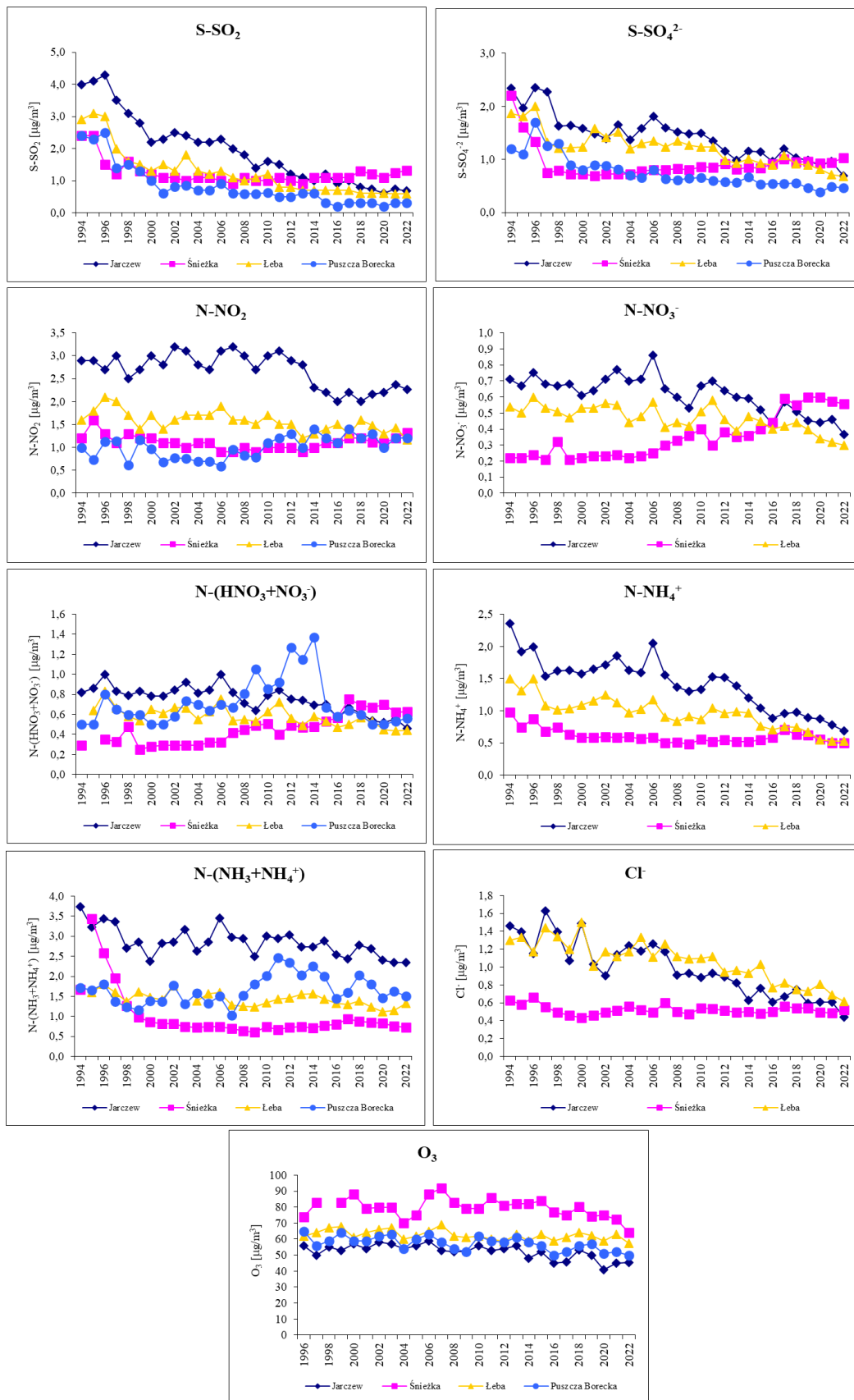
Dwutlenek azotu nie wykazywał tak charakterystycznego, jak w przypadku dwutlenku siarki, spadku stężeń w okresie wielolecia. Jedynie dla Jarczewa, gdzie stężenie dwutlenku azotu na przestrzeni lat utrzymywało się na najwyższym poziomie, po okresie naprzemiennych wzrostów i spadków wartości z roku na rok, po 2011 roku obserwowano spadek i od 2014 roku stężenia pozostają na w miarę ustabilizowanym poziomie 2,0-2,3  $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ . Na względnie niezmiennym poziomie od 2001 roku pozostawały wartości stężenia tego gazu na Śnieżce, gdzie wykazywały na przestrzeni wielolecia najmniejsze zmiany roczne ze wszystkich stacji. W Łebie obserwowano nieznaczną 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  $\text{N-NO}_2$  zaczął sukcesywnie wzrastać, w okresach 2010-2015 i 2017-2019 nawet do wartości wyższych niż na Śnieżce, ale wciąż niższych niż w pozostałych rejonach badań. W 2020 roku średnioroczne stężenie  $\text{N-NO}_2$  w rejonie Puszczy Boreckiej było najniższe spośród analizowanych rejonów badań, a w ciągu następných dwóch lat wyrównało się z wartościami notowanymi na stacji wysokogórskiej. W ciągu ostatnich kilku lat wartości w Łebie, na Śnieżce i na stacji Puszcza Borecka są do siebie podobne, jednocześnie sporo niższe od stężenia obserwowanego w Jarczewie. Średnie wieloletnie stężenie  $\text{N-NO}_2$  (1994-2021) najniższe było w rejonie Puszczy Boreckiej (1,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), nieco wyższe (1,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) na Śnieżce i w Łebie (1,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), a najwyższe (2,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) w rejonie Jarczewa. Wartości stężenia dwutlenku azotu w 2022 w porównaniu do roku 1994, początkowego dla wspólnych pomiarów, były niższe na stacji nadmorskiej o 27% i w Jarczewie o 22%, oraz wyższe na Śnieżce i w rejonie Puszczy Boreckiej odpowiednio o 10% i 21%.

Stężenie azotu azotanowego  $\text{N-NO}_3^-$  (mierzone tylko na stacjach IMGW-PIB) oraz sumy związków azotanowych  $\text{N-(HNO}_3+\text{NO}_3^-)$  we wszystkich rejonach badań, poza Śnieżką, wykazywało dużą zmienność z roku na rok. W przebiegu wieloletnim, praktycznie do 2015 roku, najniższe wartości średnie roczne notowano na Śnieżce. Jednocześnie na stacji wysokogórskiej po 1999 roku obserwowano stały, ale systematyczny wzrost poziomu  $\text{N-NO}_3$ , ale również  $\text{N-(HNO}_3+\text{NO}_3^-)$ , po czym począwszy od 2017 roku notowano tu wartości najwyższe ze wszystkich stacji.

Z kolei od początku wspólnych badań do 2007 roku w przypadku sumy związków azotanowych, a do 2015 roku azotanów, najwyższe stężenia obserwowano w Jarczewie. 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.

Z kolei na stacji Puszcza Borecka od roku 2000 obserwowano systematyczny wzrost sumy związków azotanowych  $\text{N-(HNO}_3+\text{NO}_3^-)$ , 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  $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ . Po roku 2014 wartości stężenia sumy związków azotanowych w rejonie Puszczy Boreckiej zmniejszyły się, by w latach 2015-2018 praktycznie zrównać się z wartościami z Jarczewa.

W 2022 roku najniższe średnioroczne stężenie azotu azotanowego i sumy związków azotanowych stwierdzono w Łebie, a najwyższe na Śnieżce. W rejonie nadmorskim (Łeba) i nizinym rolniczym (Jarczew) wartości stężenia w 2022 roku były niższe niż w 1994 roku, natomiast w pozostałych rejonach badań – w rejonie Puszczy Boreckiej i na Śnieżce – wyższe niż na początku wspólnych obserwacji.



Rysunek 6. Stężenie podstawowych zanieczyszczeń powietrza na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2022

Największy, bo ponad dwukrotny wzrost stężenia tlenowych związków azotu w porównaniu z początkiem wspólnych obserwacji odnotowano na stacji wysokogórskiej. Mimo znacznego wzrostu w ostatnich latach wartości w rejonie wysokogórskim w dalszym ciągu średnie stężenie jonu azotanowego obliczone dla wielolecia 1994-2021 było najniższe na Śnieżce ( $0,34 \mu\text{gN/m}^3$ ), a najwyższe w Jarczewie ( $0,63 \mu\text{gN/m}^3$ ), podobnie jak stężenie sumy związków azotanowych – najniższe na Śnieżce ( $0,44 \mu\text{gN/m}^3$ ), wyższe na stacji nadmorskiej ( $0,59 \mu\text{gN/m}^3$ ), jeszcze wyższe w rejonie Puszczy Boreckiej ( $0,72 \mu\text{gN/m}^3$ ), a najwyższe w Jarczewie ( $0,76 \mu\text{gN/m}^3$ ).

Stężenie sumy związków amonowych  $\text{N}-(\text{NH}_3+\text{NH}_4^+)$  przez cały okres obserwacji, z wyjątkiem 1995 roku, najwyższe wartości przyjmowało w rejonie Jarczewa, przy nieznacznych wahaniami z roku na rok i sukcesywnym słabym spadku stężenia. W roku 2022 stężenie średnie roczne w rejonie środkowo-wschodnim wyniosło  $2,35 \mu\text{gN/m}^3$ . Na Śnieżce od roku 1995, kiedy odnotowano tam najwyższą ze wszystkich stacji wartość stężenia związków amonowych ( $3,44 \mu\text{gN/m}^3$ ), nastąpił dość gwałtowny spadek wartości do roku 1998 ( $1,27 \mu\text{gN/m}^3$ ), a następnie stężenie utrzymywało się na poziomie  $0,61-0,98 \mu\text{gN/m}^3$ , tj. najniższym ze wszystkich stacji. Nieznaczne wahania i niewielka zmienność przebiegu tego elementu charakterystyczne są na przestrzeni wielolecia także dla stacji nadmorskiej. 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  $\text{N}-(\text{NH}_3+\text{NH}_4^+)$  od  $1,03 \mu\text{gN/m}^3$  do  $2,47 \mu\text{gN/m}^3$ , następnie stopniowy spadek do roku 2016, w latach 2017-2018 znowu wzrost, a w następnych latach ponowny spadek. W latach 2008-2022 średnie roczne wartości stężenia  $\text{N}-(\text{NH}_3+\text{NH}_4^+)$  w rejonie północno-wschodnim były wyższe niż w Łebie i na Śnieżce. Średnio w wieloleciu 1994-2021 najwyższe stężenie sumy związków amonowych obserwowano w Jarczewie -  $2,87 \mu\text{gN/m}^3$ , niższe w rejonie Puszczy Boreckiej -  $1,66 \mu\text{gN/m}^3$  i w Łebie  $1,43 \mu\text{gN/m}^3$ , a najniższe na Śnieżce -  $1,02 \mu\text{gN/m}^3$ . W stosunku do roku 1994 wartości stężenia sumy związków amonowych we wszystkich rejonach badań zmalały, najbardziej w rejonie wysokogórskim (o 56%), najmniej w rejonie Puszczy Boreckiej (o 13%).

Podobny przebieg wykazuje stężenie aerozolu azotu amonowego  $\text{N-NH}_4^+$ , oznaczanego tylko na stacjach IMGW-PIB, przy czym najbardziej wyrównany poziom stężenia tego składnika obserwowano na Śnieżce, gdzie wartości średnie roczne pozostają niemal bez zmian od 2000 roku. W pozostałych rejonach badań obserwowano nieco większą 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 we wszystkich trzech rejonach badań wartości ustabilizowały się na mniej więcej jednakowych poziomach, przy czym wartości na stacjach nadmorskiej i wysokogórskiej praktycznie zrównały się ze sobą, a wartości z Jarczewa są od nich o ok.  $0,2 \mu\text{gN/m}^3$  wyższe. W 2022 roku stężenie wyniosło  $0,68 \mu\text{gN/m}^3$  w Jarczewie, i było wartością najniższą w historii badań na tej stacji,  $0,53 \mu\text{gN/m}^3$  w Łebie i  $0,50 \mu\text{gN/m}^3$  na Śnieżce. Średnie wieloletnie z okresu 1994-2021 wyniosły dla tych stacji odpowiednio:  $1,45 \mu\text{gN/m}^3$ ,  $0,98 \mu\text{gN/m}^3$  i  $0,61 \mu\text{gN/m}^3$ .

Stężenie jonów chlorkowych w aerozolu atmosferycznym, badane jedynie na stacjach IMGW-PIB, wykazuje w przebiegu wieloletnim zmienność z roku na rok, a przy tym słabą tendencję spadkową na stacjach nizinnych, oraz utrzymywanie się niższym niż na pozostałych dwóch stacjach, prawie jednakowym poziomie w zakresie  $0,43-0,66 \mu\text{g/m}^3$  na Śnieżce. W przebiegu wieloletnim (1994-2021) średnie stężenie jonu chlorkowego na Śnieżce ( $0,52 \mu\text{g/m}^3$ ) było ponad dwukrotnie niższe niż w Jarczewie ( $1,00 \mu\text{g/m}^3$ ) i w Łebie ( $1,09 \mu\text{g/m}^3$ ). W roku 2022 poziom stężenia z wszystkich trzech stacji praktycznie zrównał się, przyjmując wartości średniego rocznego stężenia wynoszące:  $0,44 \mu\text{g/m}^3$  w Jarczewie,  $0,52 \mu\text{g/m}^3$  na Śnieżce i  $0,61 \mu\text{g/m}^3$  w Łebie.



W 2022 roku, podobnie jak w poprzednich latach, średnio największe wartości stężenia ozonu obserwowano na Śnieżce (średnia roczna  $64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), niższe w Łebie ( $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) i na stacji Puszcza Borecka ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), a najniższe w Jarczewie ( $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Wartości stężenia ozonu wykazują nieznaczne zmiany wieloletnie. W latach 2004-2007 obserwowano wyraźny wzrost stężenia ozonu na Śnieżce (o ponad 31%), przerwany w 2008 roku, kiedy to wartości stężenia powróciły do stanu z 2003 roku i utrzymywały się na podobnym poziomie do roku 2020, po czym zmalowały. Na pozostałych trzech stacjach przebiegi zmienności stężenia ozonu są bardzo do siebie podobne. Charakterystyczna, obserwowana również dla stacji wysokogórskiej, ok. 3-4-letnia cykliczność wahań, nadal jest widoczna. W latach 2010-2014 średnie roczne wartości stężenia na stacjach tła zlokalizowanych w rejonie Polski północnej (Łeba, Puszcza Borecka) były niemal identyczne. W 2020 roku w Jarczewie odnotowano najniższe średnie roczne stężenie w okresie obserwacyjnym, zarazem najniższe ze wszystkich czterech stacji. W ostatnich dwóch latach wartości stężenia ozonu w Jarczewie nieco wzrosły, lecz nadal utrzymywały się na poziomie najniższych w okresie obserwacyjnym. Na stacji Puszcza Borecka oraz na stacjach nadmorskiej i wysokogórskiej wartości średnioroczne najniższe w okresie badań odnotowano z kolei w 2022 r. Średnie roczne wartości stężenia ozonu w warstwie przyziemnej w roku 2022 były w rejonach badań niższe niż w okresie wieloletnim 1996-2021 o 10% w Łebie, o 14% na stacji Puszcza Borecka i w Jarczewie oraz o 20% na Śnieżce.

Tabela 5. Zanieczyszczenie powietrza na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2022 (wartości średnie arytmetyczne)

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

Objaśnienia: x – brak pomiarów

Rok	Śnieżka								
	S-SO <sub>2</sub>	N-NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-(HNO <sub>3</sub> +NO <sub>3</sub> )	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-(NH <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	Cl <sup>-</sup>
	stężenie średnie roczne [µg/m <sup>3</sup> ]								
1994	2,4	1,2	x	2,21	0,22	0,29	0,98	1,67	0,63
1995	2,4	1,6	x	1,61	0,22	x	0,74	3,44	0,58
1996	1,5	1,3	74	1,34	0,24	0,35	0,87	2,58	0,66
1997	1,2	1,1	83	0,75	0,21	0,33	0,68	1,96	0,55
1998	1,6	1,3	x	0,79	0,32	0,48	0,74	1,27	0,49
1999	1,3	1,2	83	0,73	0,21	0,25	0,63	0,98	0,46
2000	1,2	1,2	88	0,72	0,22	0,28	0,58	0,87	0,43
2001	1,1	1,1	79	0,69	0,23	0,29	0,58	0,82	0,46
2002	1,1	1,1	80	0,73	0,23	0,29	0,59	0,82	0,49
2003	1,0	1,0	80	0,72	0,24	0,29	0,58	0,74	0,51
2004	1,1	1,1	70	0,73	0,22	0,29	0,59	0,73	0,56
2005	1,1	1,1	75	0,78	0,23	0,32	0,57	0,75	0,52
2006	1,0	0,9	88	0,80	0,25	0,32	0,58	0,75	0,49
2007	0,9	0,9	92	0,80	0,30	0,42	0,50	0,70	0,60
2008	1,1	1,0	83	0,83	0,33	0,45	0,51	0,64	0,50
2009	1,0	0,9	79	0,81	0,36	0,49	0,48	0,61	0,47
2010	1,0	1,0	79	0,86	0,40	0,51	0,56	0,75	0,54
2011	1,1	1,0	86	0,85	0,30	0,40	0,52	0,67	0,53
2012	1,0	1,0	81	0,92	0,38	0,49	0,55	0,73	0,51
2013	0,9	0,9	82	0,82	0,35	0,47	0,52	0,75	0,49
2014	1,1	1,0	82	0,85	0,36	0,48	0,52	0,71	0,50
2015	1,1	1,1	84	0,84	0,40	0,53	0,55	0,77	0,48
2016	1,1	1,1	77	0,92	0,44	0,57	0,58	0,81	0,50
2017	1,1	1,2	75	1,01	0,59	0,75	0,71	0,94	0,56
2018	1,3	1,2	80	0,95	0,55	0,69	0,63	0,88	0,54
2019	1,2	1,1	74	0,96	0,60	0,67	0,62	0,85	0,54
2020	1,1	1,1	75	0,93	0,60	0,70	0,56	0,83	0,49
2021	1,2	1,2	72	0,94	0,57	0,62	0,50	0,76	0,49
2022	1,3	1,3	64	1,03	0,56	0,63	0,50	0,73	0,52

Objaśnienia: x – brak pomiarów

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

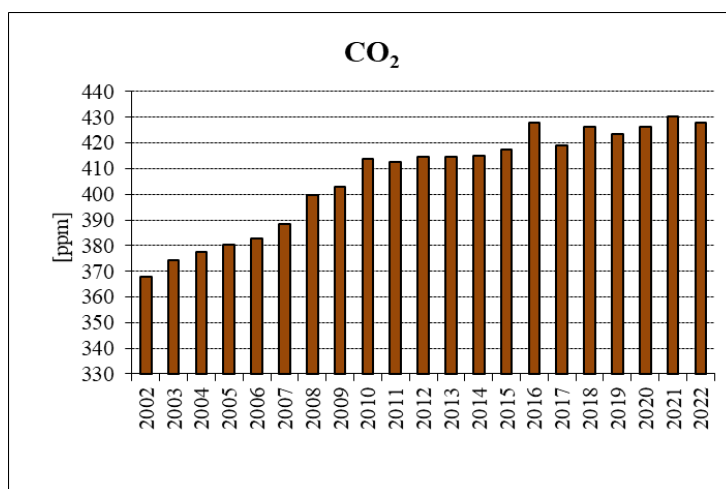
Objaśnienia: x – brak pomiarów

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

Objaśnienia: x - stacja nie prowadzi pomiarów tego wskaźnika

### 5.3. Dwutlenek węgla

Stężenie dwutlenku węgla mierzone jest jedynie na stacji Puszcza Borecka. Od 2002 roku wykazywało tendencję wzrostową. Wahając się w ostatnich sześciu latach w granicach 419-430 ppm osiągnęło najwyższy poziom w historii pomiarów na stacji w 2021 roku (tabela 6, rysunek 7). W roku 2022 średnie stężenie utrzymało się na bardzo wysokim poziomie, osiągając wartość zaledwie o 0,5% niższą od notowanej rok wcześniej.



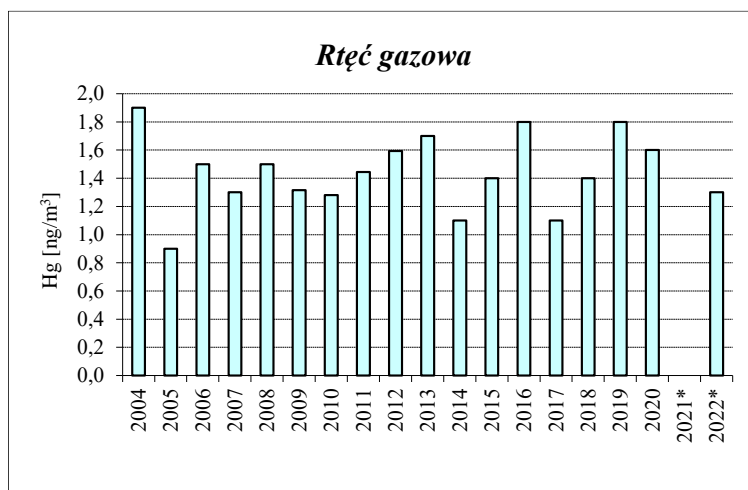
Rysunek 7. Średnie roczne stężenie dwutlenku węgla na stacji Puszcza Borecka w latach 2002- 2022

Tabela 6. Średnie roczne stężenie dwutlenku węgla na stacji Puszcza Borecka w latach 2002- 2022

Rok	CO <sub>2</sub> [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

## 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 jedną z niższych wartości, niższą o 7% od średniej w okresie 2004-2020 (z wyników uzyskanych z pomiarów prowadzonych do roku 2020 raz w tygodniu w losowo wybranym dniu, metodą manualną; seria z 2021 r. - pierwszego roku pomiarów automatycznych została unieważniona). W wieloleciu średnie roczne stężenia Hg w powietrzu oscylowały wokół 1,4 ng/m<sup>3</sup>.



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

Rysunek 8. Średnie roczne stężenie rtęci gazowej na stacji Puszcza Borecka w latach 2004-2022

Tabela 7. Średnie roczne stężenie rtęci gazowej na stacji Puszcza Borecka w latach 2004-2022

Rok	Hg [ng/m <sup>3</sup> ]
2004	1,9
2005	0,9
2006	1,5
2007	1,3
2008	1,5
2009	1,3
2010	1,3
2011	1,4
2012	1,6
2013	1,7
2014	1,1
2015	1,4
2016	1,8
2017	1,1
2018	1,4
2019	1,8
2020	1,6
2021	-
2022	1,3*

\* 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 PM2,5 prowadzone są na stacji Puszcza Borecka (pomiar PM10 rozpoczęto w 2005 roku, a PM2,5 – w 2009 roku) i na stacji Zielonka (w ramach stowarzyszenia z EMEP od 2015 roku, przy czym seria dla PM2,5 z roku 2015 została unieważniona z powodu zbyt niskiej kompletności).

Na rysunku 9 i w tabeli 8 przedstawiono wartości średnie roczne stężeń pyłu zawieszonego PM10 i PM2,5 na obu 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 2022 roku wyniosło 13,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  i było o 1% mniejsze niż w roku 2021 oraz o 19% mniejsze od średniej z okresu 2005-2021. Średnie roczne wartości stężenia pyłu PM10 osiągnęły największe wartości w latach 2005, 2006, 2010 i 2014 (ok. 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

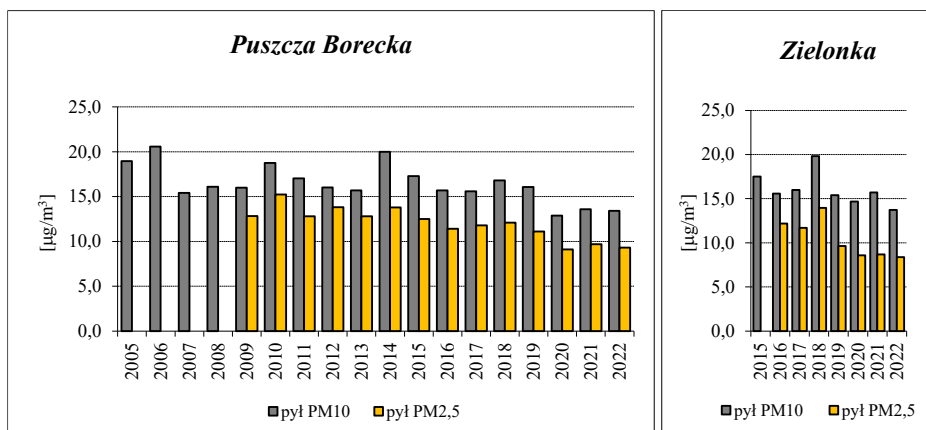
W latach 2009-2022 średnie roczne wartości stężenia pyłu PM2,5 układały się podobnie, jak pyłu PM10 (poza rokiem 2012, gdy awaria pobornika pyłu PM10 w okresie występowania wysokich stężeń pyłu mogła doprowadzić do zaniżenia wartości średniej rocznej). W roku 2022 stężenie pyłu PM2,5 osiągnęło wartość mniejszą niż rok wcześniej (o 4%) i mniejszą niż średnia z lat 2009-2021 (o 24%).

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  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , tj. do wartości o 18% wyższej niż na stacji Puszcza Borecka. W następnych latach wartości na obu stacjach były niższe. W 2022 roku stężenie PM10 na stacji Zielonka wyniosło 13,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  i było najniższe z dotychczas obserwowanych na tej stacji. Stężenie pyłu PM2,5 na stacji Zielonka od 2019 roku kształtuje się na poziomie niższym niż na stacji Puszcza Borecka. W roku 2022 na stacji Zielonka wyniosło 8,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  i było niższe niż w roku poprzednim, a zarazem niższe niż na stacji Puszcza Borecka o 10%.

W roku 2022 poziom dopuszczalny dla wartości 24-godzinnej pyłu zawieszonego PM10 (50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) na stacji Puszcza Borecka po raz pierwszy nie został przekroczony w ciągu żadnego dnia, a jedynie wyrównany w ciągu dwóch dni; w Zielonce w 2022 roku przekroczenie wystąpiło 1 raz. Najwięcej dni z przekroczeniami poziomu dopuszczalnego stężenia pyłu zawieszonego PM10 miało miejsce na stacji Puszcza Borecka w 2006 roku (12), a w Zielonce w roku 2017 i 2018 (po 13 razy).

Udział pyłu PM2,5 w PM10 był na ogół większy w Puszczy Boreckiej niż w Zielonce. Średni udział dla wspólnego okresu badań (2016-2022) wynosi 71,5% w Puszczy Boreckiej i 65,6% w Zielonce.





Rysunek 9. Średnie roczne stężenie pyłu zawieszonego PM10 i PM2,5 na stacjach Puszcza Borecka w latach 2005-2022 i Zielonka w latach 2015-2022

Tabela 8. Średnie roczne stężenie pyłu zawieszonego PM10 i PM2,5 na stacjach Puszcza Borecka w latach 2005-2022 i Zielonka w latach 2015-2022

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

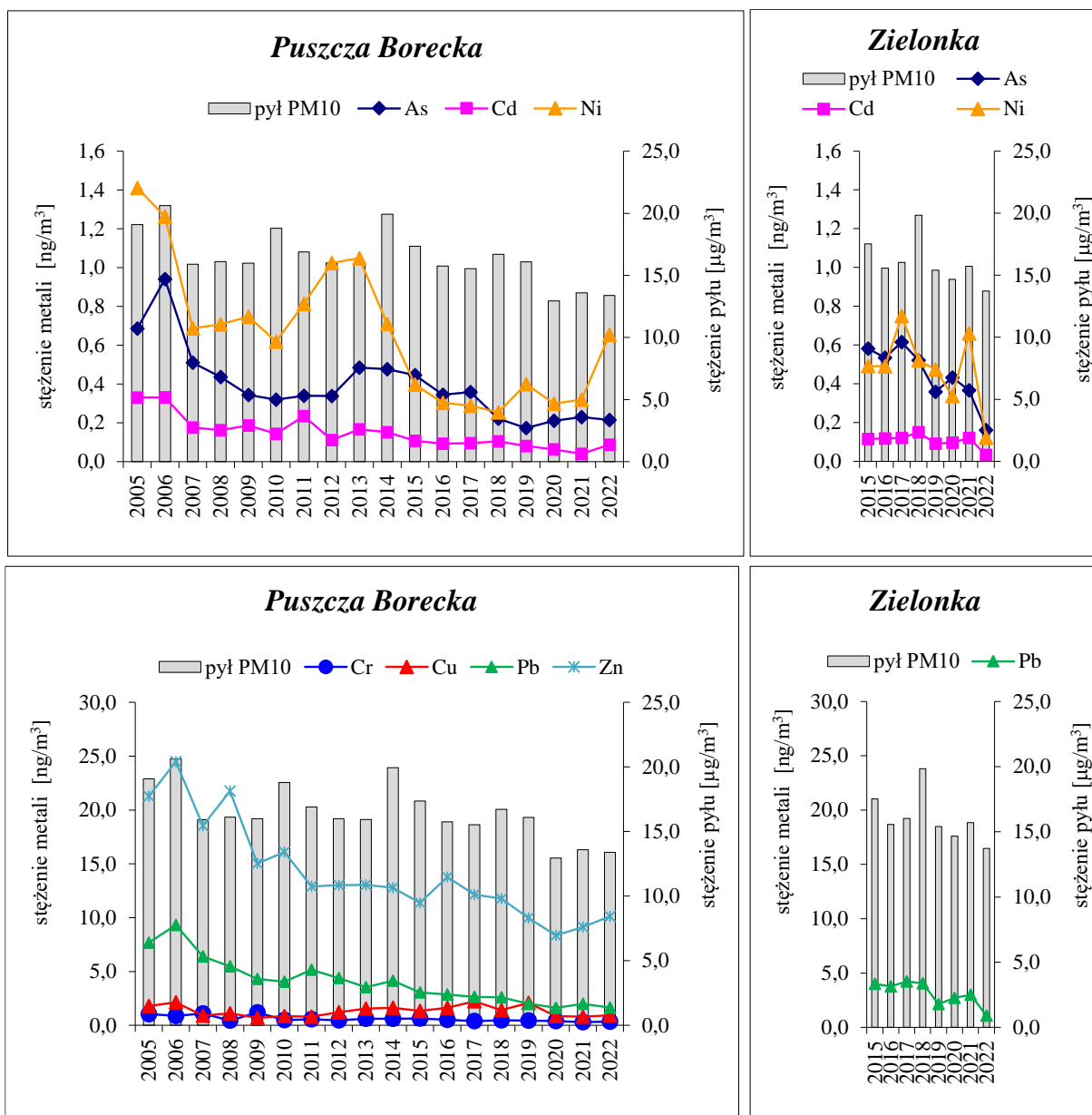
## 5.5.2. Metale ciężkie w pyłe PM10

W pyłe PM10 na stacji Puszcza Borecka są oznaczane wybrane metale ciężkie: As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn 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, a na stacji Zielonka oznaczane są wszystkie wymienione elementy, z wyjątkiem Cr, Cu i Zn.

Zawartość metali ciężkich w pyłe PM10 na stacji Puszcza Borecka monitorowana jest od 2005 roku, a od 2015 roku dysponujemy także danymi z Zielonki (rys. 10, tab. 9). Na stacji Puszcza Borecka spośród badanych metali w największych ilościach występowały w pyłe: cynk i ołów oraz miedź. Ich stężenia wynosiły w 2022 roku odpowiednio ok. 10 ng/m<sup>3</sup> (Zn), 1,64 i 0,92 ng/m<sup>3</sup> (Pb i Cu). Mniejsze stężenia były obserwowane dla niklu (0,65 ng/m<sup>3</sup>) i chromu (0,35 ng/m<sup>3</sup>) oraz dla arsenu (0,21 ng/m<sup>3</sup>). Najmniej występowało w pyłe kadmu (0,09 ng/m<sup>3</sup>). W stosunku do wartości z roku 2021 odnotowano wzrost stężenia cynku, miedzi, niklu, chromu i kadmu, stężenie pozostałych badanych metali ciężkich – ołowiu i arsenu było mniejsze niż w poprzednim roku. W stosunku do wartości średnich z wielolecia 2005-2021 średnie stężenia wszystkich metali w 2022 roku były mniejsze. Spadek wyniósł od 2% (Ni), przez 30-31% (Zn i Cu) i 43- 47% (Cd, Cr, As) po 61% (Pb), przy zmniejszeniu średniego rocznego stężenia pyłu zawieszonego PM10 o 19% w stosunku do wartości średniej z wielolecia. Największe wartości stężenia większość badanych metali osiągnęły w latach 2005 i 2006, a Cu w 2017 roku.

Stężenia wszystkich badanych w pyłe PM10 metali ciężkich w 2022 roku były niższe niż w 2021 roku i zmalały do wartości znacznie poniżej średniej z okresu 2015-2021. O ile obserwowane stężenia metali ciężkich na stacji w Zielonce przez wiele lat były wyższe niż na stacji Puszcza Borecka, w ostatnim 2022 roku sytuacja się odwróciła i stężenia na stacji Puszcza Borecka dominowały nad tymi z Zielonki.

Na ogół stężenie metali jest skorelowane ze stężeniem pyłu.



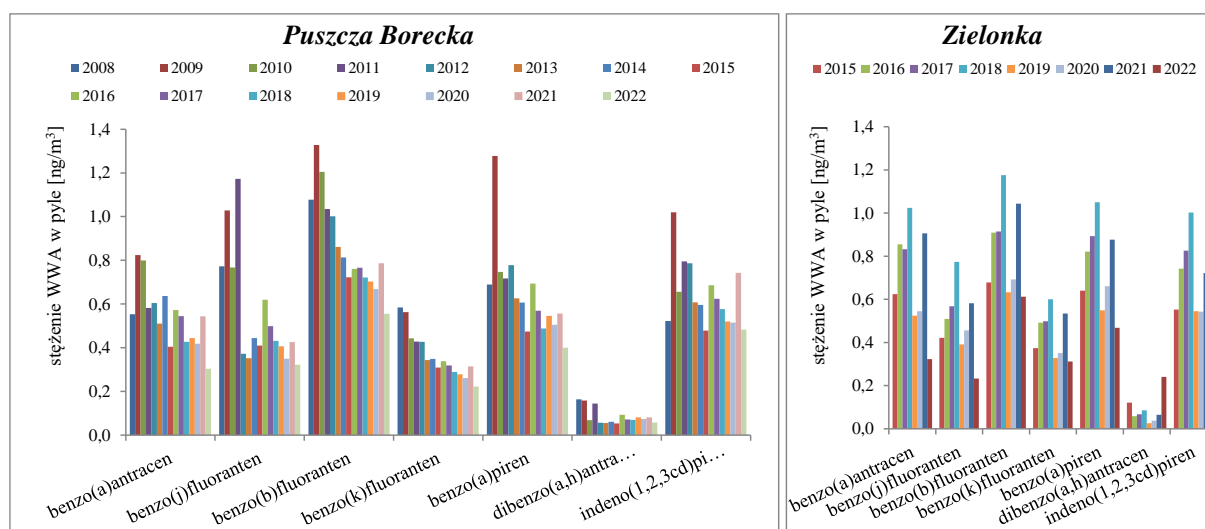
Rysunek 10. Średnie roczne stężenie metali ciężkich na tle stężeń pyłu PM10 na stacji Puszcza Borecka w latach 2005-2022 i na stacji Zielonka w latach 2015-2022

Tabela 9. Średnie roczne stężenie metali ciężkich w pyłe PM10 na stacji Puszcza Borecka w latach 2005-2022 i na stacji Zielonka w latach 2015-2022

<b>Puszcza Borecka</b>								
Rok	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	pył PM10
	[ng/m <sup>3</sup> ]	[ng/m <sup>3</sup> ]	[ng/m <sup>3</sup> ]	[ng/m <sup>3</sup> ]	[ng/m <sup>3</sup> ]	[ng/m <sup>3</sup> ]	[ng/m <sup>3</sup> ]	[μg/m <sup>3</sup> ]
2005	0,69	0,33	1,05	1,79	1,41	7,67	21,27	19,1
2006	0,94	0,33	0,88	2,14	1,26	9,32	24,50	20,6
2007	0,51	0,18	1,08	0,90	0,69	6,39	18,55	15,9
2008	0,44	0,16	0,45	1,11	0,71	5,48	21,76	16,1
2009	0,34	0,19	1,18	0,68	0,75	4,32	15,03	16,0
2010	0,32	0,14	0,48	0,86	0,62	4,04	16,10	18,8
2011	0,34	0,23	0,55	0,80	0,81	5,16	12,91	16,9
2012	0,34	0,11	0,46	1,21	1,02	4,39	13,02	16,0
2013	0,48	0,17	0,61	1,56	1,05	3,54	13,04	15,9
2014	0,48	0,15	0,60	1,61	0,71	4,14	12,79	19,9
2015	0,44	0,11	0,63	1,34	0,40	3,04	11,38	17,4
2016	0,35	0,09	0,51	1,62	0,30	2,85	13,78	15,8
2017	0,36	0,10	0,38	2,23	0,29	2,64	12,15	15,5
2018	0,22	0,10	0,45	1,41	0,25	2,60	11,76	16,7
2019	0,17	0,08	0,45	2,08	0,40	2,01	9,97	16,1
2020	0,21	0,06	0,39	0,84	0,30	1,63	8,35	12,9
2021	0,23	0,04	0,29	0,81	0,32	1,99	9,13	13,6
2022	0,21	0,09	0,35	0,92	0,65	1,64	10,12	13,4
<b>Zielonka</b>								
Rok	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	pył PM10
	[ng/m <sup>3</sup> ]	[ng/m <sup>3</sup> ]	[ng/m <sup>3</sup> ]	[ng/m <sup>3</sup> ]	[ng/m <sup>3</sup> ]	[ng/m <sup>3</sup> ]	[ng/m <sup>3</sup> ]	[μg/m <sup>3</sup> ]
2015	0,58	0,12	x	x	0,49	4,02	x	17,5
2016	0,53	0,12	x	x	0,49	3,77	x	15,6
2017	0,62	0,12	x	x	0,75	4,24	x	16,0
2018	0,52	0,15	x	x	0,52	4,06	x	19,8
2019	0,36	0,09	x	x	0,47	2,15	x	15,4
2020	0,43	0,10	x	x	0,34	2,72	x	14,7
2021	0,37	0,12	x	x	0,66	3,00	x	15,7
2022	0,16	0,03	x	x	0,12	1,08	x	13,7

### 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 programem została objęta również stacja Zielonka.



Rysunek 11. Średnie roczne wartości stężenia wybranych WWA w pyłe PM10 na stacji Puszcza Borecka w latach 2008-2022 i na stacji Zielonka w latach 2015-2022

Spółród oznaczanych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych na stacji Puszcza Borecka w największych ilościach występowały w powietrzu w 2022 roku i w latach wcześniejszych benzo(b)fluorantenu, indeno(1,2,3-cd)pirenu i benzo(a)pirenu, dla których wartości średnie roczne wyniosły 0,40-0,56 ng/m<sup>3</sup>. Najmniejszą wartość średnią roczną stężenia stwierdzono w 2022 roku, podobnie jak w latach wcześniejszych, w przypadku dibenzo(a,h)antracenu (0,06 ng/m<sup>3</sup>). Średnie roczne stężenia wszystkich badanych WWA w pyłe PM10 były mniejsze niż rok wcześniej. W 2022 roku stężenie sumy WWA było o 37% mniejsze od wartości średniej z okresu 2008-2021. Odnotowano zmniejszenie średnich rocznych wartości stężenia wszystkich badanych WWA. Względne różnice stężeń w stosunku do wartości średnich z wielolecia osiągnęły od -26% indeno(1,2,3-cd)pirenu przez -35% i -38% dla dibenzo(a,h)antracenu i benzo(b)antracenu, -40% i -41% benzo(a)pirenu, benzo(j)fluorantenu i benzo(k)fluorantenu po -46% dla benzo(a) antracenu. Bardzo wyraźnie zaznaczała się zmienność sezonowa stężeń poszczególnych WWA w powietrzu – znacząco wyższe wartości notowano w sezonie chłodnym.

Na stacji Zielonka w największych ilościach występowały w powietrzu w 2022 roku indeno(1,2,3-cd)pirenu, benzo(b)fluorantenu i benzo(a)pirenu (w stężeniu 0,47-0,70 ng/m<sup>3</sup>), najmniej było dibenzo(a,h)antracenu i benzo(j)fluorantenu (0,23-0,24 ng/m<sup>3</sup>). W porównaniu z rokiem poprzednim zmniejszyła się wartość stężenia wszystkich WWA, poza dibenzo(a,h)antracenu, którego stężenie czterokrotnie wzrosło.

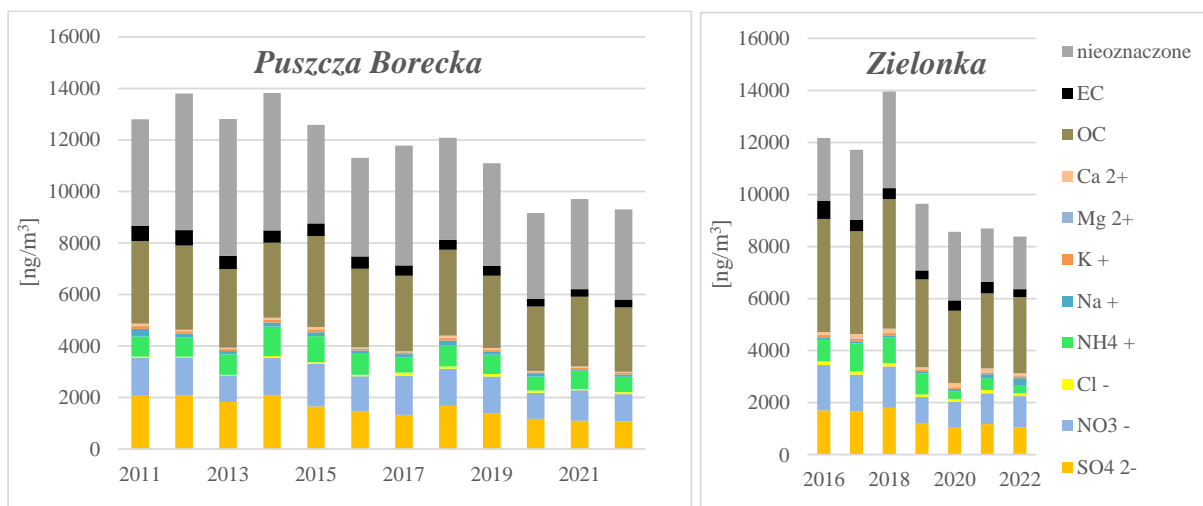
Tabela 10. Średnie roczne stężenie wybranych WWA w pyłe PM10 na stacji Puszcza Borecka w latach 2008-2022 i na stacji Zielonka w latach 2015-2022

<b>Puszcza Borecka</b>									
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 <sup>3</sup> ]								[μg/m <sup>3</sup> ]
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
<b>Zielonka</b>									
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 <sup>3</sup> ]								[μg/m <sup>3</sup> ]
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

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

### 5.5.4. Składniki w pyłe PM<sub>2,5</sub>

W pyłe PM<sub>2,5</sub> ze stacji Puszcza Borecka i Zielonka oznaczano zawartość siarczanów (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), azotanów (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), chlorków (Cl<sup>-</sup>), jonów amonowych (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), sodu (Na<sup>+</sup>), potasu (K<sup>+</sup>), wapnia (Ca<sup>2+</sup>) i magnezu (Mg<sup>2+</sup>) 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 na stronie 40 przedstawiono średnie roczne stężenia składników badanych w pyłe PM<sub>2,5</sub> na stacji Puszcza Borecka w latach 2011-2022, 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<sub>2,5</sub> na stacji Puszcza Borecka w latach 2011-2022 i na stacji Zielonka w latach 2016-2022

W składzie pyłu PM<sub>2,5</sub> w największych ilościach występują (rysunek 12) węgiel organiczny, oraz siarczany i azotany, jako zanieczyszczenia wtórne, stanowiące produkty przemiany tlenków siarki i azotu, w najmniejszych - jony magnezowe i chlorkowe. Podobny rozkład składników obserwowany jest w pyłe zawieszonym PM<sub>2,5</sub> z Zielonki, tzn. największy udział w pyłe PM<sub>2,5</sub> mają siarczany i azotany, najmniejszy jony chlorkowe. W kolejnych latach zmieniały się relacje pomiędzy stężeniami siarczanów i azotanów zarówno w Puszczy Boreckiej, jak i w Zielonce – raz jedne raz drugie jony odgrywały większą rolę w sumie kształtowaniu składu pyłu. W rejonie Puszczy Boreckiej substancje oznaczone stanowiły w poszczególnych latach ok. 60-70% zebranego pyłu zawieszzonego, pozostałe blisko 40% (w odniesieniu do wartości średnich rocznych) przypada na substancje nieoznaczone. W Zielonce substancje nieoznaczone stanowią 20-30% pyłu. W rejonie Puszczy Boreckiej ponad połowa składników oznaczanych w pyłe zawieszonym PM<sub>2,5</sub> (za wyjątkiem Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> i Mg<sup>2+</sup>) osiągnęła w 2022 roku mniejsze stężenie średnie roczne niż rok wcześniej. Natomiast stężenia wszystkich substancji (poza Cl<sup>-</sup>) były mniejsze od średnich z okresu 2011-2021.

Na stacji w Zielonce część badanych składników wykazała w porównaniu z rokiem poprzednim spadek stężenia - dotyczy to SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> i Ca<sup>2+</sup>. Pozostałe składniki wykazały wzrost stężenia – NO<sub>3</sub><sup>-</sup> o 0,4%, K<sup>+</sup> o 9%, Mg<sup>2+</sup> o 12% i Na<sup>+</sup> o 98%. Stężenie wszystkich składników, poza Na<sup>+</sup> i Mg<sup>2+</sup>, było tu niższe niż średnio w latach 2016-2021.

Tabela 11. Średnie roczne stężenie składników w pyłe PM<sub>2,5</sub> na stacji Puszcza Borecka w latach 2011-2022 i na stacji Zielonka w latach 2016-2022

<b>Puszcza Borecka</b>											
Rok	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	OC	EC	PM <sub>2,5</sub>
	[ng/m <sup>3</sup> ]								[μg/m <sup>3</sup> ]		[μg/m <sup>3</sup> ]
2011	2104,7	1433,5	54,8	779,4	294,3	109,1	17,7	80,4	3,2	0,6	12,8
2012	2073,4	1482,9	29,5	741,0	149,3	92,7	13,8	52,8	3,3	0,6	13,8
2013	1831,1	1032,4	16,9	792,5	134,0	78,9	11,4	40,9	3,0	0,5	12,8
2014	2090,8	1438,3	81,8	1135,3	168,7	107,6	15,0	61,5	2,9	0,5	13,8
2015	1649,1	1660,7	56,3	1011,5	151,1	112,5	16,4	82,9	3,5	0,5	12,6
2016	1468,4	1356,9	52,8	850,9	99,8	73,0	8,4	36,3	3,1	0,5	11,3
2017	1333,2	1509,6	126,6	596,8	118,2	64,4	9,5	40,2	2,9	0,4	11,8
2018	1674,9	1448,5	88,7	813,0	185,2	100,1	14,6	78,2	3,3	0,4	12,1
2019	1393,6	1422,0	103,7	745,8	127,5	71,5	10,3	55,4	2,8	0,4	11,1
2020	1171,7	1016,1	86,8	537,7	99,8	63,7	12,6	47,8	2,5	0,3	9,2
2021	1103,2	1181,1	47,2	709,0	56,2	69,0	9,9	32,5	2,7	0,3	9,7
2022	1064,6	1062,8	78,5	599,7	86,7	74,1	11,5	27,2	2,5	0,3	9,3
<b>Zielonka*</b>											
Rok	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	OC	EC	PM <sub>2,5</sub>
	[ng/m <sup>3</sup> ]								[μg/m <sup>3</sup> ]		[μg/m <sup>3</sup> ]
2016	1701,5	1747,3	131,9	834,4	91,5	93,0	9,8	103,0	4,4	0,7	12,2
2017	1672,9	1407,4	119,0	1074,7	89,4	85,7	13,5	176,0	3,9	0,4	11,7
2018	1804,5	1583,1	137,2	980,4	82,3	89,1	9,0	159,6	5,0	0,4	13,9
2019	1222,0	993,5	100,9	819,7	73,0	58,4	4,3	87,0	3,4	0,3	9,6
2020	1034,4	990,2	120,8	281,8	93,2	66,3	11,1	156,5	2,8	0,4	8,6
2021	1173,0	1187,1	133,7	443,9	150,4	68,2	10,3	151,2	2,9	0,4	8,7
2022	1057,9	1191,2	113,7	285,1	297,8	74,5	11,6	97,7	2,9	0,3	8,4



## 6. Zanieczyszczenie opadów atmosferycznych w 2022 roku na tle wielolecia

### 6.1. Odczyn wody opadowej

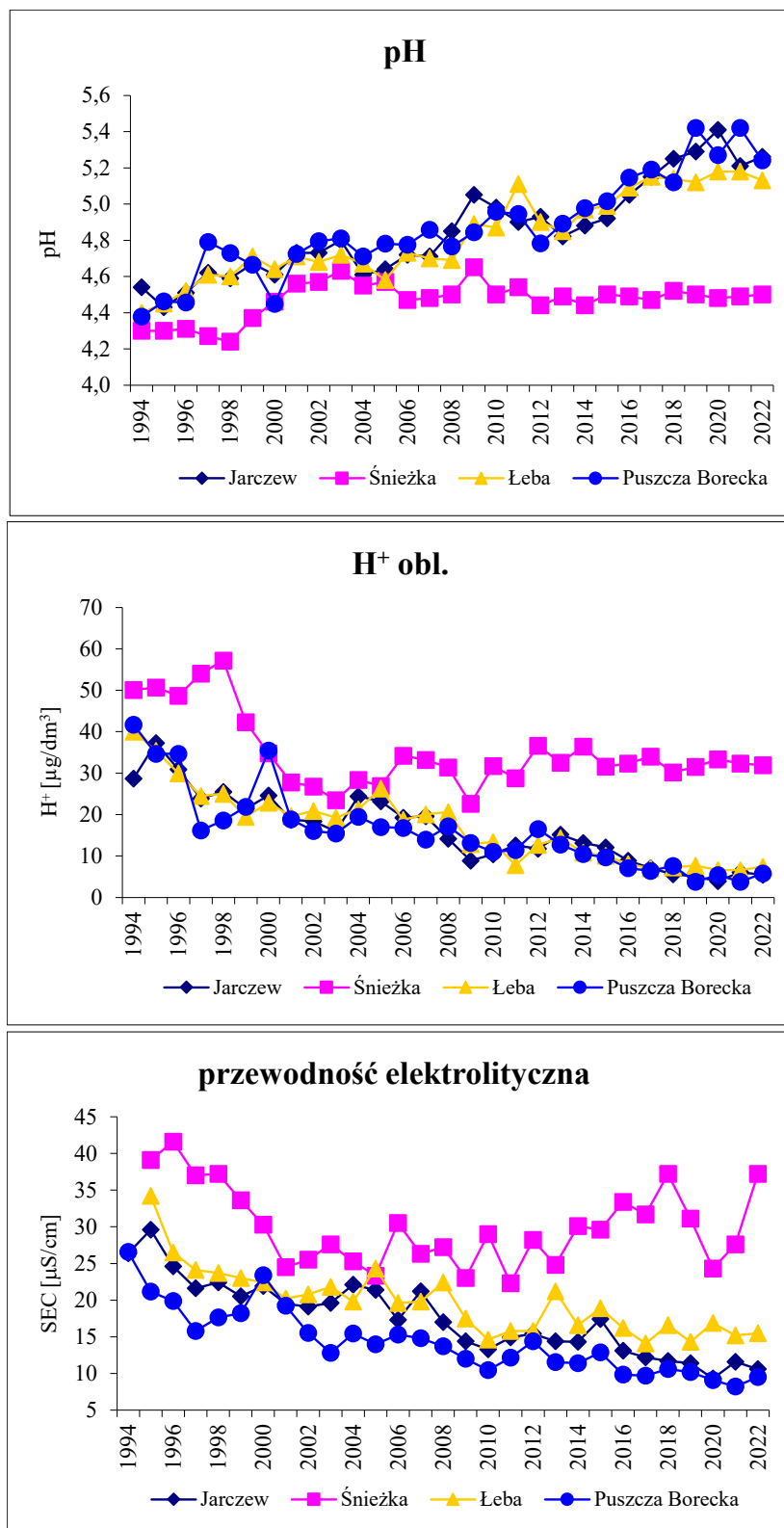
Jednym z zasadniczych czynników charakteryzujących właściwości zakwaszające opadów atmosferycznych jest obecność i dopływ jonów wodorowych do podłoża. Parametrem określającym odczyn wód opadowych jest wskaźnik pH.

Od wielu lat, na skutek obecności substancji zakwaszających w atmosferze, wody opadowe w Polsce są przeciętnie wodami o odczynie kwaśnym (pH poniżej 5,6)<sup>2</sup>. W latach 80. XX wieku na niektórych stacjach wartość pH oscylowała poniżej 4. 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, wartości pH na poszczególnych stacjach wynosiły od 4,30 na Śnieżce, 4,38 w rejonie Puszczy Boreckiej, 4,40 w Łebie i 4,54 w Jarczewie. Natomiast ostatnio, od kilku już lat we wszystkich nizinnych regionach badań średnie roczne wartości zaczęły systematycznie przekraczać pH=5,00. Pierwszy raz pH>5,00 stwierdzono w Jarczewie w roku 2009, a później począwszy od 2016 – już co roku, na stacji nadmorskiej po raz pierwszy w roku 2011, a następnie rokrocznie od 2016 roku, a na stacji Puszcza Borecka niezmiennie od roku 2015. W 2022 roku średnie roczne pH opadów atmosferycznych w nizinnych rejonach badań wyniosło: w Łebie 5,13, na stacji Puszcza Borecka 5,24, a w Jarczewie 5,26. Jedynie na Śnieżce wartość średniego rocznego pH zawsze kształtowała się poniżej granicy pH=5, a w 2022 roku wyniosła 4,50. W rejonach badań tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce przeważnie najniższymi wartościami pH charakteryzowały się opady na Śnieżce, a najwyższymi w rejonie Puszczy Boreckiej. 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.

Odpowiadające wskaźnikom pH stężenia jonów wodorowych w rejonach badań były największe na Śnieżce, przy czym znacząco malały od roku 1998 do roku 2005, by w następnych latach pozostawać na zbliżonym poziomie. Podobny przebieg uwidocznił się na stacjach nizinnych, ale tam po roku 2005 utrzymała się tendencja malejąca stężenia jonów wodorowych. Na przestrzeni wielolecia zanotowano spadek stężenia jonów wodorowych w opadzie od początku wspólnych obserwacji (od 1994 roku): o 86% w rejonie Puszczy Boreckiej o 81% w Jarczewie, o 82% w Łebie i o 36% na Śnieżce.

---

<sup>2</sup> jako granicę naturalnego zakwaszenia opadów przyjmuje się wartość stężenia jonów wodorowych odpowiadającą pH=5,6 [18]



Rysunek 13. Stężenie jonów wodorowych, wskaźnik pH i przewodność elektrolityczna właściwa opadów atmosferycznych na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2022

Tabela 12. Częstość występowania pH wody opadowej (%) na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2022

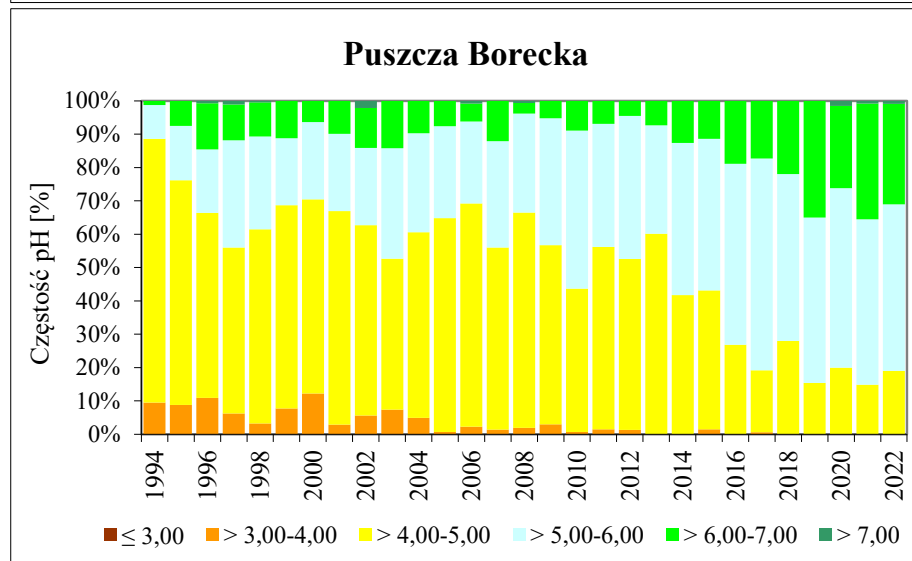
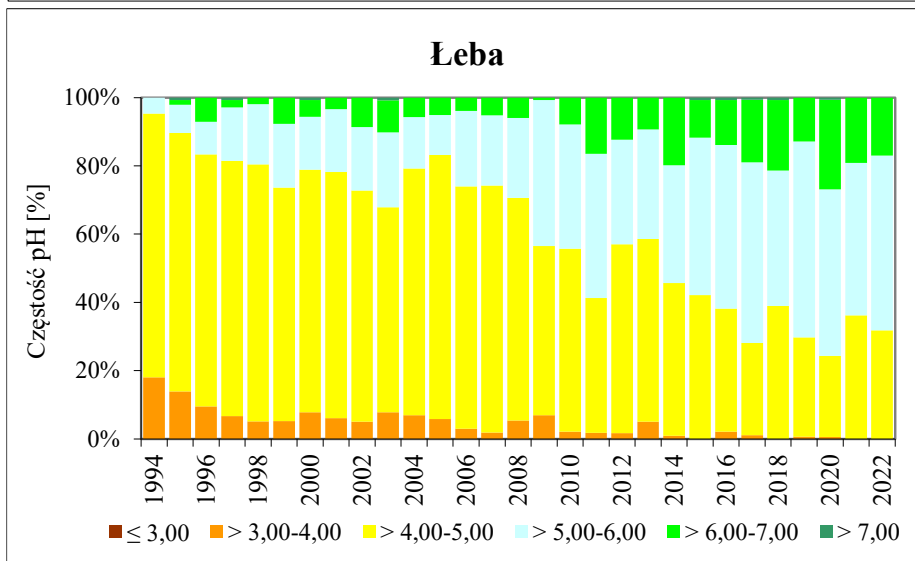
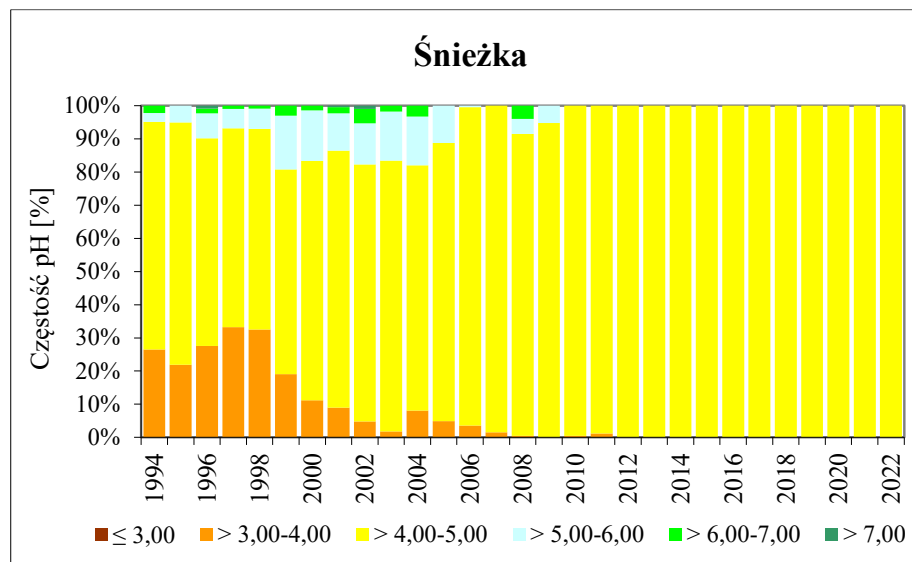
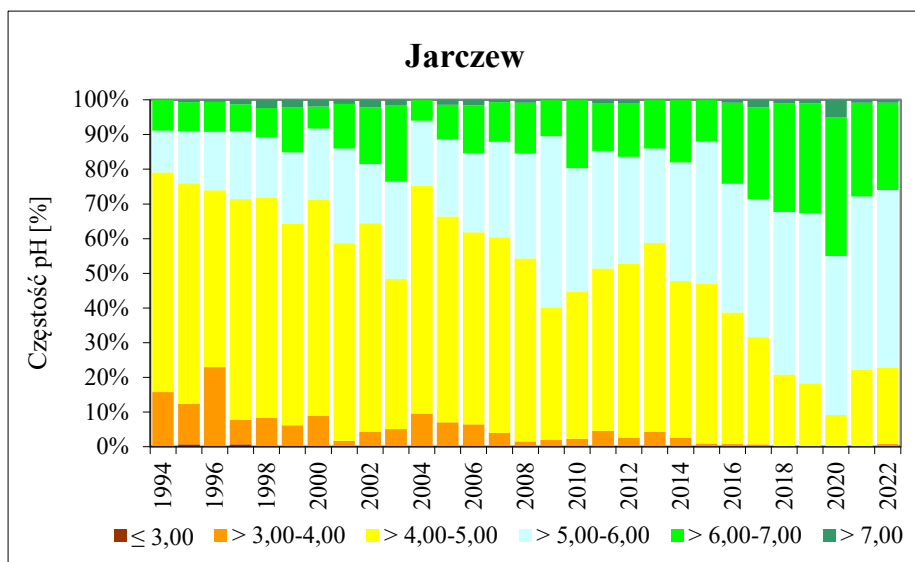
Stacja	Przedział wartości pH	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
<b>Jarczew</b>	≤ 3,00		0,7		0,7																										
	> 3,00-4,00	15,8	11,7	23,1	7,1	8,4	6,2	8,9	1,7	4,4	5,1	9,6	7,1	6,5	4,0	1,6	2,0	2,3	4,6	2,7	4,4	2,7	1,0	0,8	0,7					0,8	
	> 4,00-5,00	63,3	63,6	51,3	63,6	63,5	58,2	62,4	57,0	60,1	43,4	65,7	59,3	55,3	56,4	52,7	38,2	42,4	46,8	50,0	54,4	45,0	46,0	37,9	30,9	20,8	18,4	9,2	22,2	22,0	
	> 5,00-6,00	12,0	14,9	16,9	19,5	17,3	20,5	20,4	27,3	17,0	27,9	18,7	22,2	22,8	27,5	30,2	49,3	35,6	33,9	30,9	27,2	34,2	41,0	37,1	39,7	46,9	49,0	45,8	50,0	51,2	
	> 6,00-7,00	8,9	8,4	8,7	7,8	8,4	13,0	6,4	12,8	16,3	22,1	6,0	10,0	13,8	11,4	14,7	10,5	19,7	13,8	15,5	14,0	18,0	12,0	23,4	26,5	31,3	31,6	40,0	27,0	25,2	
	> 7,00		0,7	0,6	1,3	2,4	2,1	1,9	1,2	2,2	1,5		1,4	1,6	0,7	0,8			0,9	0,9				0,8	2,2	1,0	1,0	5,0	0,8	0,8	
<b>Snieżka</b>	≤ 3,00																														
	> 3,00-4,00	26,5	21,9	27,6	33,2	32,5	19,1	11,2	9,0	4,8	1,8	8,1	4,9	3,6	1,5	0,5		0,5	1,2												
	> 4,00-5,00	68,6	73,0	62,6	60,0	60,5	61,7	72,1	77,4	77,5	81,6	73,9	83,8	95,9	98,5	91,0	94,8	99,5	98,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
	> 5,00-6,00	2,7	5,1	7,5	5,8	6,1	16,2	15,3	11,3	12,4	14,8	14,7	11,3	0,5		4,5	5,2														
	> 6,00-7,00	2,2		1,4	1,0	0,9	3,0	1,4	1,8	4,3	1,8	3,3				4,0															
	> 7,00			0,9					0,5	1,0																					
<b>Łeba</b>	≤ 3,00																														
	> 3,00-4,00	18,0	13,9	9,5	6,7	5,1	5,2	7,8	6,1	5,0	7,8	6,9	5,8	3,0	1,9	5,4	6,9	2,1	1,8	1,7	5,0	0,9		2,1	1,1		0,7	0,6			
	> 4,00-5,00	77,3	75,7	73,9	74,8	75,3	68,4	71,1	72,1	67,8	60,1	72,3	77,4	71,0	72,3	65,3	49,6	53,6	39,5	55,3	53,6	44,8	42,1	36,1	27,0	38,9	29,1	23,7	36,2	31,8	
	> 5,00-6,00	4,7	8,3	9,5	15,6	17,7	18,7	15,5	18,4	18,6	21,9	15,1	11,7	22,1	20,6	23,4	42,8	36,4	42,2	30,7	32,1	34,5	46,2	47,9	52,9	39,7	57,4	48,8	44,7	51,2	
	> 6,00-7,00		1,4	7,1	2,2	1,9	7,7	4,9	3,4	8,6	9,4	5,7	5,1	3,9	5,2	6,0	0,7	7,9	16,5	12,3	9,3	19,8	11,0	13,2	18,4	20,6	12,8	26,3	19,1	17,0	
	> 7,00		0,7		0,7			0,7			0,8												0,7	0,7	0,6	0,8		0,6			
<b>Puszczka Borecka</b>	≤ 3,00																														
	> 3,00-4,00	9,5	8,8	10,9	6,2	3,2	7,7	12,2	2,9	5,6	7,4	4,9	0,7	2,3	1,4	1,9	3,0	0,7	1,5	1,3			1,5		0,6						
	> 4,00-5,00	79,1	67,4	55,5	49,8	58,3	61,0	58,3	64,0	57,1	45,3	55,7	64,1	66,9	54,6	64,6	53,7	43,0	54,6	51,3	60,2	41,7	41,7	26,8	18,6	28,0	15,4	20,0	14,9	19,0	
	> 5,00-6,00	10,1	16,3	19,0	32,2	27,8	20,1	23,1	23,2	23,2	33,1	29,7	27,6	24,6	31,9	29,7	38,1	47,4	36,9	42,9	32,5	45,6	45,5	54,3	63,5	50,0	49,6	53,8	49,6	50,0	
	> 6,00-7,00	1,3	7,5	13,9	10,7	10,2	11,2	6,4	9,9	12,0	14,2	9,7	7,6	5,4	12,1	3,2	5,2	8,9	6,9	4,5	7,3	12,6	11,4	18,8	17,3	22,0	35,0	24,6	34,7	30,2	
	> 7,00			0,7	1,1	0,5				2,1				0,8		0,6												1,5	0,8	0,9	
<b>Stacja</b>	<b>Przedział wartości pH</b>	<b>1994</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	

Widoczny na rysunku 13 wyraźny spadek wartości średnich przewodności elektrolitycznej właściwej opadów (SEC) świadczy o mniejszej mineralizacji opadów wskutek mniejszej zawartości, m.in. związków będących prekursorami silnych kwasów. W okresie 1994-2022 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. Na stacji wysokogórskiej, gdzie w całym okresie obserwacyjnym obserwowano wartości wyższe niż na trzech stacjach nizinnych, przebieg jest chaotyczny i bardzo zmienny z roku na rok. Do 2001 roku obserwowano spadek, następnie do 2018 roku powolny wzrost, podczas którego przebieg był chaotyczny i zmienny z roku na rok, następnie spadek do 2020 roku i w ostatnich dwóch latach znów wzrost. W stosunku do wartości z połowy lat 90. XX wieku średnie roczne wartości przewodności elektrolitycznej opadów w 2022 roku były niższe o 64% w Jarczewie, o 55% na stacji Puszcza Borecka i w Łebie oraz o 5% na Śnieżce.

Analiza częstości występowania opadów atmosferycznych w przedziałach wskazuje, że od lat we wszystkich analizowanych rejonach badań, zwłaszcza na początku analizowanego okresu, najczęściej występowały dni z opadami o wartościach z przedziału pH 4-5. Po roku 2014 na kolejnych stacjach nizinnych przewaga opadów z pH 4,00-5,00 ustępowała opadom z przedziału pH 5-6. Na stacji Puszcza Borecka opady o pH 5-6 stanowią grupę opadów o największej częstości od 2014 roku, w rejonie nadmorskim od 2015 roku, a w Jarczewie od 2017 roku. W nizinnych rejonach badań tła zanieczyszczenia atmosfery w 2022 roku zanotowano je w ponad 50% przypadków, podczas gdy opadów z grupy pH 4,00-5,00 na stacji Puszcza Borecka 19%, w Jarczewie 22%, a w Łebie 32%. Z roku na rok na stacjach nizinnych stopniowo wzrastała również częstość opadów z przedziału pH 6-7. W rejonie Jarczewa od 2017 roku, a w rejonie Puszczy Boreckiej od 2019 roku opady o pH 6-7 stanowią drugą z kolei grupę pod względem liczności, po grupie z pH 5-6. Częstość opadów z grupy o wyższym pH wynoszącym 6-7 w 2022 roku wyniosła w Łebie 17%, w Jarczewie 25%, a w rejonie Puszczy Boreckiej 30%. Ponadto w Jarczewie, a w ostatnich trzech latach także na stacji Puszcza Borecka występowały pojedyncze przypadki opadów o pH powyżej 7.

Z roku na rok malała częstość opadów o pH poniżej 4. W 2022 roku opad o pH poniżej 4 wystąpił tylko w Jarczewie.

Na stacji wysokogórskiej począwszy od 2012 roku występowały opady wyłącznie z grupy pH >4-5.



Rysunek 14. Częstość występowania pH wody opadowej na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2022

## 6.2. Główne jony w wodzie opadowej

Z analizy danych o składzie chemicznym opadów w rejonach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce (rysunek 15 na stronie 48, tabela 13 na stronach 51-54) 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 2022 roku średnie stężenie siarki siarczanowej w opadach wyniosło w rejonach monitoringu od 0,25 mg/dm<sup>3</sup> w Puszczy Boreckiej, 0,29 mg/dm<sup>3</sup> w Łebie i do 0,35 mg/dm<sup>3</sup> w Jarczewie i do 1,33 mg/dm<sup>3</sup> na Śnieżce. 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 nastąpił spadek zawartości jonów siarczanowych w opadach – najmniejszy na Śnieżce – o 17%, w Łebie o 65%, w Jarczewie o 70%, a w rejonie Puszczy Boreckiej o 75%. Wieloletnie ciągi pomiarowe uzupełnione o wyniki z 2022 roku wskazują na malejącą tendencję średnich rocznych wartości stężenia jonów siarczanowych w stosunku do poziomu z początku badań, we wszystkich analizowanych rejonach. O ile w nizinnych rejonach badań tendencja ta była dość wyraźna w całym okresie obserwacyjnym, to w rejonie wysokogórskim widoczna była tendencja spadkowa od początku pomiarów do roku 2000, następnie w latach 2001-2005 ustabilizowanie się w granicach 0,70- 0,85 mg/dm<sup>3</sup> (średnia 0,75 mg/dm<sup>3</sup>), po czym po roku 2006 nieznaczny, ale sukcesywny wzrost stężenia, do wartości bliskich tym z końca lat 90. XX wieku, kiedy w 2018 roku wyniosło 1,32 mg/dm<sup>3</sup>. W ciągu kolejnych dwóch lat stężenia siarczanów w opadzie na Śnieżce zmalały do wartości 0,73 mg/dm<sup>3</sup> w 2020 roku, by w kolejnych dwóch latach wzrosnąć do wartości wynoszącej w 2022 roku 1,33 mg/dm<sup>3</sup>, czyli znów bliskiej tym z początku lat 90. W ogólnym zarysie można zauważyć, że stężenie jonów siarczanowych w opadach na stacji wysokogórskiej po początkowym spadku, od roku 2000 podlega wahaniom z roku na rok przy towarzyszącej tym wahaniom słabej tendencji wzrostowej.

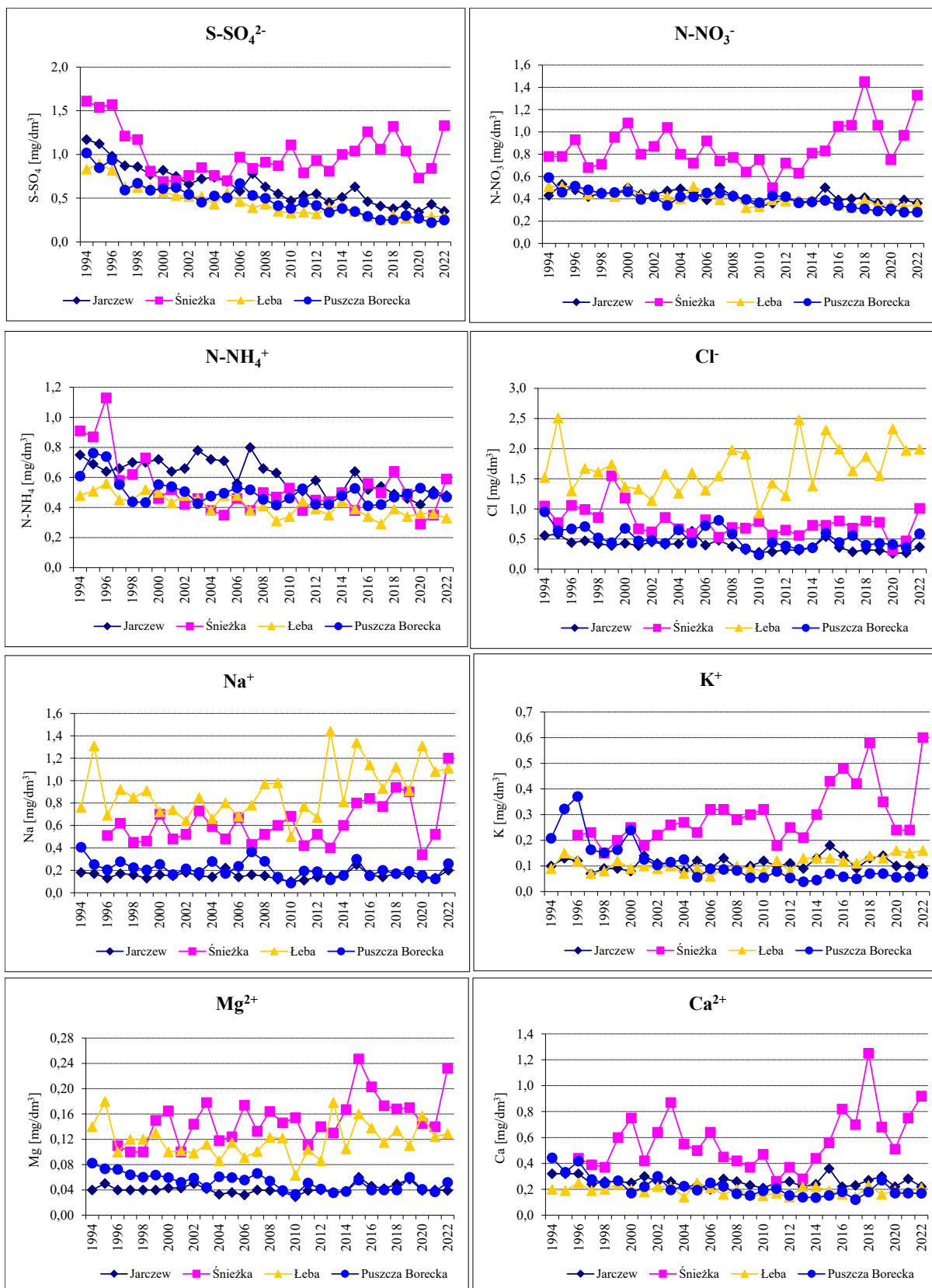
W przypadku jonów azotanowych w ciągu wielolecia obserwowano stały, bardzo powolny spadek stężenia jonów azotanowych w nizinnych rejonach badań tła zanieczyszczenia w Polsce. Na stacji wysokogórskiej przebieg stężenia azotanów w opadzie wykazywał dużą zmienność z roku na rok. W całym okresie od 1994 roku stężenia N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na Śnieżce były zawsze dwukrotnie wyższe niż w pozostałych rejonach badań. Począwszy od roku 2011, kiedy średnie roczne stężenie jonów azotanowych na tej stacji osiągnęło minimum wynoszące 0,50 mg/dm<sup>3</sup> wartość zaczęła sukcesywnie rosnąć osiągając w roku 2018 maksimum równe 1,45 mg/dm<sup>3</sup>. Było to ponad trzykrotnie więcej niż na stacjach nizinnych, gdzie w 2018 roku średnia roczna wartość stężenia azotu azotanowego w wodach opadowych kształtowała się w granicach 0,31-0,41 mg/dm<sup>3</sup>. W następnych latach nastąpił spadek stężenia azotanów w opadzie w rejonie wysokogórskim w 2022 roku do wartości 0,75 mg/dm<sup>3</sup>, czyli o ok. 4% w porównaniu z początkiem badań. W ciągu ostatnich dwóch lat nastąpił wzrost stężenia azotanów w wodzie opadowej na stacji wysokogórskiej do wartości wynoszącej w 2022 roku 1,33 mg/dm<sup>3</sup>, co oznacza wartość wyższą o 70% w stosunku do 1994 roku. W nizinnych rejonach badań w ostatnim roku stężenie jonów azotanowych w wodach opadowych wyniosło 0,28-0,35 mg/dm<sup>3</sup>. W stosunku do 1994 roku oznacza to spadek stężenia azotanów o 16% w Jarczewie, o 31% w Łebie i o 53% na stacji Puszcza Borecka.

Wartości stężenia jonów amonowych w roku 2022 mieściły się w zakresie od 0,33 mg/dm<sup>3</sup> w Łebie, do 0,47 mg/dm<sup>3</sup> w Puszczy Boreckiej i 0,48 g/dm<sup>3</sup> w Jarczewie, do 0,59 mg/dm<sup>3</sup> na Śnieżce. Na przestrzeni lat 1994-2022 zmienność stężenia jonu amonowego w rejonach badań kształtowała się inaczej niż jonu siarczanowego czy azotanowego. W początkowym okresie na Śnieżce i w rejonie Puszczy Boreckiej zawartość jonów amonowych w wodzie opadowej była większa niż na pozostałych stacjach sieci, ale nieprzerwanie w latach 2000-2009 (oraz w roku 2012, 2015 i 2017) najwyższe stężenie

jonów  $\text{N-NH}_4^+$  obserwowano w Jarczewie. W 2018 roku najwyższe stężenie jonów amonowych w opadzie odnotowano na stacji wysokogórskiej, a w latach 2019 i 2020 w rejonie stacji Puszcza Borecka. W kolejnych dwóch latach wartości z Jarczewa i z Puszczy Boreckiej praktycznie zrównały się ze sobą. W 2022 roku najwyższe średnie roczne stężenie jonów amonowych w opadzie odnotowano na Śnieżce. W całym okresie obserwacji najniższe średnie roczne wartości stężenia jonów amonowych w opadzie występowały na stacji nadmorskiej. We wszystkich rejonach badań obserwowano słabą tendencję spadkową tego składnika.

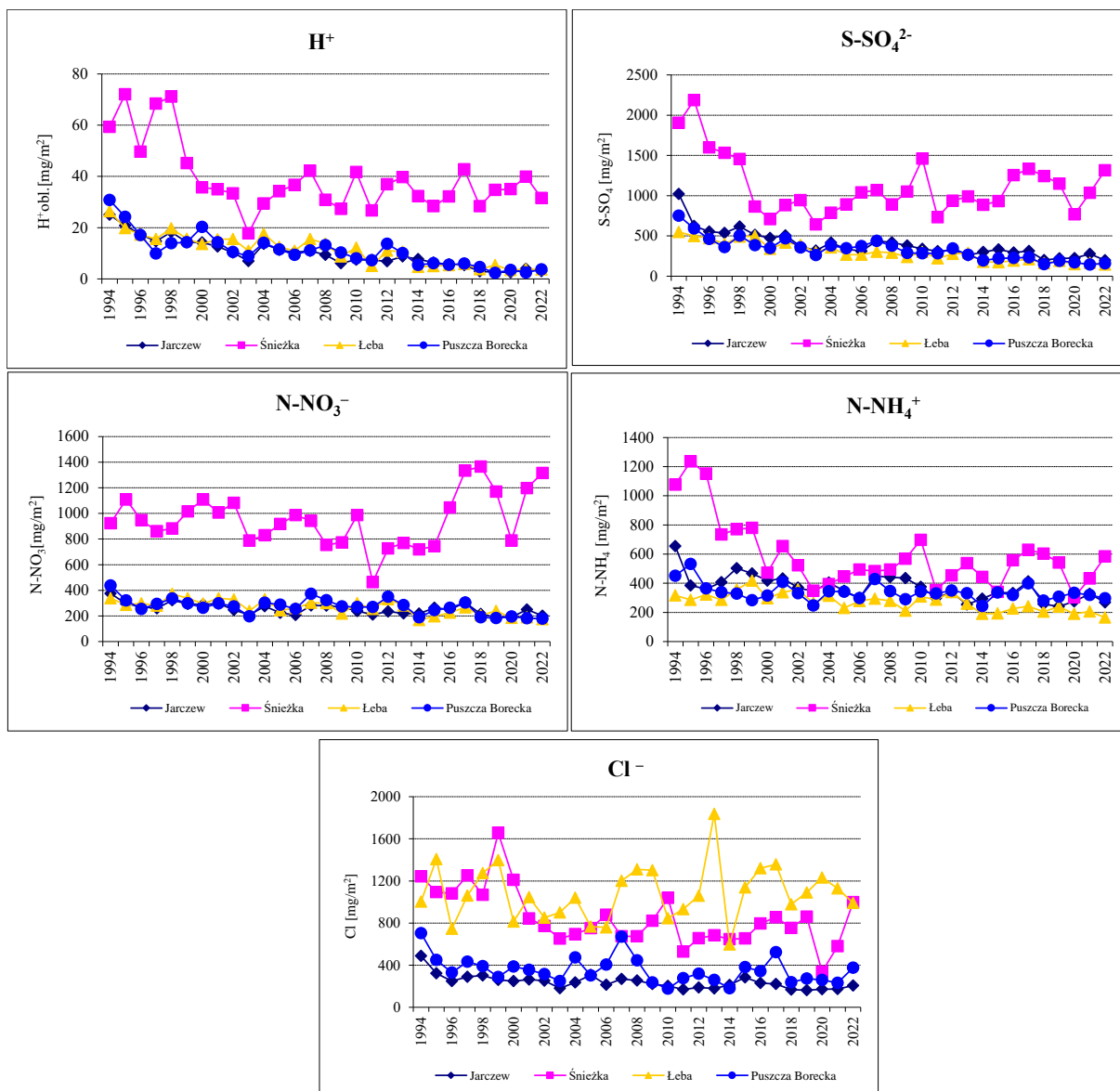
Stężenie jonów chlorkowych w 2022 roku wynosiło od  $0,37 \text{ mg/dm}^3$  w Jarczewie i  $0,59 \text{ mg/dm}^3$  w rejonie Puszczy Boreckiej do  $1,01 \text{ mg/dm}^3$  na Śnieżce i  $1,99 \text{ mg/dm}^3$  w Łebie. W całym okresie wieloletnim na stacji w Łebie zawartość jonów chlorkowych w wodach opadowych była przynajmniej dwukrotnie wyższa niż na pozostałych stacjach, za sprawą aerozolu pochodzenia morskiego obecnego w opadzie w rejonie badań.

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. Na przestrzeni wielolecia wyższe stężenia sodu i magnezu w opadzie notowano również na stacji wysokogórskiej. Obecność tych jonów w wodach opadowych na Śnieżce jest związana z ich przyniesieniem przez niezakłócone na tej wysokości oceaniczne masy powietrza. W ostatnim roku badań odnotowano na stacji wysokogórskiej wzrost stężenia kationów (sodu, potasu, magnezu i wapnia), do wartości najwyższych lub prawie najwyższych z obserwowanych dotąd w tym rejonie badań. Przebieg zmienności ładunków substancji docierających do podłoża wraz z opadem atmosferycznym w rejonach badań w okresie 1994- 2022 zilustrowano na rysunkach 16-17, a szczegółowe dane o stężeniach i ładunkach składników w wodzie opadowej w rejonach badań można prześledzić w tabeli 13 (na stronach 51-54).

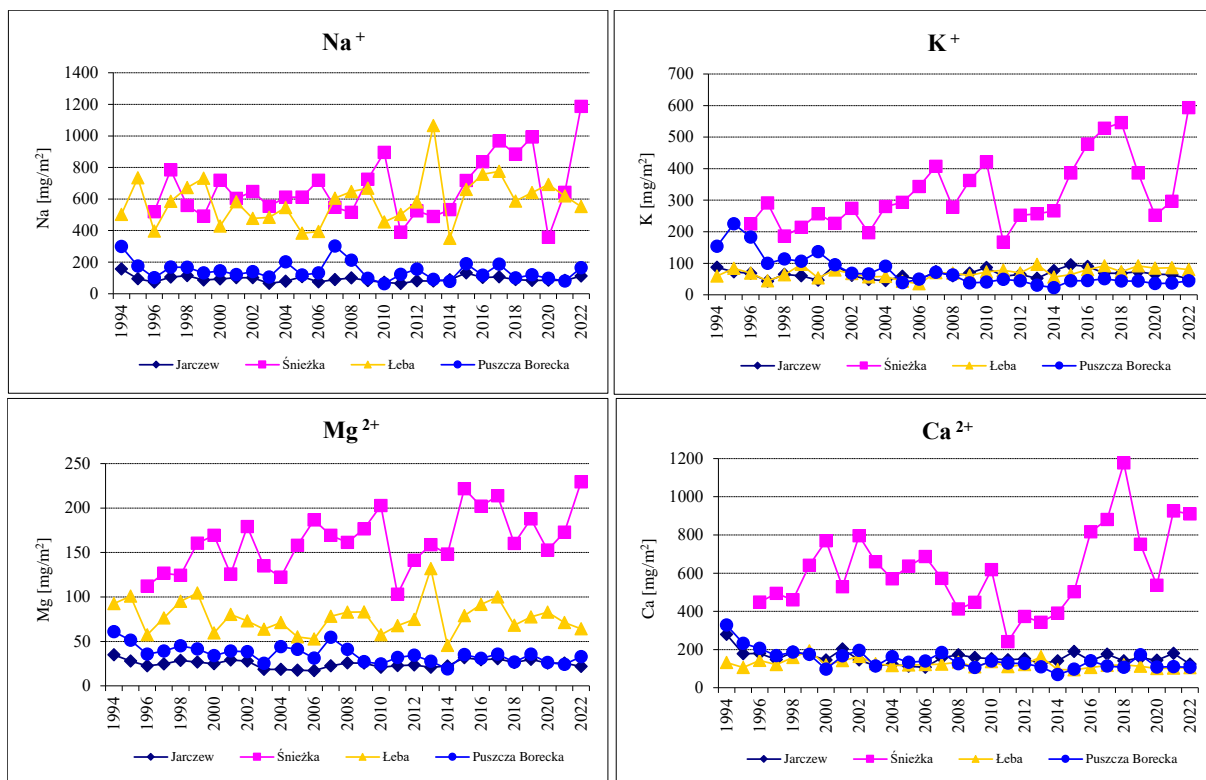


Rysunek 15. Stężenie podstawowych jonów w wodzie opadowej na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2022





Rysunek 16. Mokra depozycja jonów wodorowych, siarki siarczanowej, związków azotu i jonów chlorkowych na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2022



Rysunek 17. Mokra depozycja kationów na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2022

Tabela 13. Stężenie składników wody opadowej i mokra depozycja na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2022

Rok	Jarczew										pH	przew.elekt. μS/cm
	Suma opadów	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>			
	mm	stężenie średnie roczne [mg/dm <sup>3</sup> ]										
1994	873,1	1,17	0,43	0,75	0,56	0,18	0,10	0,040	0,32	4,54	26,4	
1995	557,6	1,12	0,53	0,69	0,58	0,17	0,13	0,050	0,32	4,43	29,6	
1996	564,2	0,98	0,48	0,64	0,44	0,13	0,12	0,040	0,32	4,51	24,6	
1997	616,4	0,87	0,42	0,66	0,47	0,17	0,07	0,040	0,24	4,62	21,6	
1998	718,0	0,86	0,45	0,70	0,42	0,16	0,09	0,040	0,26	4,59	22,4	
1999	667,3	0,77	0,44	0,70	0,39	0,13	0,09	0,040	0,26	4,67	20,5	
2000	579,7	0,82	0,50	0,72	0,43	0,16	0,08	0,043	0,25	4,61	21,9	
2001	675,2	0,75	0,44	0,64	0,39	0,15	0,14	0,043	0,30	4,73	19,5	
2002	560,4	0,66	0,44	0,66	0,45	0,18	0,11	0,050	0,26	4,73	19,1	
2003	440,2	0,72	0,47	0,78	0,41	0,15	0,11	0,042	0,26	4,80	19,6	
2004	561,5	0,74	0,49	0,72	0,42	0,14	0,08	0,033	0,22	4,61	22,1	
2005	489,2	0,69	0,46	0,71	0,63	0,22	0,12	0,036	0,23	4,64	21,4	
2006	534,2	0,58	0,39	0,56	0,40	0,14	0,09	0,032	0,20	4,72	17,3	
2007	562,4	0,78	0,50	0,80	0,48	0,16	0,13	0,040	0,28	4,71	21,2	
2008	664,9	0,63	0,42	0,66	0,38	0,15	0,09	0,039	0,26	4,85	17,0	
2009	690,1	0,55	0,39	0,63	0,32	0,12	0,10	0,037	0,23	5,05	14,4	
2010	722,1	0,47	0,33	0,52	0,28	0,10	0,12	0,029	0,21	4,98	13,3	
2011	585,6	0,53	0,36	0,51	0,29	0,11	0,10	0,039	0,25	4,90	14,9	
2012	585,9	0,55	0,40	0,58	0,32	0,14	0,11	0,040	0,26	4,93	15,4	
2013	576,9	0,45	0,38	0,44	0,31	0,14	0,09	0,036	0,22	4,82	14,4	
2014	588,2	0,51	0,37	0,50	0,36	0,15	0,13	0,038	0,24	4,88	14,3	
2015	527,1	0,63	0,50	0,64	0,54	0,25	0,18	0,060	0,36	4,92	17,4	
2016	639,5	0,46	0,39	0,52	0,36	0,16	0,14	0,046	0,22	5,05	13,1	
2017	762,6	0,41	0,40	0,54	0,29	0,14	0,09	0,042	0,23	5,15	12,2	
2018	523,8	0,38	0,41	0,49	0,32	0,17	0,13	0,049	0,27	5,25	11,7	
2019	524,5	0,42	0,36	0,46	0,31	0,16	0,14	0,057	0,30	5,29	11,4	
2020	657,0	0,34	0,29	0,42	0,26	0,13	0,10	0,039	0,22	5,41	9,3	
2021	642,6	0,43	0,39	0,51	0,27	0,13	0,10	0,040	0,28	5,21	11,6	
2022	560,6	0,35	0,36	0,48	0,37	0,20	0,09	0,039	0,22	5,26	10,6	

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

Rok	Śnieżka										
	Suma opadów	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	pH	przew.elekt.
	mm	stężenie średnie roczne [mg/dm <sup>3</sup> ]									μS/cm
1994	1183,6	1,61	0,78	0,91	1,05	x	x	x	x	4,30	x
1995	1420,1	1,54	0,78	0,87	0,77	x	x	x	x	4,30	39,1
1996	1019,4	1,57	0,93	1,13	1,06	0,51	0,22	0,110	0,44	4,31	41,6
1997	1265,9	1,21	0,68	0,58	0,99	0,62	0,23	0,100	0,39	4,27	37,0
1998	1242,8	1,17	0,71	0,62	0,86	0,45	0,15	0,100	0,37	4,24	37,2
1999	1068,7	0,81	0,95	0,73	1,55	0,46	0,20	0,150	0,60	4,37	33,6
2000	1025,8	0,69	1,08	0,46	1,18	0,70	0,25	0,165	0,75	4,46	30,3
2001	1258,2	0,70	0,80	0,52	0,67	0,48	0,18	0,100	0,42	4,56	24,5
2002	1243,6	0,76	0,87	0,42	0,62	0,52	0,22	0,144	0,64	4,57	25,5
2003	757,7	0,85	1,04	0,46	0,86	0,73	0,26	0,178	0,87	4,63	27,6
2004	1035,9	0,76	0,80	0,38	0,67	0,59	0,27	0,118	0,55	4,55	25,3
2005	1273,3	0,70	0,72	0,35	0,59	0,48	0,23	0,124	0,50	4,57	23,3
2006	1072,3	0,97	0,92	0,46	0,82	0,67	0,32	0,174	0,64	4,47	30,5
2007	1272,5	0,84	0,74	0,38	0,53	0,43	0,32	0,133	0,45	4,48	26,3
2008	982,5	0,91	0,77	0,50	0,69	0,52	0,28	0,164	0,42	4,50	27,2
2009	1208,4	0,87	0,64	0,47	0,68	0,60	0,30	0,146	0,37	4,65	23,0
2010	1316,2	1,11	0,75	0,53	0,79	0,68	0,32	0,154	0,47	4,50	29,0
2011	927,7	0,79	0,50	0,38	0,57	0,42	0,18	0,111	0,26	4,54	22,3
2012	1008,1	0,93	0,72	0,45	0,65	0,52	0,25	0,140	0,37	4,44	28,2
2013	1221,5	0,81	0,63	0,44	0,56	0,40	0,21	0,130	0,28	4,49	24,8
2014	887,0	1,00	0,81	0,50	0,73	0,60	0,30	0,167	0,44	4,44	30,1
2015	897,1	1,04	0,83	0,38	0,73	0,80	0,43	0,247	0,56	4,50	29,6
2016	995,3	1,26	1,05	0,56	0,80	0,84	0,48	0,203	0,82	4,49	33,4
2017	1257,7	1,06	1,06	0,50	0,68	0,77	0,42	0,173	0,70	4,47	31,7
2018	941,2	1,32	1,45	0,64	0,80	0,94	0,58	0,168	1,25	4,52	37,2
2019	1103,8	1,04	1,06	0,49	0,78	0,90	0,35	0,170	0,68	4,50	31,1
2020	1051,8	0,73	0,75	0,29	0,32	0,34	0,24	0,145	0,51	4,48	24,3
2021	1233,6	0,84	0,97	0,35	0,47	0,52	0,24	0,140	0,75	4,49	27,6
2022	988,9	1,33	1,33	0,59	1,01	1,20	0,60	0,232	0,92	4,50	37,2

Rok	Śnieżka								
	Suma opadów	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
	mm	ładunek roczny [mg/m <sup>2</sup> ]							
1994	1183,6	1905,6	923,2	1077,1	1242,8	x	x	x	x
1995	1420,1	2187,0	1107,7	1235,5	1093,5	x	x	x	x
1996	1019,4	1600,5	948,0	1151,9	1080,6	519,9	224,3	112,1	448,5
1997	1265,9	1531,7	860,8	734,2	1253,2	784,9	291,2	126,6	493,7
1998	1242,8	1454,1	882,4	770,5	1068,8	559,3	186,4	124,3	459,8
1999	1068,7	865,6	1015,3	780,2	1656,5	491,6	213,7	160,3	641,2
2000	1025,8	707,8	1107,9	471,9	1210,4	718,1	256,5	169,3	769,4
2001	1258,2	880,7	1006,6	654,3	843,0	603,9	226,5	125,8	528,4
2002	1243,6	945,1	1081,9	522,3	771,0	646,7	273,6	179,1	795,9
2003	757,7	644,0	788,0	348,5	651,6	553,1	197,0	134,9	659,2
2004	1035,9	787,3	828,7	393,6	694,1	611,2	279,7	122,2	569,8
2005	1273,3	891,3	916,8	445,7	751,2	611,2	292,9	157,9	636,6
2006	1072,3	1040,1	986,5	493,3	879,3	718,4	343,1	186,6	686,3
2007	1272,5	1068,9	941,7	483,6	674,4	547,2	407,2	169,2	572,6
2008	982,5	891,6	754,0	493,7	674,9	515,6	278,1	161,3	412,6
2009	1208,4	1051,3	773,4	567,9	821,7	725,0	362,5	176,4	447,1
2010	1316,2	1461,0	987,2	697,6	1039,8	895,0	421,2	202,7	618,6
2011	927,7	732,9	463,8	352,5	528,8	389,6	167,0	103,0	241,2
2012	1008,1	937,5	725,8	453,6	655,3	524,2	252,0	141,1	373,0
2013	1221,5	989,4	769,5	537,5	684,0	488,6	256,5	158,8	342,0
2014	887,0	887,0	718,5	443,5	647,5	532,2	266,1	148,1	390,3
2015	897,1	933,0	744,6	340,9	654,9	717,7	385,8	221,6	502,4
2016	995,3	1254,1	1045,1	557,4	796,2	836,1	477,7	202,0	816,2
2017	1257,7	1333,2	1333,2	628,8	855,2	968,4	528,2	213,8	880,4
2018	941,2	1242,4	1364,7	602,4	753,0	884,7	545,9	160,0	1176,5
2019	1103,8	1148,0	1170,0	540,9	861,0	993,4	386,3	187,6	750,6
2020	1051,8	767,8	788,9	305,0	336,6	357,6	252,4	152,5	536,4
2021	1233,6	1036,2	1196,6	431,8	579,8	641,5	296,1	172,7	925,2
2022	988,9	1315,2	1315,2	583,5	998,8	1186,7	593,3	229,4	909,8

Rok	Łeba										
	Suma opadów	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	pH	przew.elekr. μS/cm
	mm	stężenie średnie roczne [mg/dm <sup>3</sup> ]									
1994	660,9	0,83	0,51	0,48	1,52	0,76	0,09	0,140	0,20	4,40	x
1995	560,5	0,89	0,51	0,51	2,51	1,31	0,15	0,180	0,19	4,45	34,2
1996	574,2	0,82	0,52	0,56	1,30	0,69	0,12	0,100	0,25	4,52	26,5
1997	635,9	0,63	0,44	0,45	1,67	0,92	0,07	0,120	0,19	4,61	24,1
1998	791,7	0,62	0,47	0,45	1,61	0,85	0,08	0,120	0,20	4,60	23,7
1999	803,6	0,62	0,42	0,52	1,74	0,91	0,12	0,130	0,24	4,71	23,0
2000	594,3	0,57	0,50	0,50	1,37	0,72	0,09	0,100	0,20	4,64	22,4
2001	786,6	0,53	0,43	0,43	1,33	0,74	0,10	0,102	0,18	4,71	20,2
2002	746,0	0,52	0,44	0,48	1,14	0,64	0,09	0,098	0,22	4,68	20,8
2003	569,6	0,52	0,42	0,46	1,58	0,85	0,10	0,112	0,22	4,72	21,8
2004	826,5	0,43	0,40	0,38	1,26	0,66	0,07	0,086	0,14	4,67	19,8
2005	478,6	0,56	0,51	0,48	1,60	0,80	0,09	0,115	0,25	4,58	24,3
2006	579,3	0,46	0,45	0,48	1,31	0,68	0,06	0,091	0,21	4,73	19,6
2007	775,2	0,39	0,39	0,38	1,55	0,78	0,09	0,101	0,16	4,70	19,8
2008	674,2	0,43	0,44	0,41	1,98	0,97	0,10	0,123	0,20	4,69	22,4
2009	681,7	0,35	0,32	0,31	1,91	0,98	0,09	0,122	0,16	4,89	17,5
2010	909,0	0,33	0,33	0,34	0,93	0,50	0,08	0,063	0,15	4,87	14,6
2011	652,1	0,34	0,39	0,44	1,43	0,77	0,12	0,104	0,17	5,11	15,8
2012	868,4	0,32	0,38	0,39	1,22	0,67	0,08	0,086	0,14	4,90	15,8
2013	740,2	0,39	0,38	0,35	2,48	1,44	0,13	0,178	0,22	4,85	21,2
2014	433,1	0,41	0,39	0,44	1,38	0,81	0,13	0,105	0,22	4,97	16,6
2015	493,2	0,35	0,40	0,39	2,31	1,34	0,13	0,160	0,19	4,99	18,9
2016	663,4	0,29	0,34	0,34	1,99	1,14	0,12	0,138	0,16	5,09	16,2
2017	832,9	0,25	0,32	0,29	1,63	0,93	0,11	0,115	0,14	5,15	14,1
2018	523,5	0,31	0,39	0,39	1,87	1,12	0,14	0,134	0,23	5,14	16,6
2019	704,1	0,27	0,34	0,34	1,55	0,91	0,13	0,110	0,16	5,12	14,3
2020	528,6	0,28	0,35	0,36	2,33	1,31	0,16	0,157	0,19	5,18	16,9
2021	573,6	0,29	0,33	0,36	1,97	1,08	0,15	0,124	0,18	5,18	15,2
2022	497,8	0,29	0,35	0,33	1,99	1,11	0,16	0,129	0,21	5,13	15,5

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



Rok	Puszcza Borecka										
	Suma opadów	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	pH	przew.elekt. μS/cm
	mm	stężenie średnie roczne [mg/dm <sup>3</sup> ]									
1994	739,7	1,02	0,59	0,61	0,95	0,40	0,21	0,082	0,44	4,38	26,6
1995	699,1	0,85	0,46	0,76	0,64	0,25	0,32	0,073	0,33	4,46	21,2
1996	494,1	0,94	0,51	0,74	0,67	0,20	0,37	0,072	0,42	4,46	19,9
1997	611,0	0,59	0,48	0,55	0,71	0,28	0,16	0,064	0,28	4,79	15,8
1998	749,2	0,67	0,45	0,44	0,52	0,22	0,15	0,060	0,25	4,73	17,6
1999	653,1	0,59	0,46	0,43	0,44	0,20	0,16	0,063	0,27	4,66	18,2
2000	571,8	0,61	0,46	0,55	0,68	0,25	0,24	0,060	0,17	4,45	23,4
2001	756,5	0,62	0,39	0,54	0,47	0,16	0,13	0,052	0,22	4,72	19,2
2002	654,4	0,54	0,42	0,51	0,48	0,21	0,10	0,059	0,30	4,79	15,5
2003	580,4	0,45	0,34	0,43	0,43	0,18	0,11	0,044	0,20	4,81	12,8
2004	723,9	0,53	0,42	0,48	0,65	0,28	0,12	0,061	0,22	4,71	15,5
2005	690,2	0,50	0,42	0,50	0,44	0,17	0,06	0,060	0,19	4,78	14,0
2006	561,1	0,67	0,45	0,53	0,72	0,23	0,09	0,056	0,25	4,77	15,3
2007	827,2	0,53	0,45	0,52	0,81	0,36	0,09	0,066	0,22	4,86	14,8
2008	760,8	0,50	0,42	0,45	0,59	0,28	0,08	0,054	0,17	4,77	13,7
2009	695,7	0,41	0,39	0,42	0,34	0,14	0,05	0,039	0,15	4,84	12,0
2010	741,2	0,38	0,36	0,46	0,24	0,09	0,05	0,033	0,19	4,96	10,4
2011	629,0	0,45	0,43	0,53	0,44	0,19	0,08	0,051	0,20	4,95	12,1
2012	831,0	0,42	0,42	0,42	0,38	0,19	0,05	0,041	0,15	4,78	14,4
2013	786,3	0,34	0,36	0,42	0,33	0,11	0,04	0,035	0,14	4,89	11,6
2014	509,2	0,38	0,37	0,48	0,35	0,15	0,04	0,038	0,14	4,98	11,4
2015	637,6	0,35	0,39	0,53	0,60	0,30	0,07	0,055	0,15	5,02	12,9
2016	776,0	0,29	0,34	0,41	0,44	0,15	0,06	0,040	0,18	5,15	9,8
2017	940,0	0,25	0,32	0,42	0,56	0,20	0,05	0,040	0,12	5,19	9,7
2018	601,8	0,25	0,31	0,47	0,40	0,17	0,07	0,040	0,18	5,12	10,6
2019	631,9	0,30	0,29	0,49	0,43	0,19	0,07	0,060	0,27	5,42	10,2
2020	636,7	0,27	0,31	0,53	0,41	0,15	0,06	0,041	0,17	5,27	9,1
2021	650,8	0,22	0,28	0,49	0,36	0,12	0,06	0,037	0,17	5,42	8,2
2022	635,3	0,25	0,28	0,47	0,59	0,26	0,07	0,052	0,17	5,24	9,5

Rok	Puszcza Borecka								
	Suma opadów	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
	mm	ładunek roczny [mg/m <sup>2</sup> ]							
1994	739,7	752,0	437,1	450,4	703,9	299,4	153,5	60,8	328,1
1995	699,1	592,7	320,6	532,8	449,1	175,3	225,2	51,3	232,4
1996	494,1	463,3	253,8	364,9	329,8	100,9	182,9	35,7	206,1
1997	611,0	361,4	293,7	337,8	432,7	169,0	99,8	39,2	168,5
1998	749,2	502,3	336,8	328,3	390,2	166,8	113,6	44,9	186,3
1999	653,1	385,3	298,0	282,7	286,8	132,0	106,3	41,5	174,2
2000	571,8	348,0	264,2	315,9	386,9	144,5	136,8	34,1	97,4
2001	756,5	470,7	298,8	408,4	355,7	121,7	95,1	39,2	167,1
2002	654,4	356,6	274,0	331,4	316,0	138,9	67,7	38,4	195,8
2003	580,4	263,5	197,4	247,8	249,5	104,9	66,4	25,4	113,5
2004	723,9	380,9	302,6	345,1	472,7	201,2	90,3	44,1	162,2
2005	690,2	347,6	287,1	342,1	302,6	118,1	38,5	41,1	133,6
2006	561,1	374,2	254,1	298,0	406,2	131,7	49,8	31,2	140,2
2007	827,2	439,4	372,4	428,7	671,6	301,2	71,4	54,6	184,4
2008	760,8	378,8	322,2	346,1	446,3	212,3	62,4	41,1	125,9
2009	695,7	287,9	274,5	290,4	236,1	96,8	37,6	27,1	106,3
2010	741,2	283,8	269,8	342,9	177,3	63,1	40,5	24,6	139,5
2011	629,0	284,7	269,0	330,4	277,4	122,1	49,2	32,0	128,7
2012	831,0	345,0	349,1	350,4	319,3	156,0	44,0	34,4	126,3
2013	786,3	265,5	284,9	330,7	260,8	90,2	30,1	27,7	109,0
2014	509,2	194,1	189,2	244,0	180,7	77,8	22,7	19,1	69,5
2015	637,6	221,2	245,9	337,2	381,1	190,1	44,4	35,3	97,1
2016	776,0	226,0	264,3	319,4	343,6	116,7	45,0	31,0	140,6
2017	940,0	233,7	304,5	399,4	524,0	186,7	50,6	35,6	113,3
2018	601,8	150,1	189,3	280,7	237,7	99,8	43,6	26,8	107,2
2019	631,9	189,2	183,5	307,6	272,8	119,1	43,5	35,6	172,5
2020	636,7	171,6	196,2	334,4	259,4	97,1	35,9	26,3	108,3
2021	650,8	144,1	182,5	319,1	231,7	80,0	37,2	24,2	110,9
2022	635,3	159,2	179,0	296,6	375,5	164,0	44,4	32,8	107,2

### 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. Przebieg wartości stężenia i mokrej depozycji metali ciężkich w poszczególnych latach przedstawiono na rysunkach 18 i 19 na stronach 57-58, natomiast dane o stężeniu metali ciężkich oraz ładunkach wprowadzanych do podłoża zawarto w tabeli 14 na stronach 59-60.

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.

Stężenia ołowiu na stacji w Łebie po obniżeniu w latach 1996, 1997 i znacznym wzroście w latach 1998-2000, znacząco zmniejszyły się do 2002 roku, a potem cały czas jeszcze stopniowo się zmniejszały, do wartości najniższej z obserwowanych w 2022 roku ( $0,19 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ ). 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  $0,24 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ . W 2022 roku wartość stężenia Pb wyniosła  $0,38 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ . Podobny przebieg na obu stacjach przedstawiały ładunki ołowiu wprowadzane do ekosystemu.

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. W Puszczy Boreckiej stężenia tego metalu były przeważnie na poziomie nieco wyższym niż w Łebie. Tutaj najniższa wartość wystąpiła w roku 2019 ( $0,010 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ ), a wartość w 2022 roku wyniosła  $0,020 \mu\text{g}/\text{dm}^3$  należała do najniższych z obserwowanych.

Stężenie miedzi było dosyć zróżnicowane w kolejnych latach. Po okresie dość znacznych wartości stężenia w Łebie w latach 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  $2,0 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ , a następnie zmniejszyło i od 2016 roku utrzymuje się na poziomie  $0,50$ - $0,78 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ . Stężenia miedzi w opadzie na stacji Puszcza Borecka były bardziej zmienne z roku na rok na przestrzeni wielolecia i zmieniały się w zakresie od  $2,28 \mu\text{g}/\text{dm}^3$  (2006 rok) do  $0,51 \mu\text{g}/\text{dm}^3$  (2013 rok), w okresie wielolecia zachowując tendencję spadkową. W latach 2015-2020 kształtowały się na w miarę jednakowym poziomie ok.  $1,02 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ . W kolejnych dwóch latach obserwowano nieznaczny wzrost stężenia. Począwszy od roku 2016 stężenie Cu w opadzie w rejonie Puszczy Boreckiej było wyższe niż na stacji nadmorskiej, przez pierwszych 5 lat o  $0,31 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ , a w 2022 roku różnica wzrosła do  $0,71 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ .

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. 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 najwyższego obserwowanego na tej

stacji, wynoszącego w 2012 roku  $7 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ . W latach 2011-2012 poziom cynku w wodzie opadowej na stacji Puszcza Borecka był wyższy niż w Łebie, w kolejnym roku niższy (najniższa średnia roczna w wieloleciu, wynosząca  $3,53 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ ), a w latach 2014-2015 stężenia metalu na obu stacjach były mniej więcej jednakowe. W kolejnych latach wartości stężenia cynku w opadzie w rejonie Puszczy Boreckiej wzrosły i utrzymują się na poziomie wyższym niż w Łebie, a w rejonie nadmorskim zmalały. W 2022 roku stężenie na stacji Puszcza Borecka wzrosło do wartości najwyższej w okresie badań ( $7,47 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ ) i było wyższe niż w Łebie o  $5,46 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ .

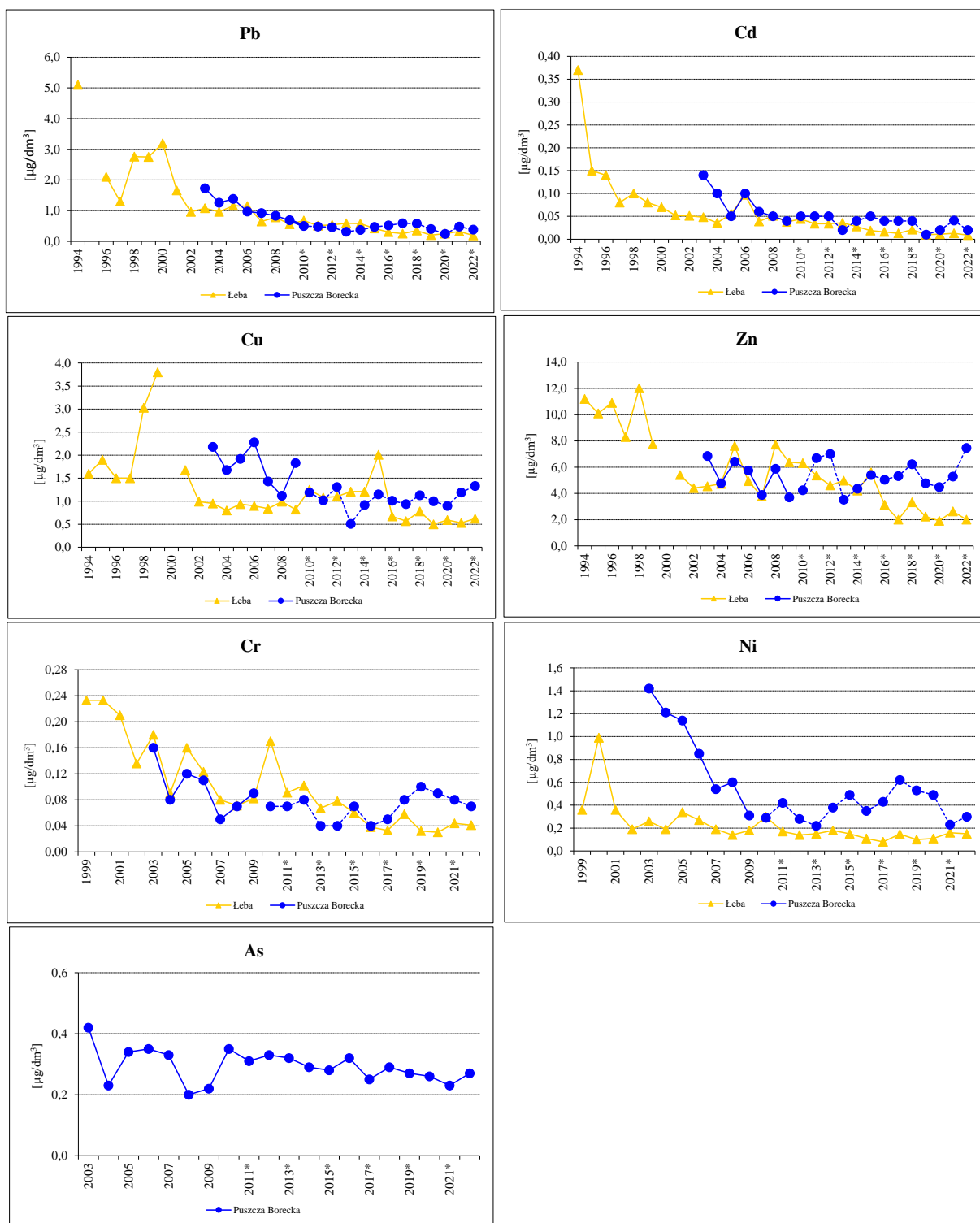
Do roku 2007 obserwowano spadkową tendencję stężenia chromu na stacjach Łeba i Puszcza Borecka. W latach 2007-2009 poziom chromu w Łebie wynosił ok.  $0,08 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ , po czym w 2010 r. wzrósł do  $0,17 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ , czyli do wartości wyższej niż w 2007 r., a następnie zmniejszył się do ok.  $0,1 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ . W następnych latach stężenie Cr na stacji nadmorskiej malało, przy niewielkich wahaniach z roku na rok, i w ciągu ostatnich czterech lat utrzymywało się na poziomie najniższym w okresie badań w zakresie  $0,030$ - $0,044 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ . Na stacji Puszcza Borecka w latach 2007-2009 stężenie chromu w opadach nieznacznie wzrosło, po czym zmalało. Po roku 2010 wartości stężenia Cr na stacji nadmorskiej malały, ale aż do roku 2014 były wyższe niż w rejonie Puszczy Boreckiej. 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 od 2017 roku utrzymywała się na poziomie wyższym niż w Łebie, a w następnym na obu stacjach zmalało, osiągając w miarę jednakowy poziom. W latach 2016-2019 stężenie chromu na stacji Puszcza Borecka wzrastało, a następnie zaczęło maleć. Poczawszy od 2017 roku stężenie Cr na stacji Puszcza Borecka było wyższe niż w Łebie. W 2022 roku stężenie tego metalu w opadzie w rejonie Puszczy Boreckiej było o ok.  $0,03 \mu\text{g}/\text{dm}^3$  wyższe niż w rejonie nadmorskim.

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  $1,42 \mu\text{g}/\text{dm}^3$  w 2003 roku do ok.  $0,30 \mu\text{g}/\text{dm}^3$  w latach 2009-2010. Również w kolejnych latach kształtowało się na poziomie wyższym niż na stacji nadmorskiej, wykazywało też wyraźniejszą zmienność z roku na rok w zakresie  $0,22$ - $0,49 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ . W Łebie od maksimum w 2000 roku, wynoszącego  $0,99 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ , stężenie Ni w wodzie opadowej zmniejszyło się w 2001 roku i od tej pory przez cały czas, z niewielkimi wahaniem z roku na rok, utrzymuje się na podobnym, ale coraz niższym poziomie, wynoszącym średnio  $0,18 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ . Stężenie niklu na stacji Puszcza Borecka po osiągnięciu minimum w roku 2013, wynoszącego  $0,22 \mu\text{g}/\text{dm}^3$  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, w 2022 roku nieznacznie wzrosło i było o  $0,15 \mu\text{g}/\text{dm}^3$  wyższe niż w rejonie nadmorskim.

Najwyższe stężenie arsenu w wodzie opadowej, z pomiarów prowadzonych tylko na stacji Puszcza Borecka, odnotowano w 2003 roku ( $0,42 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ ), czyli w roku rozpoczęcia pomiarów As na tej stacji. Po okresie niższego stężenia w latach 2008-2009, wynoszącego ok.  $0,2 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ , poziom podniósł się w 2010 roku do wartości z roku 2006 ( $0,35 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ ), i w kolejnych latach utrzymywał się w granicach  $0,23$ - $0,35 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ . W 2022 roku stężenie arsenu w opadzie wyniosło  $0,27 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ .

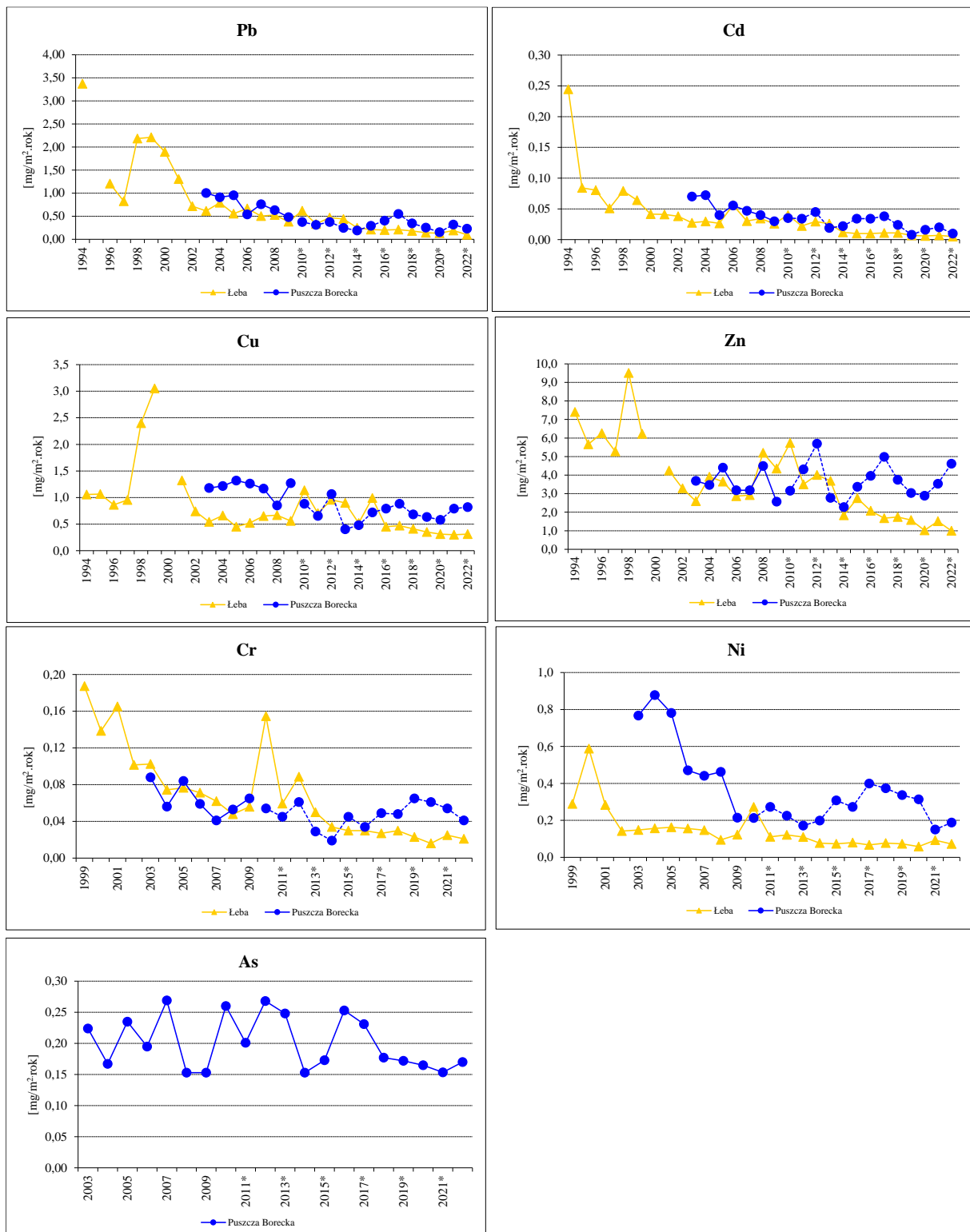
Wartości stężenia metali ciężkich na stacji nadmorskiej w 2022 roku utrzymywały się na poziomie najniższych z dotychczas obserwowanych, a w przypadku ołowiu i kadmu – były najniższe z obserwowanych.





Rysunek 18. Stężenie metali ciężkich w opadach atmosferycznych w rejonach badań tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2022

Uwaga: 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 1994-2022

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

Tabela 14. Stężenie (a) i mokra depozycja (b) metali ciężkich w wodzie opadowej na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Łebie i Puszczy Boreckiej w latach 1994-2022

a)

Rok	Łeba							Rok	Puszcza Borecka								
	h	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Ni		h	Pb	Cd	Cu	Zn	As	Cr	Ni	Hg
	mm	stężenie roczne [ $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ]							mm	stężenie roczne [ $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ]							[ $\text{ng}/\text{dm}^3$ ]
1994	660,9	5,10	0,370	1,60	11,20	x	x	1994	739,7	x	x	x	x	x	x	x	x
1995	560,5	-	0,150	1,90	10,10	x	x	1995	699,1	x	x	x	x	x	x	x	x
1996	574,2	2,10	0,140	1,50	10,90	x	x	1996	494,1	x	x	x	x	x	x	x	x
1997	635,9	1,30	0,080	1,50	8,30	x	x	1997	611,0	x	x	x	x	x	x	x	x
1998	791,7	2,76	0,100	3,03	12,01	x	x	1998	749,2	x	x	x	x	x	x	x	x
1999	803,6	2,75	0,080	3,80	7,75	0,233	0,36	1999	653,1	x	x	x	x	x	x	x	x
2000	594,3	3,19	0,070	-	-	0,233	0,99	2000	571,8	x	x	x	x	x	x	x	x
2001	786,6	1,66	0,052	1,68	5,40	0,210	0,36	2001	756,5	x	x	x	x	x	x	x	x
2002	746,0	0,96	0,051	0,99	4,41	0,136	0,19	2002	654,4	x	x	x	x	x	x	x	x
2003	569,6	1,08	0,048	0,95	4,55	0,180	0,26	2003	580,4	1,73	0,140	2,18	6,85	0,42	0,16	1,42	
2004	826,5	0,96	0,036	0,80	4,73	0,090	0,19	2004	723,9	1,26	0,100	1,68	4,78	0,23	0,08	1,21	25
2005	478,6	1,16	0,055	0,94	7,62	0,160	0,34	2005	690,2	1,38	0,050	1,92	6,42	0,34	0,12	1,14	20
2006	579,3	1,15	0,097	0,90	4,94	0,123	0,27	2006	557,3	0,97	0,100	2,28	5,75	0,35	0,11	0,85	15
2007	775,2	0,65	0,039	0,84	3,77	0,080	0,19	2007	827,2	0,92	0,060	1,43	3,89	0,33	0,05	0,54	77
2008	674,2	0,78	0,051	0,99	7,72	0,071	0,14	2008	760,8	0,83	0,050	1,12	5,88	0,20	0,07	0,60	46
2009	681,7	0,56	0,038	0,82	6,38	0,082	0,18	2009	695,7	0,69	0,040	1,83	3,70	0,22	0,09	0,31	70
2010	909,0	0,68	0,044	1,25	6,31	0,170	0,30	2010*	743,4	0,50	0,050	1,19	4,24	0,35	0,07	0,29	10
2011	652,1	0,51	0,034	1,08	5,37	0,091	0,17	2011*	643,9	0,48	0,050	1,02	6,69	0,31	0,07	0,42	30
2012	868,4	0,54	0,034	1,10	4,62	0,102	0,14	2012*	813,0	0,46	0,050	1,31	7,00	0,33	0,08	0,28	43
2013	740,2	0,59	0,036	1,21	4,98	0,067	0,15	2013*	786,2	0,31	0,020	0,51	3,53	0,32	0,04	0,22	41
2014	433,1	0,58	0,028	1,21	4,22	0,078	0,18	2014*	522,4	0,37	0,040	0,92	4,36	0,29	0,04	0,38	8
2015	493,2	0,42	0,019	2,01	5,60	0,060	0,15	2015*	623,7	0,47	0,050	1,15	5,41	0,28	0,07	0,49	7
2016	663,4	0,30	0,016	0,67	3,14	0,038	0,11	2016*	784,8	0,52	0,040	1,01	5,05	0,32	0,04	0,35	3,1
2017	832,9	0,25	0,013	0,57	2,01	0,033	0,08	2017*	935,7	0,59	0,040	0,94	5,32	0,25	0,05	0,43	5,8
2018	523,5	0,35	0,021	0,78	3,33	0,058	0,15	2018*	601,3	0,58	0,040	1,13	6,23	0,29	0,08	0,62	2,4
2019	704,1	0,20	0,010	0,50	2,24	0,032	0,10	2019*	635,8	0,40	0,010	1,00	4,78	0,27	0,10	0,53	1,9
2020	528,6	0,25	0,011	0,59	1,92	0,030	0,11	2020*	643,0	0,24	0,020	0,90	4,49	0,26	0,09	0,49	10,1
2021	574,1	0,32	0,013	0,53	2,63	0,044	0,16	2021*	667,4	0,48	0,041	1,19	5,29	0,23	0,08	0,23	5,8
2022	497,8	0,19	0,009	0,62	2,01	0,041	0,15	2022*	617,9	0,38	0,020	1,33	7,47	0,27	0,07	0,30	3,5

Objaśnienia: 'x' – brak pomiarów, '-' - niepełna seria roczna (<75% wartości), uniemożliwiająca wyliczenie średniej.

b)

Rok	Łeba							Rok	Puszcza Borecka								
	h	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Ni		h	Pb	Cd	Cu	Zn	As	Cr	Ni	Hg
	mm	ładunek roczny [mg/m <sup>2</sup> ]							mm	ładunek roczny [mg/m <sup>2</sup> ]							[µg/m <sup>2</sup> ]
1994	660,9	3,37	0,24	1,06	7,40	x	x	1994	739,7	x	x	x	x	x	x	x	x
1995	560,5	-	0,08	1,06	5,66	x	x	1995	699,1	x	x	x	x	x	x	x	x
1996	574,2	1,21	0,08	0,86	6,26	x	x	1996	494,1	x	x	x	x	x	x	x	x
1997	635,9	0,83	0,05	0,95	5,28	x	x	1997	611,0	x	x	x	x	x	x	x	x
1998	791,7	2,19	0,08	2,40	9,51	x	x	1998	749,2	x	x	x	x	x	x	x	x
1999	803,6	2,21	0,06	3,05	6,23	0,187	0,289	1999	653,1	x	x	x	x	x	x	x	x
2000	594,3	1,90	0,04	-	-	0,138	0,588	2000	571,8	x	x	x	x	x	x	x	x
2001	786,6	1,31	0,04	1,32	4,25	0,165	0,283	2001	756,5	x	x	x	x	x	x	x	x
2002	746,0	0,72	0,04	0,74	3,29	0,101	0,142	2002	654,4	x	x	x	x	x	x	x	x
2003	569,6	0,62	0,03	0,54	2,59	0,103	0,148	2003	580,4	1,00	0,07	1,18	3,69	0,22	0,088	0,767	
2004	826,5	0,79	0,03	0,66	3,91	0,074	0,157	2004	723,9	0,91	0,07	1,22	3,47	0,17	0,056	0,878	18,3
2005	478,6	0,56	0,03	0,45	3,65	0,077	0,163	2005	690,2	0,95	0,04	1,32	4,40	0,24	0,084	0,781	13,5
2006	579,3	0,67	0,06	0,52	2,86	0,071	0,156	2006	557,3	0,54	0,06	1,26	3,18	0,20	0,059	0,471	7,8
2007	775,2	0,50	0,03	0,65	2,92	0,062	0,147	2007	827,2	0,76	0,05	1,17	3,18	0,27	0,041	0,441	61,4
2008	674,2	0,53	0,03	0,67	5,20	0,048	0,094	2008	760,8	0,63	0,04	0,85	4,49	0,15	0,053	0,462	35,5
2009	681,7	0,38	0,03	0,56	4,35	0,056	0,123	2009	695,7	0,48	0,03	1,27	2,57	0,15	0,065	0,214	48,8
2010	909,0	0,62	0,04	1,14	5,74	0,155	0,273	2010*	743,4	0,37	0,04	0,88	3,15	0,26	0,054	0,213	7,3
2011	652,1	0,33	0,02	0,70	3,50	0,059	0,111	2011*	643,9	0,31	0,03	0,65	4,31	0,20	0,045	0,273	19,2
2012	868,4	0,47	0,03	0,96	4,01	0,089	0,122	2012*	813,0	0,37	0,05	1,06	5,69	0,27	0,061	0,225	34,8
2013	740,2	0,44	0,03	0,90	3,69	0,050	0,110	2013*	786,2	0,25	0,02	0,40	2,77	0,25	0,029	0,172	32,0
2014	433,1	0,25	0,01	0,52	1,83	0,034	0,077	2014*	522,4	0,19	0,02	0,48	2,28	0,15	0,019	0,199	2,9
2015	493,2	0,21	0,01	0,99	2,76	0,030	0,073	2015*	623,7	0,29	0,03	0,72	3,37	0,17	0,045	0,308	4,1
2016	663,4	0,20	0,01	0,45	2,08	0,030	0,080	2016*	784,8	0,41	0,03	0,79	3,96	0,25	0,034	0,273	2,4
2017	832,9	0,21	0,01	0,47	1,68	0,027	0,067	2017*	935,7	0,55	0,04	0,88	4,98	0,23	0,049	0,399	5,4
2018	523,5	0,18	0,01	0,41	1,74	0,030	0,077	2018*	601,3	0,35	0,02	0,68	3,75	0,18	0,048	0,374	1,5
2019	704,1	0,14	0,01	0,35	1,58	0,023	0,073	2019*	635,8	0,25	0,01	0,63	3,04	0,17	0,065	0,337	1,2
2020	528,6	0,13	0,01	0,31	1,02	0,016	0,058	2020*	643,0	0,16	0,02	0,58	2,89	0,17	0,061	0,314	6,5
2021	574,1	0,19	0,01	0,30	1,51	0,025	0,093	2021*	667,4	0,32	0,02	0,79	3,53	0,15	0,054	0,150	3,9
2022	497,8	0,10	0,01	0,31	1,00	0,021	0,072	2022*	617,9	0,23	0,01	0,82	4,61	0,17	0,041	0,188	2,1

Objaśnienia:

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 r. próbki miesięczne zlewane z dwutygodniowych; 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

Biorąc pod uwagę wyniki badań z obu stacji należy zauważyć, że stężenia i ładunki wszystkich metali ciężkich były niższe niż w początkowym okresie badań, poza cynkiem na stacji Puszcza Borecka, w przypadku którego w porównaniu do wartości z 2003 roku wzrosło zarówno stężenie (o 9%) jak i ładunek (o 25%).

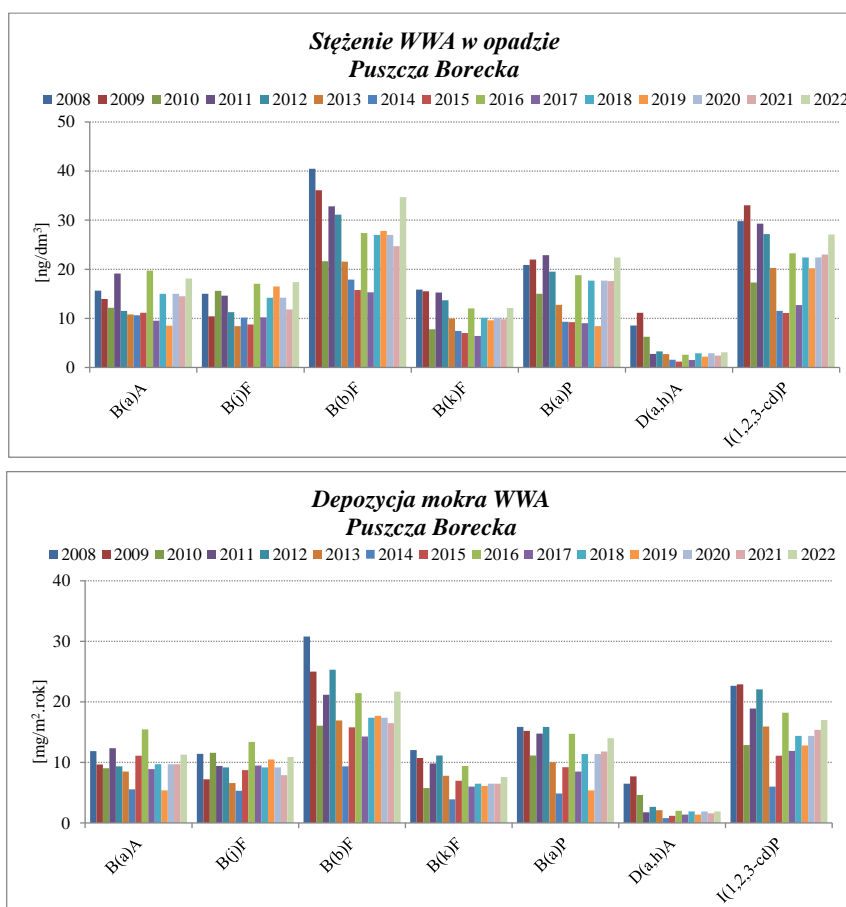
Analizując lata 2010-2022 należy brać pod uwagę różnicę w metodyce pomiarów na obu stacjach - od 2010 roku na stacji Puszcza Borecka metale ciężkie oznaczane są w opadach całkowitych, podczas gdy na stacji nadmorskiej metale ciężkie oznaczane są niezmiennie w próbkach opadu mokrego.

## 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 [10].

W największych ilościach w opadach występował benzo(b)fluoranten), następnie indeno(1,2,3-cd)piren, benzo(a)piren i benzo(j)fluoranten. Najmniejsze udziały w depozycji sumy WWA miały benzo(k)fluoranten i dibenzo(a,h)antracen. Jest to obraz podobny do obserwowanego w całym wieloleciu 2008-2022. Stężenie sumy WWA oznaczanych w opadach osiągnęło w roku 2022 wartość większą niż rok wcześniej o 30% i od średniej z okresu 2008-2021 o 34%. Stężenia badanych WWA (poza dibenzo(a,h)antracenem) były w roku 2022 wyższe od średniej okresu 2008-2021. Względne różnice wyniosły od -12% dla dibenzo(a,h)antracenu do 53% dla benzo(a)pirenu. Dla pozostałych substancji były większe o 19-53%.

Roczna depozycja sumy WWA była w roku 2022 o 22% większa niż rok wcześniej (wskutek zwiększenia stężeń badanych składników) i o 15% większa od wartości uśrednionej w okresie 2008-2021. Wartości depozycji badanych WWA były większe od średnich z lat 2008-2021 dla wszystkich badanych związków, poza dibenzo(a,h)antracenem, a względne różnice pomiędzy depozycją w roku 2022 a średnią z wielolecia wyniosły od -25% dla dibenzo(a,h)antracenu do 22% dla benzo(a)antracenu i 26% dla benzo(a)pirenu. 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 2008-2022

Tabela 15. Stężenie WWA w opadach atmosferycznych i mokra depozycja WWA na stacji Puszcza Borecka w latach 2008-2022

Rok	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
	średnie stężenie roczne, ng/dm <sup>3</sup>														
benzo(a)antracen, B(a)A	15,6	14,0	12,2	19,1	11,5	10,8	10,6	11,1	19,7	9,5	5,8	8,5	15,0	14,5	18,1
benzo(j)fluoranten, B(j)F	15,0	10,4	15,6	14,6	11,3	8,4	10,2	8,7	17,1	10,2	8,5	16,5	14,2	11,8	17,4
benzo(b)fluoranten, B(b)F	40,5	36,1	21,6	32,8	31,1	21,6	17,9	15,8	27,4	15,3	12,7	27,8	27,0	24,7	34,7
benzo(k)fluoranten, B(k)F	15,8	15,5	7,8	15,2	13,7	9,9	7,5	7,0	12,0	6,4	5,2	9,6	10,1	9,8	12,1
benzo(a)piren, B(a)P	20,9	22,0	15,0	22,9	19,5	12,8	9,3	9,2	18,8	9,0	6,1	8,4	17,7	17,6	22,4
dibenzo(a,h)antracen, D(a,h)A	8,5	11,1	6,3	2,7	3,3	2,7	1,6	1,2	2,6	1,5	1,2	2,2	2,9	2,4	3,1
indeno(1,2,3)piren, I(1,2,3-cd)P	29,8	33,1	17,3	29,3	27,2	20,3	11,5	11,1	23,2	12,7	10,7	20,2	22,4	23,0	27,1
suma WWA	144,9	147,4	95,7	135,2	116,5	91,7	70,8	64,2	120,8	64,6	50,3	93,1	109,4	103,8	135,0

Rok	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
	ładunek roczny, µg/m <sup>2</sup>														
benzo(a)antracen, B(a)A	11,9	9,7	9,0	12,3	9,4	8,5	5,5	11,1	15,5	8,9	3,5	5,4	9,7	9,7	11,3
benzo(j)fluoranten, B(j)F	11,4	7,2	11,6	9,4	9,2	6,6	5,3	8,7	13,4	9,5	5,1	10,5	9,2	7,9	10,9
benzo(b)fluoranten, B(b)F	30,8	25,0	16,1	21,2	25,3	16,9	9,3	15,8	21,5	14,3	7,6	17,7	17,4	16,5	21,7
benzo(k)fluoranten, B(k)F	12,0	10,7	5,8	9,8	11,1	7,8	3,9	7,0	9,4	6,0	3,1	6,1	6,5	6,5	7,6
benzo(a)piren, B(a)P	15,9	15,2	11,2	14,8	15,9	10,0	4,9	9,2	14,7	8,5	3,7	5,4	11,4	11,8	14,0
dibenzo(a,h)antracen, D(a,h)A	6,5	7,7	4,7	1,8	2,7	2,1	0,8	1,2	2,0	1,4	0,7	1,4	1,9	1,6	1,9
indeno(1,2,3)piren, I(1,2,3-cd)P	22,7	22,9	12,9	18,9	22,1	15,9	6,0	11,1	18,2	11,9	6,5	12,8	14,4	15,4	17,0
suma WWA	110,2	102,1	71,1	87,2	94,7	72,1	37,0	64,2	94,7	60,5	30,2	59,2	70,3	69,3	84,5

## 7. Depozycja zanieczyszczeń do podłoża w 2022 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 [13]. 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. Mokrą depozycję jonu wodorowego obliczano na podstawie wartości pH opadów.

Roczne wartości mokrego ładunku jonu wodorowego (rysunek 16 na stronie 49; tabela 16 na stronie 64) wyniosły w 2022 roku od 3,1 mgH<sup>+</sup>/m<sup>2</sup> w Jarczewie, 3,7 mgH<sup>+</sup>/m<sup>2</sup> w Łebie i na stacji Puszcza Borecka do 31,8 mgH<sup>+</sup>/m<sup>2</sup> na stacji wysokogórskiej.

W roku 2022 mokra depozycja siarki siarczanowej, kolejnego składnika mającego istotny wpływ na zakwaszenie podłoża, wyniosła od 0,14-0,20 na stacjach nizinnych do 1,30 gS/m<sup>2</sup>·rok na Śnieżce. Mokra depozycja azotu azotanowego zmieniała się w zakresie od 0,17-0,20 na stacjach nizinnych do 1,32 gN/m<sup>2</sup>·rok na stacji wysokogórskiej.

Mokra depozycja jonów wodorowych, siarczanowych i azotanowych w nizinnych rejonach badań była w 2022 roku niższa niż w średnio w wieloleciu (1994-2021), na stacji wysokogórskiej niższa w przypadku jonów wodorowych a wyższa dla tlenowych związków siarki i azotu.

W rejonach badania tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w 2022 roku wartości depozycji całkowitej najważniejszych związków zakwaszających wyniosły: depozycji siarki w związkach tlenowych [gS/m<sup>2</sup>·rok]: od 0,22 (Puszcza Borecka) do 1,57 (Śnieżka), depozycji azotu w związkach tlenowych [gN/m<sup>2</sup>·rok]: od 0,33 (Łeba) do 1,50 (Śnieżka), depozycji jonu wodorowego [mgH<sup>+</sup>/m<sup>2</sup>·rok]: od 6,4 (Puszcza Borecka) do 46,5 (Śnieżka).

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 oraz w regionie wysokogórskim i nadmorskim, natomiast w rejonie środkowo-wschodnim azot trafiał do podłoża przede wszystkim pod postacią suchej depozycji. Jony wodorowe w regionie wysokogórskim i północno-wschodnim pojeziernym docierały do podłoża częściej w postaci depozycji mokrej niż suchej, a w regionie nadmorskim i w Jarczewie, sucha depozycja H<sup>+</sup> przeważała nad mokrą.

W 2022 roku udziały mokrej depozycji w depozycji całkowitej były następujące: siarki w związkach tlenowych - od 55% w Łebie, 59% w Jarczewie, do 74% w Puszczy Boreckiej i 83% na Śnieżce, azotu w związkach tlenowych - od 40 % w Jarczewie, 52% w Łebie i 53% w Puszczy Boreckiej do 88% na Śnieżce, natomiast depozycja mokra jonu wodorowego stanowiła od 30% całkowitej depozycji w Jarczewie, 38% w Łebie, do 58% w rejonie Puszczy Boreckiej i 68% na Śnieżce.

W tabeli 17 (na stronach 69-72) zamieszczono dane o rocznych wartościach suchej, mokrej i całkowitej depozycji siarki, azotu tlenowego i jonów wodorowych w latach 1994- 2022, zilustrowane również na wykresach. Na rysunku 21 (na stronie 65) przedstawiono bezwzględne wartości suchej i mokrej depozycji tlenowych związków siarki i azotu oraz jonu wodorowego, a na rysunku 22 (na stronie 66) - udziały suchej i mokrej depozycji związków zakwaszających w depozycji całkowitej we wszystkich rejonach badań tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w kolejnych latach monitoringu.



Tabela 16. Stężenie i depozycja mokra jonów wodorowych na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2022

Rok	Jarczew	Śnieżka	Łeba	Puszcza Borecka	Rok	Jarczew	Śnieżka	Łeba	Puszcza Borecka
	stężenie jonów wodoru $\mu\text{g}/\text{dm}^3$					ładunek jonów wodoru $\text{mg}/\text{m}^2$ rok			
1994	28,7	50,1	40,0	41,7	1994	25,06	59,30	26,44	30,84
1995	37,3	50,7	35,4	34,7	1995	20,80	72,00	19,84	24,24
1996	30,9	48,7	30,0	34,7	1996	17,43	49,64	17,23	17,13
1997	23,9	54,0	24,5	16,2	1997	14,73	68,36	15,58	9,91
1998	25,5	57,2	25,0	18,6	1998	18,31	71,09	19,79	13,95
1999	21,4	42,3	19,5	21,9	1999	14,28	45,21	15,67	14,29
2000	24,6	34,8	22,9	35,5	2000	14,26	35,70	13,61	20,29
2001	18,7	27,8	19,6	18,9	2001	12,63	34,98	15,42	14,29
2002	18,4	26,8	20,9	16,0	2002	10,31	33,41	15,59	10,50
2003	15,9	23,5	19,3	15,5	2003	7,00	17,81	10,99	8,98
2004	24,4	28,4	21,3	19,5	2004	13,70	29,42	17,60	14,05
2005	23,2	26,9	26,3	17,0	2005	11,33	34,24	12,52	11,50
2006	19,3	34,2	18,7	16,8	2006	10,36	36,72	10,99	9,40
2007	19,6	33,2	20,1	14,0	2007	11,02	42,25	15,58	11,10
2008	14,2	31,4	20,6	17,2	2008	9,43	30,88	13,79	13,20
2009	8,9	22,6	12,9	13,2	2009	6,14	27,31	8,79	10,30
2010	10,4	31,7	13,4	11,1	2010	7,51	41,72	12,18	8,00
2011	12,6	28,8	7,8	11,4	2011	7,38	26,72	5,09	7,30
2012	11,8	36,6	12,7	16,5	2012	6,91	36,90	11,03	13,69
2013	15,2	32,5	14,3	12,8	2013	8,77	39,70	10,58	10,10
2014	13,2	36,4	10,8	10,5	2014	7,76	32,29	4,68	5,43
2015	12,1	31,6	10,1	9,7	2015	6,38	28,35	4,98	6,14
2016	8,9	32,3	8,1	7,1	2016	5,69	32,15	5,37	5,54
2017	7,1	34,0	7,0	6,4	2017	5,41	42,76	5,83	6,00
2018	5,6	30,2	7,3	7,6	2018	2,93	28,42	3,82	4,60
2019	5,1	31,5	7,7	3,8	2019	2,68	34,77	5,42	2,40
2020	3,9	33,3	6,6	5,4	2020	2,56	35,02	3,49	3,50
2021	6,1	32,3	6,6	3,8	2021	3,92	39,85	3,79	2,50
2022	5,5	31,9	7,4	5,8	2022	3,05	31,55	3,69	3,70

Uwaga: wartość średnią roczną wyznaczono ze średniego rocznego stężenia jonów wodorowych obliczonego jako średnia arytmetyczna ważona z dobowych obliczeniowych stężeń jonów wodorowych - wagą dobową sumą opadów;  $\text{pH} = -\log c_{\text{H}}$ , gdzie:  $c_{\text{H}}$  - stężenie jonów wodorowych.

W Jarczewie miał miejsce powolny spadek suchej i mokrej depozycji siarki (rys. 21), przy czym stale bardzo powoli wzrasta stosunek mokrej do całkowitej depozycji tego składnika w tym rejonie badań (rys. 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 (rys. 21), znów – od 2018 roku – widoczna jest przewaga depozycji suchej nad mokrą.



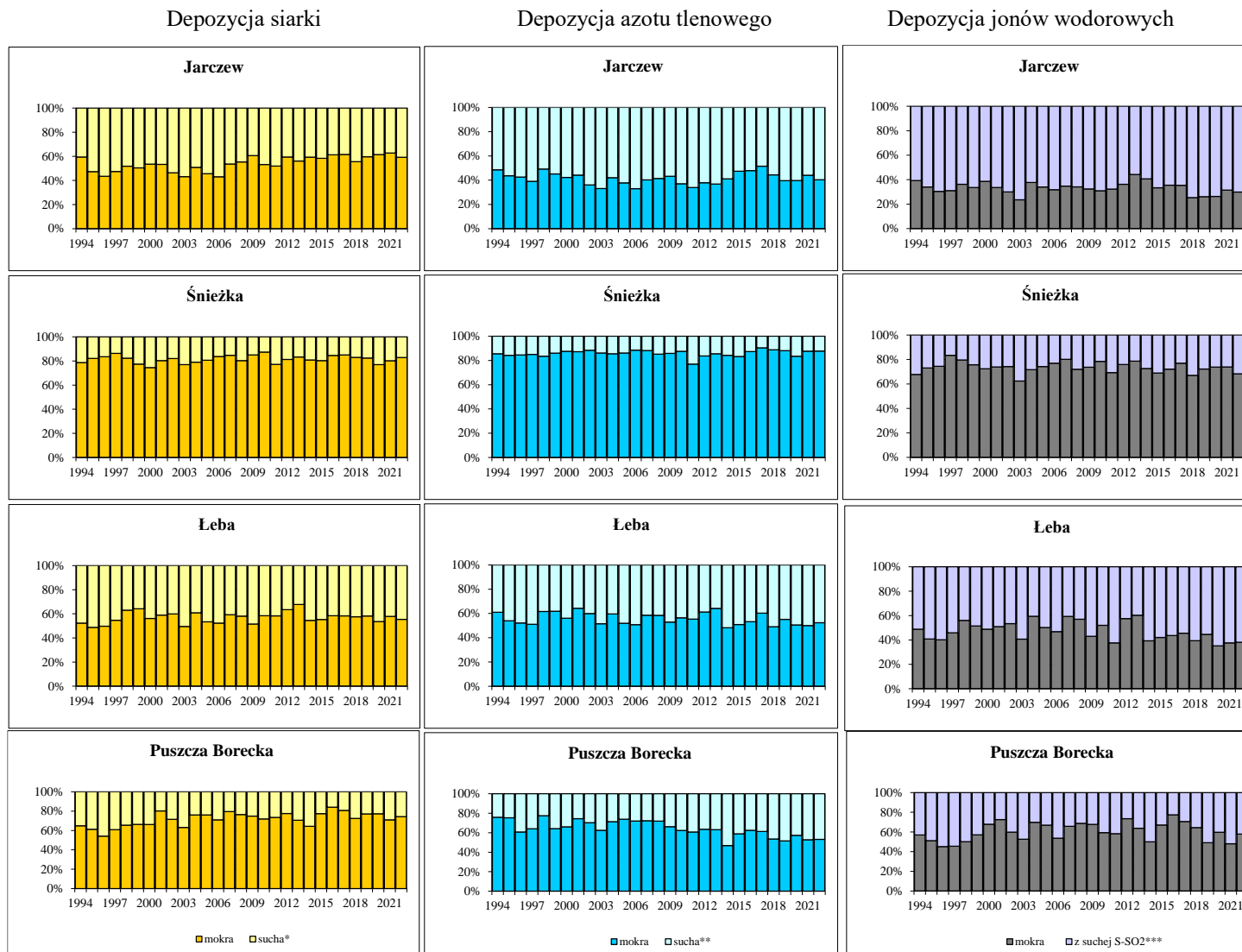


Rysunek 21. Sucha i mokra depozycja siarki, azotu tlenowego i jonów wodorowych w rejonach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2022

Objaśnienia:

\* S-SO<sub>2</sub> oraz S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (aerozol), \*\* N-NO<sub>2</sub> oraz N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (aerozol), \*\*\* z depozycji SO<sub>2</sub>.

Na stacji Puszcza Borecka od 2017 roku wyniki suchej depozycji na podstawie pomiarów automatycznych SO<sub>2</sub> i NO<sub>2</sub>.



Rysunek 22. Udział suchej i mokrej depozycji w depozycji całkowitej w rejonach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2022

Objaśnienia: \* S-SO<sub>2</sub> oraz S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (aerozol), \*\* N-NO<sub>2</sub> oraz N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (aerozol), \*\*\* z depozycji SO<sub>2</sub>; na stacji Puszcza Borecka od 2017 roku sucha depozycja na podstawie pomiarów automatycznych SO<sub>2</sub> i NO<sub>2</sub>.

Na Śnieżce sucha depozycja związków siarki, azotu i jonu wodorowego powoli, ale konsekwentnie malała, a następnie utrzymywała się na w miarę stałych poziomach, choć ostatnio znów zaczęła wzrastać. Depozycja mokra prezentuje przebieg chaotyczny zmienny z roku na rok w przypadku wszystkich trzech głównych związków zakwaszających. I tak w okresie 1994-2000 nastąpił spadek mokrego ładunku związków siarki oraz jonu wodorowego. Następnie obserwowano powolny wzrost do roku 2010, w 2011 roku spadek i w 2012 roku nieznaczny wzrost. Po tym okresie w latach 2012-2015 nastąpiło ustabilizowanie mokrej depozycji związków siarki, następnie wzrost, ustabilizowanie się w latach 2016-2019 na trochę wyższym poziomie, w 2020 roku spadek do jednej z najniższych wartości w całym okresie obserwacyjnym, a w następnych dwóch latach nieznaczny wzrost. Wartości mokrej depozycji jonów wodorowych po roku 2012 wykazywały zmienność z roku na rok, w ostatnim roku nieznacznie obniżyły się w porównaniu z rokiem poprzednim. W przebiegu wieloletnim zauważalny jest jednak wyraźny spadek mokrego ładunku jonów wodorowych tylko w początkowym okresie badań, a od ok. 2006 roku zmienność z roku na rok, lecz bez widocznej tendencji spadkowej. Mokra depozycja związków azotu wykazywała przez wiele lat znaczną zmienność z roku na rok przy zachowaniu tendencji spadkowej na przestrzeni wielolecia. Po znacznym spadku do wartości najniższej w roku 2011 zanotowano wzrost mokrych ładunków azotu tlenowego, a następnie stabilizację w latach 2012-2015, w kolejnych dwóch latach ponownie znaczny wzrost do maksimum w roku 2017 do wartości dwukrotnej w stosunku do okresu stabilizacji z lat 2012-2015. Po roku 2017 mokra depozycja tlenowych związków azotu z roku na rok zmniejszała się do roku 2020, by znów wzrosnąć w ostatnich dwóch latach.

Na stacji nadmorskiej w Łebie depozycja sucha i mokra związków siarki i jonu wodorowego w ciągu wielolecia nieznacznie, ale konsekwentnie malała. W ostatnich dziewięciu latach (2014-2022) zanotowano przewagę depozycji suchej nad mokrą 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. 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 największe zmiany, przejawiające się spadkiem mokrego ładunku wszystkich trzech zanieczyszczeń obserwowano na początku wielolecia, tj. w latach 1994-1997. W następnych latach występowała bardzo nieznaczna zmienność z roku na rok, nie pozwalająca na uchwycenie jednoznacznej tendencji. Intensywniejszy spadek depozycji mokrej wszystkich trzech elementów obserwowano w okresie 2012-2014, w 2014 roku do wartości najniższych z wcześniej obserwowanych. Po tym okresie ustabilizował się poziom ładunku mokrego związków siarki i jonów wodorowych, by w 2019 i 2020 roku osiągnąć spadek do wartości najniższych w historii badań na tej stacji. Natomiast poziom mokrego ładunku tlenowych związków azotu w latach 2015-2017 wzrastał, a od 2018 roku zmniejszył się i kształtował na poziomie sprzed ostatniego wzrostu. Depozycja sucha tlenowych związków siarki i – analogicznie – jonów wodorowych pochodzących z suchej depozycji SO<sub>2</sub>, bardzo nieznacznie malała na przestrzeni wielolecia, osiągając wartości najniższe w ostatnich pięciu latach, z minimum w 2016 roku. Z kolei sucha depozycja jonów azotanowych od 2006 roku powoli, ale konsekwentnie zwiększała się, co jest wynikiem wzrostu stężenia związków azotu w powietrzu. Przez ostatnie cztery lata mokre ładunki wszystkich trzech zanieczyszczeń pozostają na w miarę jednakowym poziomie.

Na przestrzeni kolejnych lat w Jarczewie udziały suchej i mokrej depozycji siarki w depozycji całkowitej siarki (rysunek 22) wynosiły ok. 50% (średni udział depozycji mokrej w całkowitej w okresie 1994-2022 wyniósł 54%). Podobne jak w Jarczewie udziały suchej

i mokrej depozycji siarki w depozycji całkowitej obserwowano na stacji w Łebie, gdzie niewielką przewagą miała depozycja mokra nad suchą (ok. 57%).

Zdecydowana przewaga depozycji mokrej związków siarki nad depozycją suchą występowała w okresie wielolecia na stacjach: Puszcza Borecka oraz szczególnie na Śnieżce. Na tych stacjach odpowiednio ok. 72% i 82% 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 (55%) nad suchą (45%), 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, z wyjątkiem roku 2014, kiedy podobnie jak w przypadku Łeby w depozycji całkowitej związków azotu dominowała depozycja sucha. Na Śnieżce tlenowe związki azotu docierały przez cały okres badań głównie w postaci depozycji mokrej, która stanowiła średnio ok. 86% depozycji całkowitej.

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 wyłącznie lata z przewagą depozycji suchej jonów wodorowych. Na stacji Puszcza Borecka depozycja mokra jonu wodorowego stanowi średnio ok. 60%, choć pięciokrotnie, w latach 1996, 1997, 2014, 2019 i 2021, przeważała depozycja sucha nad mokrą. Natomiast na stacji wysokogórskiej, podobnie jak związki siarki i azotu, jony wodorowe dostarczane były przede wszystkim w postaci depozycji mokrej (74%).

Na żadnej stacji sieci, poza Śnieżką, mokra depozycja jonów wodorowych nie przekracza obecnie granicy  $20 \text{ mg/m}^2\text{rok}$ , stanowiącej wg naukowców o degradowaniu gleb wrażliwych na zakwaszanie [2][6] (tabela 17). Po uwzględnieniu depozycji suchej, roczne wartości depozycji całkowitej jonu wodorowego tylko na Śnieżce przekraczały próg krytyczny  $20 \text{ mgH}^+/\text{m}^2$ . Od lat na żadnej spośród czterech omawianych stacji nie został przekroczony krytyczny poziom całkowitej depozycji jonu wodorowego, wynoszący  $60 \text{ mgH}^+/\text{m}^2\text{rok}$ , powyżej którego powstaje zagrożenie degradacji mchów epifitycznych [2][6]. Sytuacje takie miały miejsce tylko na początku analizowanego wielolecia, ostatni raz w Jarczewie w 1995 roku i na Śnieżce w 1998 roku.

W 2022 roku tylko na Śnieżce został przekroczony próg krytyczny, dla mokrych ładunków jonów siarczanowych dostarczanych do podłoża, wynoszący  $0,5 \text{ g/m}^2$ , którego przekroczenie może prowadzić do zakwaszenia wód powierzchniowych.

Tabela 17. Depozycja tlenowych związków siarki, tlenowych związków azotu i jonów wodorowych w rejonach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce

Objaśnienia: \* S-SO<sub>2</sub> oraz S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (aerozol), \*\* N-NO<sub>2</sub> oraz N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (aerozol), \*\*\* z depozycji SO<sub>2</sub>.  
Uwaga: Depozycja roczna jest obliczana jako suma wartości miesięcznych.

W tabeli zacieniono wartości krytyczne depozycji:

- siarki, wynoszącej **0,5 gS/m<sup>2</sup>rok**, powyżej której następuje zakwaszenie wód powierzchniowych (kolor żółty),
- jonów wodorowych, wynoszącej **20 mgH<sup>+</sup>/m<sup>2</sup>rok**, której przekroczenie prowadzi do degradacji gleb wrażliwych na zakwaszenie (kolor jasnoniebieski) oraz wynoszącej **60 mgH<sup>+</sup>/m<sup>2</sup>rok**, której przekroczenie prowadzi do degradacji mchów epifitycznych (kolor ciemnoniebieski).

Jarczew									
Rok	Depozycja siarki			Depozycja azotu tlenowego			Depozycja jonów wodorowych		
	sucha*	mokra	całkowita	sucha**	mokra	całkowita	z suchej S-SO <sub>2</sub> ***	mokra	całkowita
	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>
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

Śnieżka									
Rok	Depozycja siarki			Depozycja azotu tlenowego			Depozycja jonów wodorowych		
	sucha*	mokra	całkowita	sucha**	mokra	całkowita	z suchej S-SO <sub>2</sub> ***	mokra	całkowita
	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>
1994	517,7	1909,6	2427,3	155,9	917,9	1073,8	28,1	59,1	87,2
1995	476,9	2194,1	2671,0	206,5	1101,5	1308,0	26,6	72,3	98,9
1996	317,3	1605,3	1922,6	174,6	951,9	1126,5	17,1	49,8	66,9
1997	242,1	1531,6	1773,7	152,7	865,9	1018,6	13,6	68,6	82,2
1998	312,3	1458,7	1771,0	174,2	878,1	1052,3	18,1	70,8	88,9
1999	252,8	867,2	1120,0	165,1	1018,2	1183,3	14,4	45,0	59,4
2000	241,0	703,6	944,6	157,6	1109,7	1267,3	13,6	35,7	49,3
2001	220,4	900,5	1120,9	150,2	1020,4	1170,6	12,4	35,2	47,6
2002	207,5	945,1	1152,6	142,4	1085,5	1227,9	11,6	33,4	45,0
2003	192,9	645,2	838,1	126,2	785,5	911,7	10,7	17,8	28,5
2004	209,2	790,7	999,9	140,2	828,5	968,7	11,6	29,4	41,0
2005	215,4	898,0	1113,4	149,1	923,3	1072,4	11,9	34,2	46,1
2006	201,1	1038,3	1239,4	128,4	989,7	1118,2	11,0	36,7	47,7
2007	193,8	1072,2	1266,0	127,1	949,1	1076,2	10,5	42,4	52,9
2008	218,6	891,6	1110,2	131,6	754,0	885,6	12,0	30,9	42,9
2009	187,0	1059,4	1246,4	128,0	774,1	902,1	10,0	28,0	38,0
2010	210,8	1459,4	1670,2	139,6	983,5	1123,1	11,5	41,8	53,3
2011	217,3	735,6	952,9	139,9	468,6	608,5	11,9	26,8	38,8
2012	216,3	938,2	1154,5	141,6	728,4	870,0	11,7	37,0	48,7
2013	197,9	986,5	1184,4	129,8	765,4	895,2	10,8	39,7	50,5
2014	220,4	932,7	1153,1	139,6	747,4	887,0	12,1	32,2	44,3
2015	228,5	930,0	1158,5	149,3	745,0	894,3	12,6	28,1	40,7
2016	228,3	1255,2	1483,5	152,9	1049,2	1202,1	12,5	32,2	44,6
2017	235,9	1335,8	1571,7	165,9	1567,5	1733,4	12,8	42,8	55,6
2018	254,2	1239,1	1493,3	170,6	1359,1	1529,7	14,0	28,5	42,5
2019	244,3	1147,2	1391,5	159,5	1173,0	1332,5	13,4	34,9	48,3
2020	228,9	764,2	993,1	155,1	785,2	940,3	12,5	35,1	47,6
2021	255,5	1032,2	1287,7	169,6	1200,2	1369,8	14,1	39,9	54,0
2022	267,6	1299,0	1566,8	184,8	1317,9	1502,7	14,7	31,8	46,5

Łeba									
Rok	Depozycja siarki			Depozycja azotu tlenowego			Depozycja jonów wodorowych		
	sucha*	mokra	całkowita	sucha**	mokra	całkowita	z suchej S-SO <sub>2</sub> ***	mokra	całkowita
	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>
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



<b>Puszcza Borecka</b>									
Rok	Depozycja siarki			Depozycja azotu tlenowego			Depozycja jonów wodorowych		
	sucha*	mokra	całkowita	sucha**	mokra	całkowita	z suchej S-SO <sub>2</sub> ***	mokra	całkowita
	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>
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



## 8. Sytuacja Polski na tle Europy

Polskie stacje, o których mowa w niniejszym *Raporcie*, funkcjonują w ramach europejskiej sieci EMEP.

Szczegółową analizę przebiegów średnich rocznych wartości stężeń większości analizowanych w niniejszym raporcie substancji w latach 1994-2009 zawarto w opracowaniu *Monitoring tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce dla potrzeb EMEP, GAW/WMO i Komisji Europejskiej; Raport syntetyczny 2010* [3], zamieszczonym na stronie internetowej GIOŚ pod adresem: (<https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/maps/measuringstation/E>).

W niniejszym *Raporcie* pominięto aspekt zmienności stężeń substancji w wieloleciu, skupiono się natomiast na rozkładzie przestrzennym wartości w Europie, korzystając z opublikowanych danych EMEP, udostępnionych w postaci *Raportów* przez Chemiczne Centrum Koordynacyjne CCC EMEP. Ponieważ EMEP publikuje dane zebrane z sieci stacji z opóźnieniem dwuletnim, możliwe było odniesienie wyników uzyskanych przez polskie stacje do wartości z roku 2021. Prezentację wyników pomiarów wybranych zanieczyszczeń powietrza i opadów atmosferycznych na stacjach EMEP oparto na dokumentach: Data Report 2021 Particulate matter, carbonaceous and inorganic compounds A.-G. Hjellbrekke EMEP/CCC-Report 1/2023 [11] oraz Heavy metals and POP measurements, 2021 W. Aas i in. , EMEP/CCC-Report 3/2023 [1].

W pierwszym z wymienionych raportów przedstawiono dane o zanieczyszczeniu opadów z 86 stacji i dane ze 127 stacji dotyczące zanieczyszczeń powietrza, łącznie dane z 139 stacji pomiarowych.

Szczegóły dotyczące działalności EMEP w poszczególnych krajach można natomiast znaleźć na stronie internetowej EMEP pod jednym z adresów:

<https://projects.nilu.no/ccc/sitedescriptions/index.html> [31] lub

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

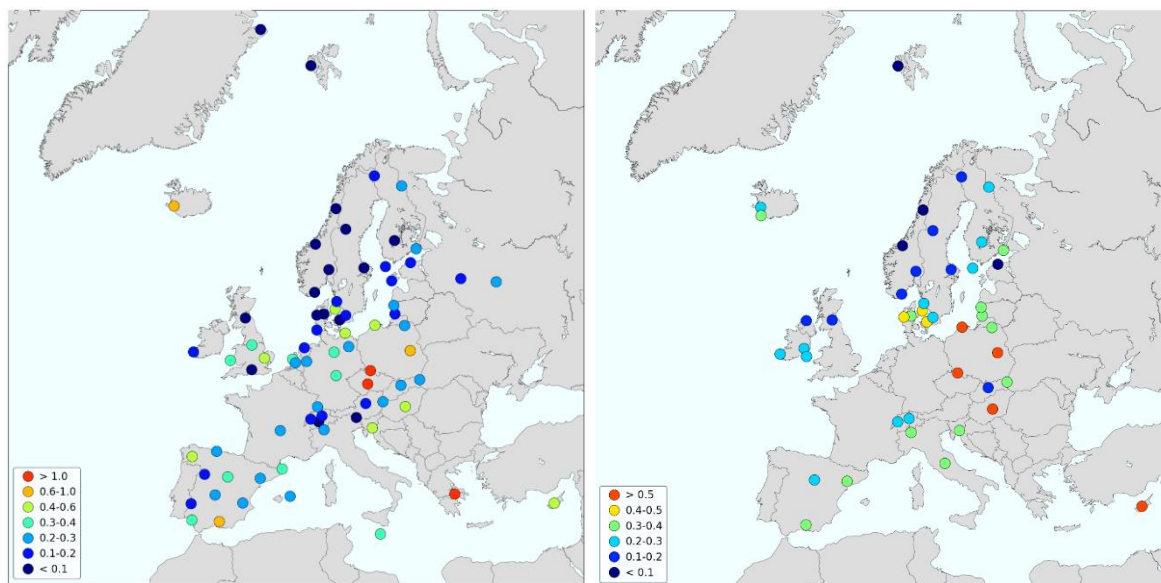
[32]

### 8.1. Zanieczyszczenie powietrza

W 2021 roku najmniejsze stężenia dwutlenku siarki na obszarach pozamiejskich w Europie, reprezentowanych w pomiarach EMEP, odnotowano, podobnie jak w latach poprzednich w Skandynawii (<0,1, 0,1-0,2  $\mu\text{gS}/\text{m}^3$ ), na Grenlandii, Spitsbergenie, na dwóch stacjach brytyjskich oraz punktowo na stacjach alpejskich – szwajcarskiej Jungfrauoch (CH) i austriackiej Vorhegg (AT). Nieco wyższe stężenia (0,2-0,4  $\mu\text{gS}/\text{m}^3$ ) notowano na wielu stacjach europejskich: od Półwyspu Iberyjskiego, poprzez stacje francuskie, szwajcarskie, austriackie, niemieckie, także na Słowacji oraz na stacjach położonych na wschód od Polski. 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), a także na stacji greckiej. Pozostałe dwie polskie stacje znalazły się w grupach z ponadprzeciętnym stężeniem dwutlenku siarki: Łeba w grupie 0,4-0,6  $\mu\text{gS}/\text{m}^3$  a Jarczew - 0,6-1,0  $\mu\text{gS}/\text{m}^3$  (rys. 23).

Dwutlenek siarki  $SO_2$

Siarczan  $SO_4^{2-}$

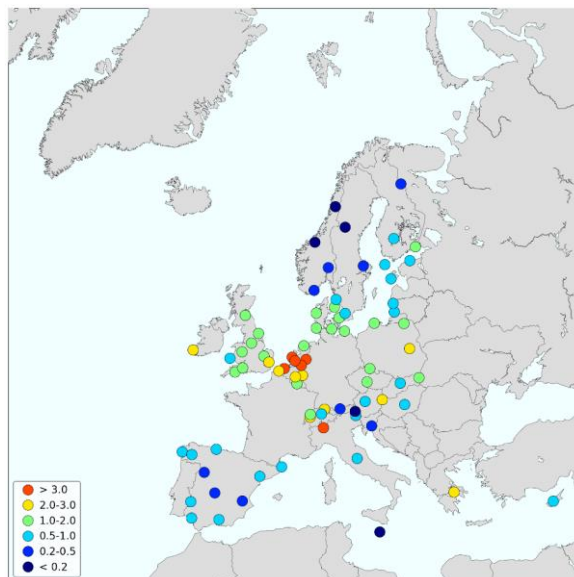


Rysunek 23. Rozkład przestrzenny stężenia tlenowych związków siarki w powietrzu [ $\mu\text{gS}/\text{m}^3$ ] na stacjach EMEP w 2021 roku. Źródło: [11]

Stężenia siarczanów w aerozolu w 2021 roku najmniejsze były na Półwyspie Skandynawskim ( $<0,1$ ,  $0,1-0,2 \mu\text{gS}/\text{m}^3$ ), na Spitsbergenie, na stacji estońskiej, nieco wyższe na Wyspach Brytyjskich, czy na stacji słowackiej. Stosunkowo niskie wartości ( $0,3-0,4 \mu\text{gS}/\text{m}^3$ ) notowano na wielu stacjach europejskich: od Półwyspu Iberyjskiego, poprzez Półwysep Apeniński i Bałkański, Słowację, Polskę (Puszcza Borecka) i Litwę. Najwyższe w domenie EMEP wartości ( $>0,5 \mu\text{gS}/\text{m}^3$ ) siarczanów w aerozole odnotowano w 2021 roku na Śnieżce, w Jarczewie i w Łebie, oraz na Cyprze (rys. 23).

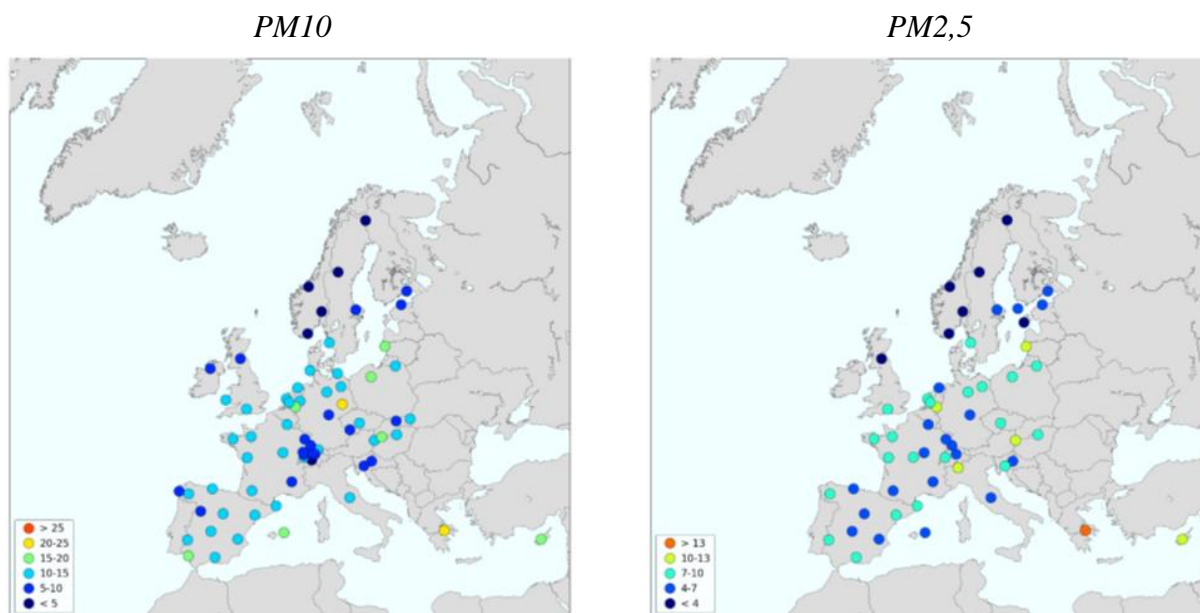
Do najważniejszych składników aerozolu atmosferycznego, poza jonami siarczanowymi, należą jony azotanowe. Podobnie jak jony siarczanowe, jony azotanowe powstają w wyniku utleniania swych gazowych prekursorów, w tym wypadku  $\text{NO}_x$ .

#### Dwutlenek azotu $\text{NO}_2$



Rysunek 24. Rozkład przestrzenny stężenia dwutlenku azotu w powietrzu [ $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ ] na stacjach EMEP w 2021 roku. Źródło: [11]

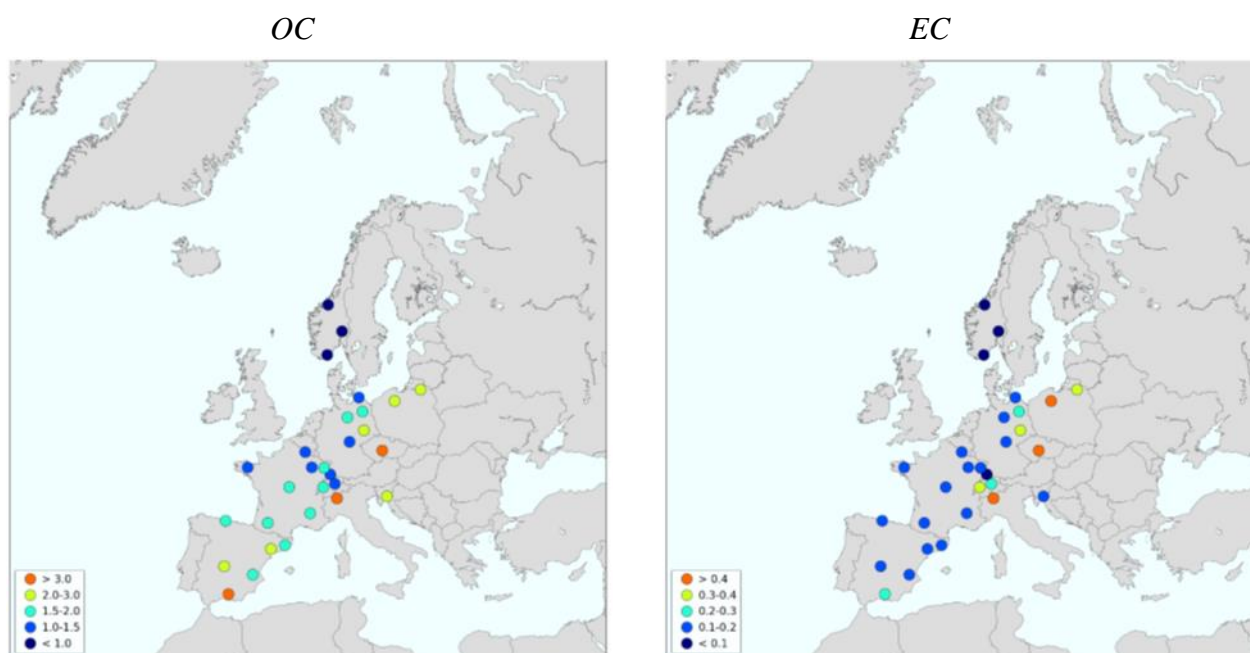
Najniższe stężenia dwutlenku azotu w powietrzu obserwowano, jak w latach poprzednich, na stacjach skandynawskich, na Malcie i na alpejskiej stacji Sonnblick (AT) ( $<0,2 \mu\text{gN}/\text{m}^3$ ). Stężenia z grupy tych niższych ( $<0,2$  oraz  $0,2-0,5 \mu\text{gN}/\text{m}^3$ ) notowano na Półwyspie Iberyjskim, czy na pozostałych stacjach alpejskich. Wyższe wartości ( $0,5-1,0 \mu\text{gN}/\text{m}^3$ ) wystąpiły na pozostałych stacjach Półwyspu Iberyjskiego, a także we Włoszech, czy na Cyprze. 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. Grupa stacji o ponadprzeciętnym stężeniu N- $\text{NO}_2$  objęła Jarczew ( $2,37 \mu\text{gN}/\text{m}^3$ ). Najwyższe wartości ( $>3,0 \mu\text{gN}/\text{m}^3$ ) występowały w 2021 roku na stacjach Beneluxu; do tej grupy dołączyła stacja włoska (rys. 24).



Rysunek 25. Rozkład przestrzenny stężenia pyłu zawieszonego  $PM_{10}$  i  $PM_{2,5}$  w powietrzu [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] na stacjach EMEP w 2021 roku. Źródło: [11]

Największe stężenia pyłu zawieszonego  $PM_{10}$  na obszarach pozamiejskich (rys. 25) w 2021 roku nie przekraczały  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i notowano je w Grecji oraz w Niemczech ( $20-25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Puszcza Borecka i Zielonka mieściły się w 2021 roku w grupie stacji o stężeniach przeciętnych - rzędu  $15-20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  stacja w Zielonce, i poniżej przeciętnych  $10-15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  - stacja Puszcza Borecka. Podobne jak w Polsce stężenia  $PM_{10}$  odnotowano w 2021 roku także na większości 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  $PM_{10}$  z kontynentu.

Rozkład stężenia pyłu  $PM_{2,5}$  w Europie (rys. 25) jest bardzo zbliżony do rozkładu pyłu  $PM_{10}$ . Najniższe wartości, poniżej  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , występowały przede wszystkim na Półwyspie Skandynawskim – w Szwecji, Norwegii i Finlandii, a także w Estonii i w Wielkiej Brytanii. Najwyższe stężenia pyłu  $PM_{2,5}$  ( $>13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) w rejonach badań EMEP zmierzono na stacji greckiej. Stacje polskie Puszcza Borecka i Zielonka znalazły się w grupie stacji z przeciętnymi wartościami ( $7-10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), podobnie jak wiele stacji europejskich zlokalizowanych w zachodniej i centralnej części kontynentu.



Rysunek 26. Rozkład przestrzenny stężenia węgla organicznego OC i węgla elementarnego EC [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] w pyle zawieszonym PM<sub>2,5</sub> na stacjach EMEP w 2021 roku. Źródło: [11]

Stężenie węgla organicznego i węgla elementarnego w pyle zawieszonym PM<sub>2,5</sub> od kilku lat bada się na coraz większej liczbie stacji EMEP. W 2021 roku najniższe wartości stężenia (dla OC  $< 1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) obserwowano, jak w poprzednich latach, na Półwyspie Skandynawskim (rys. 26). Wartości na stacjach polskich Puszcza Borecka i Zielonka w 2021 roku mieściły się w przedziale stężeń wyższych niż przeciętne ( $2,0\text{-}3,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Do stacji z najwyższymi Europie ( $>3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) wartościami średniego rocznego stężenia OC w pyle zawieszonym PM<sub>2,5</sub> należały stacje czeska CZ03 Košetice, hiszpańska ES07 Viznar i znajdująca się w tej samej linii włoska IT04 Ispra.

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), niskie ( $0,1\text{-}0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) na wielu stacjach Półwyspu Iberyjskiego, Francji i Niemiec, natomiast najwyższe – przekraczające  $0,40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  – na stacji czeskiej, włoskiej i polskiej stacji Zielonka. Stacja Puszcza Borecka zanotowała wartość nieco powyżej przeciętnej z grupy  $0,3\text{-}0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Pomiary zawartości metali ciężkich w powietrzu i opadach atmosferycznych włączono do programu EMEP w 1999 roku. W 2021 roku łącznie funkcjonowało 68 stacji realizujących pomiary metali ciężkich, z czego 45 badało zawartość metali ciężkich zarówno w powietrzu jak i w opadach. W 2021 roku dane o metalach ciężkich do bazy EMEP raportowało łącznie 20 krajów.

Najniższe stężenia większości metali ciężkich zarówno w powietrzu jak i w opadzie występują w północnej Skandynawii. Najwyższe stężenia w powietrzu i opadzie priorytetowych metali ciężkich (ołów, kadm) i metali drugiego priorytetu (arsen, nikiel, miedź i chrom) obserwowane są ogólnie we wschodniej Europie. Stężenia nie są jednak rozłożone równomiernie i dla poszczególnych elementów zaznaczają się ogniska w innych częściach Europy, np. w punktach pomiarowych zlokalizowanych nad Kanałem La Manche, na Cyprze, czy we Włoszech..

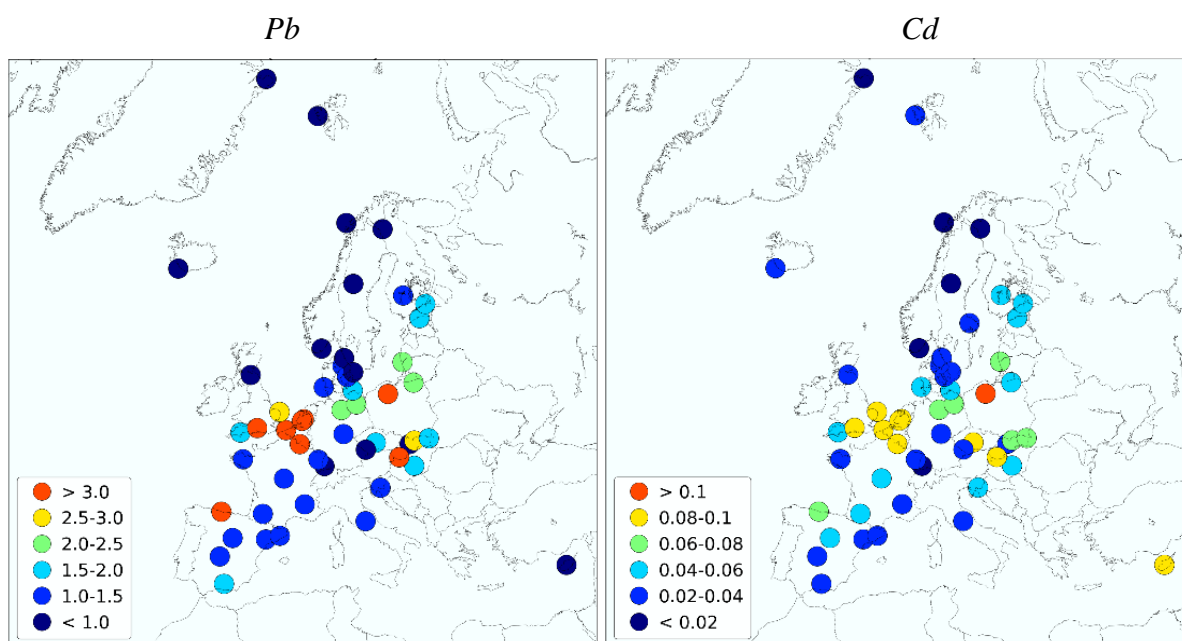


Rozkład stężenia wybranych metali ciężkich w pyłe zawieszonym w 2021 roku przedstawiono na rysunku 27.

W przypadku ołowiu i kadmu strefa najniższych stężeń ciągnie się 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.

Najniższe stężenia ołowiu w aerozolu ( $<1 \text{ ng/m}^3$ ) występowały, podobnie jak w poprzednich latach, na prawie wszystkich stacjach Półwyspu Skandynawskiego, a także na Grenlandii, Islandii, Spitsbergenie, a także na Cyprze. Najwyższe stężenia Pb w powietrzu ( $> 3 \text{ ng/m}^3$ ) w 2021 roku odnotowano w rejonie Kanału La Manche, w skupisku w którym znalazła się stacja brytyjska, francuskie i trzy stacje Beneluksu: dwie holenderskie i jedna belgijska, ponadto na stacji hiszpańskiej położonej nad Zatoką Biskajską, a także jednej stacji słowackiej i polskiej stacji Zielonka. Wartości zanotowane na drugiej z polskich stacji Puszcza Borecka mieściły się w grupie z wartościami przeciętnymi ( $2,0\text{-}2,5 \text{ ng/m}^3$ ).

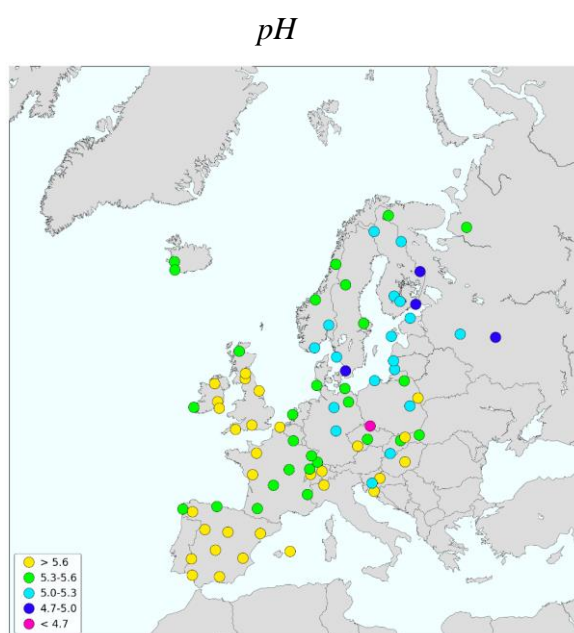
Rozkład stężenia kadmu w powietrzu na europejskiej sieci EMEP charakteryzuje się, podobnie jak inne badane substancje, najniższymi wartościami ( $<0,01 \text{ ng/m}^3$ ) w Norwegii i Szwecji na Półwyspie Skandynawskim, na Grenlandii, nieco wyższymi ( $0,01\text{-}0,02$  i  $0,02\text{-}0,03 \text{ ng/m}^3$ ) na pozostałych stacjach Półwyspu Skandynawskiego i w Islandii, na stacjach duńskich, oraz stacjach położonych w środkowej i południowo-zachodniej Europie, m.in. francuskich, hiszpańskich, szwajcarskiej i włoskiej. Najwyższe stężenia Cd w aerozolu ( $>0,1 \text{ ng/m}^3$ ) dotyczyły w 2021 roku polskiej stacji w Zielonce. Puszcza Borecka znalazła się w grupie o stężeniach przeciętnych ( $0,04\text{-} 0,06 \text{ ng/m}^3$  – Zielonka).



Rysunek 27. Rozkład przestrzenny stężenia wybranych metali ciężkich w pyłe zawieszonym [ $\text{ng/m}^3$ ] na stacjach EMEP w 2021 roku. Źródło: [1]

## 8.2. Zanieczyszczenie opadów

Na rysunku 28 przedstawiono rozkład pH opadów atmosferycznych w europejskich rejonach EMEP. W 2021 roku rozkład pH w Europie nie wykazywał specjalnych prawidłowości. Najniższe wartości pH ( $\text{pH} < 4,7$ ), podobnie jak w poprzednich latach, obserwowano na stacji wysokogórskiej na Śnieżce (4,49). Na pozostałych polskich stacjach odczyn opadów był zbliżony do notowanego na stacjach w regionie – w Łebie taki, jak na innych stacjach w basenie Morza Bałtyckiego, podobnie w Jarczewie, a na stacji Puszcza Borecka odczyt opadów był zbliżony do obserwowanego na stacjach w zachodniej części kontynentu, w północnej Hiszpanii, Francji, większości stacji niemieckich, czy słowackich. Podobne wartości pH odnotowano na wielu stacjach Półwyspu Skandynawskiego, Islandii, czy na północy Wysp Brytyjskich. Najwyższe wartości pH opadów (powyżej 5,6) obserwowane były na pozostałych stacjach Półwyspu Iberyjskiego i Wielkiej Brytanii, na północy Francji, niektórych stacjach w Hiszpanii, we Francji, Wielkiej Brytanii, na Węgrzech czy w Słowenii.

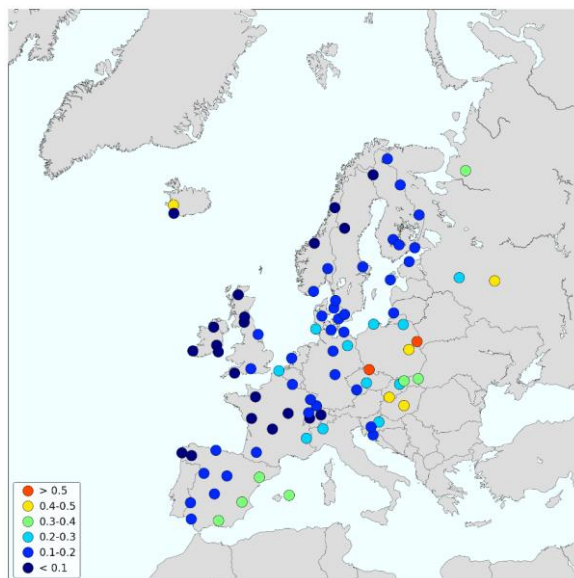


Rysunek 28. Rozkład przestrzenny wartości pH opadów atmosferycznych na stacjach EMEP w 2021 roku. Źródło: [11]

W przypadku jonów siarczanowych w opadzie atmosferycznym (wartości skorygowane ze względu na obecność aerozolu morskowego) w 2021 roku najniższe stężenia siarczanów w opadzie obserwowano na Półwyspie Skandynawskim, na Wyspach Brytyjskich i na jednej z dwóch stacji należących do Islandii, na większości stacji francuskich oraz na stacjach położonych w północno-zachodniej Hiszpanii ( $< 0,1 \text{ mgS/dm}^3$ ). Na przeważającym obszarze Europy w pasie ciągnącym się z północnego wschodu na południowy zachód od Skandynawii, poprzez Niemcy, Francję do Hiszpanii przeważały w 2021 roku opady o stosunkowo niskiej zawartości siarczanów ( $0,1-0,2 \text{ mgS/dm}^3$ ).

Najwyższe wartości ( $> 0,5 \text{ mgS/dm}^3$ ) obserwowano na Śnieżce ( $0,84 \text{ mgS/dm}^3$ ) i na białoruskiej stacji Wysokoe ( $1,84 \text{ mgS/dm}^3$ ) niższe ( $0,4-0,5 \text{ mgS/dm}^3$ ) w Jarczewie ( $0,41 \text{ mgS/dm}^3$ ), na Węgrzech i jednej ze stacji rosyjskich oraz na drugiej ze stacji islandzkich (rys. 29). Na pozostałych dwóch polskich stacjach EMEP położonych w Polsce północnej stężenia siarczanów w opadzie (wartości skorygowane ze względu na obecność aerozolu morskowego) wynosiły w 2021 roku  $0,22 \text{ mgS/dm}^3$  na stacji Puszcza Borecka i  $0,30 \text{ mgS/dm}^3$  w Łebie (grupa  $0,2-0,3 \text{ mgS/dm}^3$ ).

### Siarczany $SO_4^{2-}$



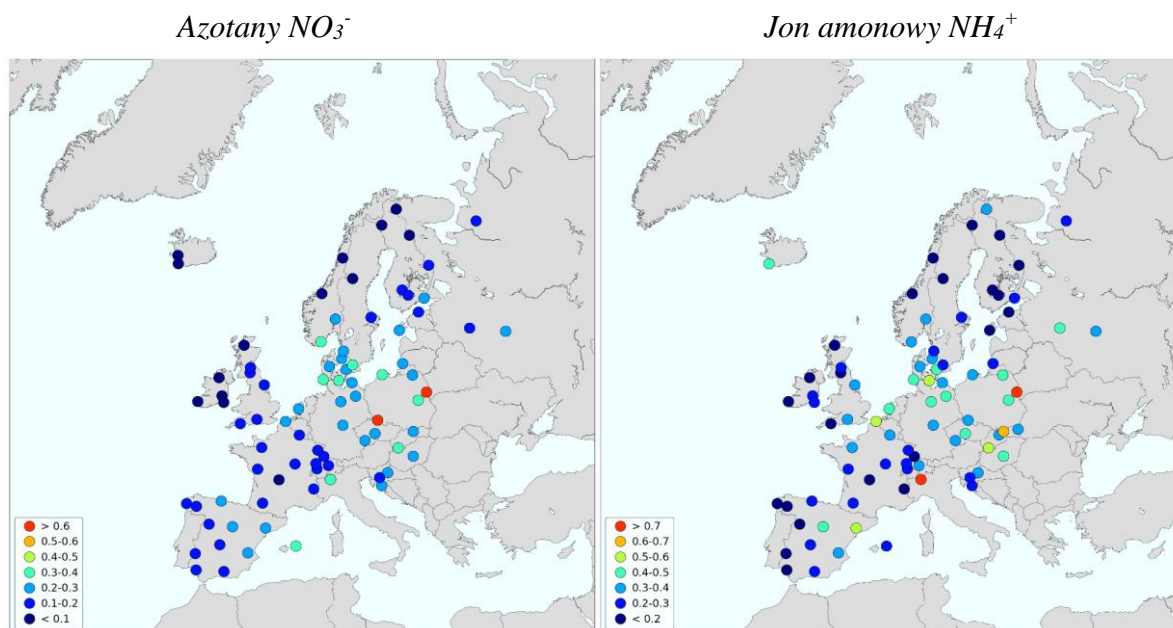
Rysunek 29. Rozkład przestrzenny stężenia jonów siarczanowych w opadach atmosferycznych [ $mgS/dm^3$ ] (wartości skorygowane ze względu na obecność aerozolu morskiego) na stacjach EMEP w 2021 roku. Źródło: [11]

Rozkład przestrzenny stężenia jonów azotanowych w opadach atmosferycznych na stacjach sieci europejskiej (rys. 30) charakteryzował się występowaniem najmniejszych wartości ( $<0,1 mgN/dm^3$ ) na większości stacji nadmorskich zlokalizowanych wzdłuż północnych wybrzeży europejskich - Półwyspu Skandynawskiego i wzdłuż północnych brzegów Wysp Brytyjskich, oraz w Islandii, niskich wartości ( $0,1-0,2 mgN/dm^3$ ) w części stacji hiszpańskich i francuskich, oraz na pozostałych stacjach brytyjskich i skandynawskich. Stacje w Łebie i w Jarczewie znalazły się w grupie stacji o przeciętnych ( $0,3-0,4 mgN/dm^3$ ) stężeniach, a Puszcza Borecka w grupie poniżej wartości przeciętnych ( $0,2-0,3 mgN/dm^3$ ) reprezentowanych najliczniej. Stacja wysokogórska na Śnieżce w 2021 roku charakteryzowała się opadami o najwyższej zawartości azotanów ( $0,97 mgN/dm^3$ ) (grupa  $>0,6 mgN/dm^3$ ) w skali Europy, jednak niższej niż w leżącej tuż przy granicy z Polską stacji białoruskiej BY04 Wysokoe ( $1,83 mgN/dm^3$ ).

Stężenie jonów amonowych zwykle odzwierciedla lokalizację obszarów rolniczych, będących głównym źródłem emisji amoniaku – większe wartości notują stacje położone w takich rejonach. Obraz uzyskany w 2021 roku odbiega od tego schematu. W 2021 roku najwyższe stężenia jonów amonowych ( $>0,7 mgN/dm^3$ ) odnotowano w północnych Włoszech (IT04 Ispra) i na stacji białoruskiej Wysokoe BY04. Bardzo wysokie stężenia jonów amonowych  $>0,6-0,7 mgN/dm^3$  stwierdzono na słowackiej stacji Stara Lesna SK04. Stacje Beneluxu wykazujące zwykle najwyższe wartości stężenia amoniaku znalazły się w 2021 roku w grupie stężeń przeciętnych ( $0,4-0,5 mgN/dm^3$ ) lub nieco powyżej przeciętnych ( $0,5-0,6 mgN/dm^3$ ), podobnie jak stacje duńskie, niektóre niemieckie, czeskie i węgierskie, oraz dwie stacje polskie Puszcza Borecka i Jarczew (obie  $0,49 mgN/dm^3$ ).

Stacje w Łebie i na Śnieżce, lokowały się w 2021 roku w przedziale stężeń poniżej przeciętnej  $0,3-0,4 mgN/dm^3$ . Najniższe stężenia, jak w przypadku większości składników opadów i powietrza, obserwowano na Półwyspie Skandynawskim, w Estonii, w północnej części Wysp Brytyjskich, ale również w północno-zachodniej i zachodniej części Hiszpanii ( $<0,2 mgN/dm^3$ ).

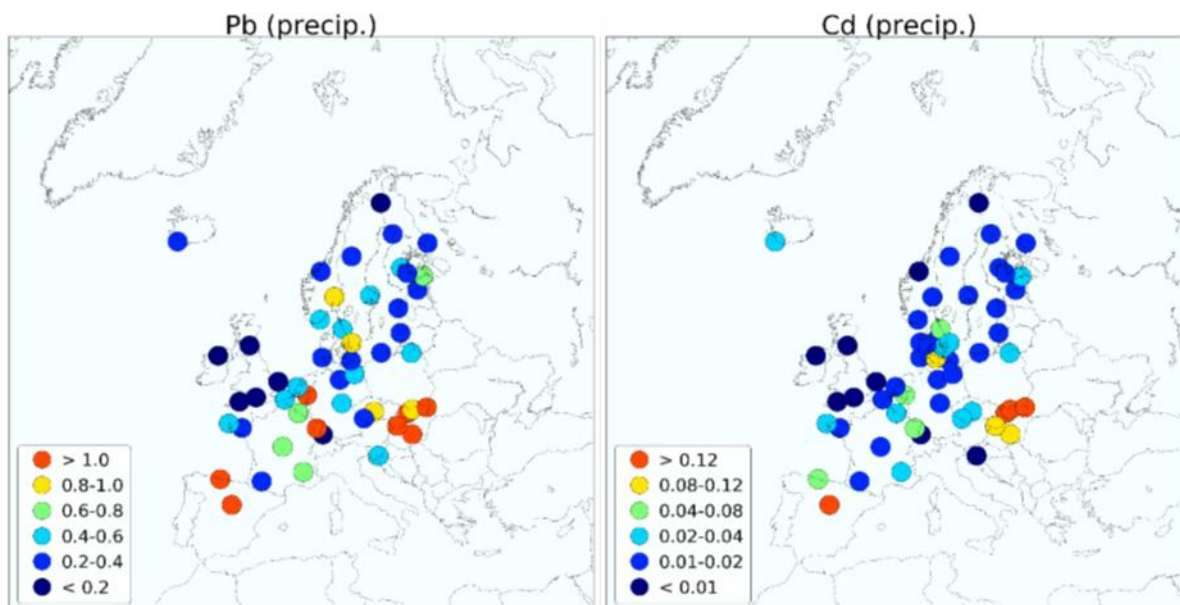




Rysunek 30. Rozkład przestrzenny stężenia związków azotu [ $mgN/dm^3$ ] w opadach atmosferycznych na stacjach EMEP w 2021 roku. Źródło: [11]

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 2021 roku zaprezentowano na rysunku 31.



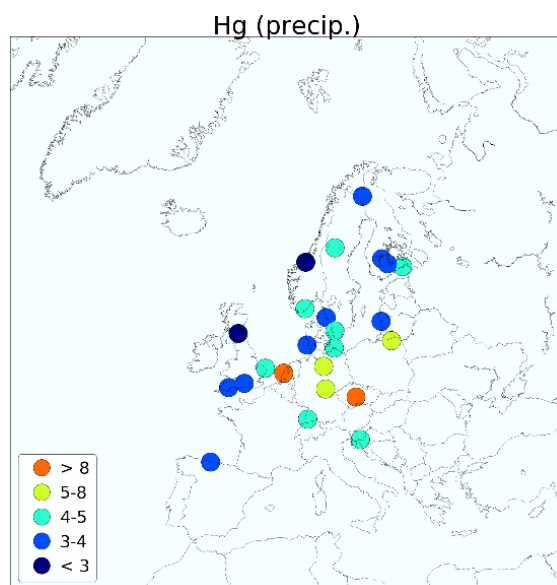
Rysunek 31. Rozkład przestrzenny stężenia wybranych metali ciężkich w opadach atmosferycznych [ $\mu g/dm^3$ ] na stacjach EMEP w 2021 roku. Źródło: [1]

W przypadku wszystkich metali ciężkich w opadzie atmosferycznym obserwowanych w Łebie (Pb  $0,32 \mu g/dm^3$ , Cd  $0,013 \mu g/dm^3$ ) wartości mieściły się w grupie tych z niskimi

wartościami w skali Europy (Pb 0,2-0,4  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ; Cd 0,01-0,02  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ). Nieco wyższe wartości (Pb 0,4-0,6  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ; Cd 0,02-0,04  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ) wystąpiły na stacji Puszcza Borecka (Pb 0,48  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ , Cd 0,0037  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ) i nie odbiegały one od obserwowanych na przeważającej liczbie stacji europejskich. Do rejonów z najwyższym stężeniem ołowiu i kadmu w opadzie należą obszar Hiszpanii (ze stacją ES08, gdzie w 2021 roku średnie roczne stężenie ołowiu w opadzie wyniosło 6,71  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ), a także Słowacji i Węgier oraz, w przypadku ołowiu dodatkowo pojedynczo stacje holenderska i francuska.

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

W Polsce pomiar tego elementu w ramach EMEP realizowany jest tylko na stacji Puszcza Borecka. Zgodnie z zaprezentowanymi danymi (rys. 32) wartości uzyskane na stacji w 2021 roku (5,21  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ) należały do jednych z wyższych (5-8  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ) w Europie.



Rysunek 32. Rozkład przestrzenny stężenia rtęci w opadach atmosferycznych [ $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ] na stacjach EMEP w 2021 roku. Źródło: [1]

## 9. Podsumowanie

Porównanie wyników badań zanieczyszczeń powietrza i opadów atmosferycznych w 2022 roku na tle wielolecia 1994-2021 pozwala 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 2021 roku został przekroczony poziom celu długoterminowego dla ozonu (ustalony na rok 2020) na stacjach w Łebie i na Śnieżce, zarówno dla celów ochrony zdrowia jak i dla ochrony roślin;
- średnie roczne stężenia dwutlenku siarki (SO<sub>2</sub>) utrzymały na wszystkich stacjach tendencję malejącą, osiągając wartości minimalne lub prawie minimalne w wieloleciu;
- średnie roczne stężenia dwutlenku azotu (NO<sub>2</sub>) 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 chlorkami i ozonem; przebieg zmienności poszczególnych elementów w ostatnich latach wskazuje na dominację wartości notowanych na Śnieżce w przypadku dwutlenku siarki i siarczanów oraz azotanów i sumy związków azotanowych;
- stężenie siarczanów wykazywało tendencję malejącą we wszystkich nizinnych rejonach badań, natomiast na Śnieżce od 1997 roku nieznacznie wzrosło; we wszystkich rejonach badań średnie roczne stężenie siarczanów w ostatnim roku badań było mniejsze niż na początku obserwacji;
- średnie roczne stężenie azotu azotanowego (oznaczanego w sumie HNO<sub>3</sub>+NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) wykazywało tendencję wzrostową w okresie wielolecia w rejonie Puszczy Boreckiej, od roku 2008 do roku 2014 do wartości najwyższej ze wszystkich stacji, po czym spektakularnie spadło w roku 2015 i utrzymuje się na poziomie jak w pozostałych rejonach badań, przybierając od 2015 roku wartości niemalże równe z obserwowanymi w Jarczewie; na Śnieżce obserwowano słabą tendencję wzrostową, również w przypadku azotu azotanowego oznaczanego jako pojedynczy składnik, a w Jarczewie i w Łebie niewielką tendencję spadkową;
- średnie roczne stężenie azotu amonowego oznaczanego w postaci sumy NH<sub>3</sub>+NH<sub>4</sub><sup>+</sup> wykazuje wahania roczne, poza stacją wysokogórską, gdzie od 1999 roku utrzymuje się na prawie niezmiennym poziomie; 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;
- wartości średnie roczne stężenia ozonu przyziemnego w całym okresie obserwacji były zbliżone do siebie na stacjach nizinnych i wyższe na stacji górskiej; wykazywały niewielkie zmiany z roku na rok; obserwowana ok. 3-4 letnia cykliczność wahań nadal jest widoczna, w ostatnim roku badań średnie roczne wartości stężenia ozonu w analizowanych rejonach były najniższe z dotychczas obserwowanych na Śnieżce, w Łebie i na stacji Puszcza Borecka, a w Jarczewie należały do najniższych z dotąd obserwowanych;
- w roku 2022 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, która w ostatniej

dekadzie jest coraz słabiej zaznaczona; cechą charakterystyczną ostatnich pięciu-siedmiu lat było utrzymywanie się stężeń na podobnych i najwyższych poziomach w wieloleciu;

- stężenia rtęci gazowej na stacji Puszcza Borecka charakteryzowały się niewielką zmiennością w czasie w okresie 2004–2020 i oscylowały wokół wartości  $1,4 \text{ ng/m}^3$ ; w 2022 roku wartość średnia należała do najmniejszych i wyniosła  $1,3 \text{ ng/m}^3$  (po zmianie metody pomiarowej);
- średnie roczne stężenie pyłu PM<sub>10</sub> na stacji Puszcza Borecka w roku 2022 było mniejsze od średniej z okresu wieloletniego 2005–2021; stężenie pyłu PM<sub>2,5</sub> (wykazując podobne prawidłowości, jak PM<sub>10</sub>) osiągnęło najmniejszą wartość spośród wszystkich uzyskanych w okresie badań od 2009 roku; w raporcie po raz ósmy uwzględniono dane ze stacji Zielonka – stowarzyszonej z EMEP – gdzie średnie roczne stężenie pyłu PM<sub>10</sub> było w 2022 roku nieznacznie wyższe od notowanego w Puszczy Boreckiej, a PM<sub>2,5</sub> – od 2019 roku nieznacznie niższe;
- wybrane metale ciężkie oznaczane w pyłe PM<sub>10</sub> 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, w 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 (2008–2021), stężenie sumy WWA w Puszczy Boreckiej w roku 2022 było mniejsze; odnotowano zmniejszenie średnich rocznych wartości stężenia wszystkich badanych WWA; na stacji w Zielonce również odnotowano spadek stężenia wszystkich WWA, z wyjątkiem dibenzo(a,h)antracenu, którego stężenie znacznie wzrosło (w stosunku do średniej z wielolecia 2015–2021);
- na wszystkich stacjach rok 2022 pod względem ilości opadów był rokiem ocenianym jako suchy – roczne sumy były mniejsze od średniej z lat 1994–2021 odpowiednio o 25% w Łebie, o 11% na Śnieżce, o 8% w Jarczewie i o 7% w Puszczy Boreckiej;
- wieloletni przebieg pH wody opadowej świadczy o utrzymaniu się wzrostowej tendencji wskaźnika pH (spadku kwasowości), poza Śnieżką, gdzie po 2003 roku w zasadzie nie obserwowano takiej tendencji; w nizinnych rejonach badań od 2016 roku średnie roczne wartości pH systematycznie przekraczają pH=5;
- w nizinnych obszarach badań zmianie uległa obserwowana przez wiele lat struktura opadów pod względem częstości pojawiania się opadów z odpowiednich przedziałów pH: pojawiające się dotąd najczęściej opady z grupy pH 4–5 ustąpiły miejsca opadom z pH 5–6; wzrasta również częstość opadów z przedziału pH 6–7, które od 2017 w Jarczewie i od 2019 roku na stacji Puszcza Borecka stanowią drugą z kolei grupę pod względem licznosci; prawidłowość ta dotyczy tylko stacji nizinnych, bowiem w rejonie wysokogórskim począwszy od 2012 roku występują opady wyłącznie z grupy pH >4–5;
- widoczne są wyraźne różnice przebiegu zmienności stężeń zanieczyszczeń w opadzie atmosferycznym i ładunków mokrych tych substancji na przestrzeni wielolecia pomiędzy stacjami nizinnymi a stacją wysokogórską na Śnieżce;
- po roku 2018 obserwowano znaczący spadek stężenia wszystkich obserwowanych składników opadu na stacji wysokogórskiej, do roku 2020, po czym nastąpił znaczny wzrost obejmujący wszystkie składniki opadu;
- we wszystkich rejonach badań ładunki jonów wodorowych dostarczane do podłoża z opadami malały w wieloleciu; na Śnieżce tendencja ta była widoczna w początkowym okresie badań, a następnie wyhamowała i od 2006 roku obserwujemy zmienność ładunków z roku na rok bez wyraźnej tendencji;
- stężenie jonów siarczanowych w opadach malało stopniowo od roku 1994 na stacjach nizinnych; na stacji wysokogórskiej spadek został zahamowany w roku 2000,

po czym po czym obserwowano wahania stężenia z roku na rok przy towarzyszącej tym wahaniom słabej tendencji wzrostowej;

- przebiegi stężeń jonu azotanowego w opadach w większym stopniu niż w przypadku jonu siarczanowego uwidoczniają różnice pomiędzy stacjami nizinnymi a stacją na Śnieżce, gdzie wartości w całym okresie obserwacyjnym były wyższe, a wahaniom z roku na rok towarzyszył wzrost stężenia o ok. 70% w porównaniu z rokiem 1994; na stacjach nizinnych wartości są dużo niższe i 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;
- stężenia metali ciężkich badanych w opadach na stacjach Łeba i Puszcza Borecka mały na przestrzeni wielolecia; w 2022 roku w Łebie notowano najniższe lub prawie najniższe wartości stężenia większości metali ciężkich badanych na tej stacji, a także ich mokrej depozycji; stężenie niklu w opadzie oraz mokra depozycja tego składnika w ciągu całego okresu obserwacyjnego były wyższe na stacji Puszcza Borecka niż w Łebie, a w ostatnich kilku latach wyższe są także wartości stężenia i mokrej depozycji wszystkich pozostałych metali ciężkich; w ciągu ostatnich kilku lat widoczna jest tendencja wzrostowa miedzi i cynku na stacji Puszcza Borecka, w przypadku Zn do wartości nieco wyższej niż w początkach obserwacji;
- w roku 2022 jedynie na stacji wysokogórskiej na Śnieżce został przekroczony próg krytyczny całkowitej depozycji jonów wodorowych do podłoża, wynoszący  $20 \text{ mgH}^+/\text{m}^2\text{rok}$ , co prowadzić może do degradacji gleb wrażliwych na zakwaszenie oraz próg krytyczny dla mokrych ładunków siarki, wynoszący  $0,5 \text{ gS}/\text{m}^2\text{rok}$ , powyżej którego następuje zakwaszenie wód powierzchniowych.

Z badań wynika, że rok 2022 dla większości analizowanych substancji i dla większości stacji był rokiem niskich stężeń i ładunków substancji zakwaszających. Zmiany obserwowane w naszych rejonach badań dotyczące stężeń zanieczyszczeń powietrza i opadów atmosferycznych odzwierciedlają tendencję spadkową emisji dwutlenku siarki, dwutlenku azotu i amoniaku oraz metali ciężkich w Polsce i w Europie.

## Bibliografia

- [1] Aas W., Halvorsen H.L., Hartz W.F., Pfaffhuber K.A., Yttri N.: Heavy metals and POP measurements, 2021, EMEP/CCC-Report 3/2023
- [2] Acid Deposition in the United Kingdom 1992-1994. Fourth Report of the Review Group on Acid Rain, 1997.
- [3] 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/pjp/maps/measuringstation/E>)
- [4] Bogucka M., 2021: Monitoring tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce dla potrzeb EMEP, GAW/WMO i Komisji Europejskiej. Raport Syntetyczny ze stacji EMEP w Polsce za 2020 r.. GIOŚ, Warszawa 2021 (<https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/maps/measuringstation/E>)
- [5] Bogucka M., 2023: Monitoring tła zanieczyszczenia atmosfery na stacjach w Łebie, Jarczewie i na Śnieżce. Raport roczny 2022. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy (praca wykonana na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska).
- [6] Critical Levels of Air Pollutants for the United Kingdom (praca zbiorowa pod kier. M.R. Ashmore), 1996.
- [7] Degórska A., Skotak K., Prządka Z., Syrzycki M. 2023: Monitoring tła zanieczyszczenia atmosfery na Stacji „Puszcza Borecka”. Raport roczny 2022. Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy (praca wykonana na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska).
- [8] Degórska A., Skotak K., Syrzycki M. 2022: Monitoring tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce dla potrzeb EMEP, GAW/WMO i Komisji Europejskiej. Raport syntetyczny 2021. GIOŚ, Warszawa 2022. (<https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/maps/measuringstation/E>)
- [9] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy
- [10] 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.
- [11] Hjellbrekke A.-G., 2023: Data Report 2021. Particulate matter, carbonaceous and inorganic compounds, EMEP/CCC-Report 1/2023.
- [12] Kaczorowska Z., 1962: Opady w Polsce w przekroju wieloletnim. Prace Geograficzne, 33.
- [13] Lehmann J., Saltbones J., Eliassen A., 1986: A Modified Sulphur Budget for Europe for 1990. The Norwegian Meteorological Institute, EMEP/MSC-W Report 3/86.
- [14] Lityński J., 1969: Liczbowa klasyfikacja typów cyrkulacji i typów pogody dla Polski. Prace PIHM, z. 91.
- [15] Lorenc H., Suwalska-Bogucka M., 1995: Tendencje termiczne zim w Polsce jako wskaźnik oceny zmienności klimatu. Wiad. IMGW, 18, 1.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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 ([http://emep.int/publ/reports/2004/assessment\\_2004.html](http://emep.int/publ/reports/2004/assessment_2004.html))
- [19] Pawłowska J., Jankowska A., Pindor T., 2000: Kalendarz typów cyrkulacji atmosferycznej według J. Lityńskiego : 1991-1999, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa: IMGW.

- [20] Rozporządzenie Ministra Środowiska dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. z 2012 r., poz. 1031)
- [21] 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)
- [22] 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)
- [23] Seinfeld J. H., Pandis S.N., 1998: Atmospheric Chemistry and Physics. From Air Pollution to Climate Change. J. Wiley & Sons, Inc., New York.
- [24] Transboundary Acidification, Eutrophication and Ground Level Ozone in Europe in 2009. EMEP Report 1/2011.
- [25] Transboundary Acidification, Eutrophication and Ground Level Ozone in Europe from 1990 to 2004 in support for the review of the Gothenburg Protocol, EMEP Status Report 2006. [EMEP Report 1/2006]
- [26] <https://gawsis.meteoswiss.ch/GAWSIS//#/>
- [27] <http://ebas.nilu.no/>
- [28] <https://projects.nilu.no//ccc/sitedescriptions/>
- [29] <https://www.emep.int/>
- [30] <https://projects.nilu.no/ccc/sitedescriptions/index.html>
- [31] <https://projects.nilu.no/ccc/network/index.html>

## Spis rysunków

Rysunek 1. Lokalizacja stacji monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce .....	5
Rysunek 2. Rozkład częstości (%) kierunków cyrkulacji atmosferycznej w Polsce w 2022 roku na tle wielolecia 1994-2021 i w porównaniu do 2021 roku .....	12
Rysunek 3. Przebieg roczny miesięcznych sum usłonecznienia na stacjach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w 2022 roku na tle przebiegu średniego wieloletniego i w porównaniu do 2021 roku .....	13
Rysunek 4. Przebieg roczny temperatury powietrza na stacjach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w 2022 roku na tle przebiegu średniego wieloletniego i w porównaniu do 2021 roku .....	14
Rysunek 5. Przebieg roczny miesięcznych sum opadów atmosferycznych na stacjach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w 2022 roku na tle przebiegu średniego wieloletniego oraz w porównaniu do roku 2021 .....	15
Rysunek 6. Stężenie podstawowych zanieczyszczeń powietrza na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2022 .....	23
Rysunek 7. Średnie roczne stężenie dwutlenku węgla na stacji Puszcza Borecka w latach 2002-2022 .....	30
Rysunek 8. Średnie roczne stężenie rtęci gazowej na stacji Puszcza Borecka w latach 2004-2022 .....	31
Rysunek 9. Średnie roczne stężenie pyłu zawieszonego PM10 i PM2,5 na stacjach Puszcza Borecka w latach 2005-2022 i Zielonka w latach 2015-2022 .....	33
Rysunek 10. Średnie roczne stężenie metali ciężkich na tle stężeń pyłu PM10 na stacji Puszcza Borecka w latach 2005-2022 i na stacji Zielonka w latach 2015-2022 .....	35
Rysunek 11. Średnie roczne wartości stężenia wybranych WWA w pyłe PM10 na stacji Puszcza Borecka w latach 2008-2022 i na stacji Zielonka w latach 2015-2022 .....	37
Rysunek 12. Średnie roczne wartości stężenia składników badanych w pyłe PM2,5 na stacji Puszcza Borecka w latach 2011-2022 i na stacji Zielonka w latach 2016-2022 .....	39

Rysunek 13. Stężenie jonów wodorowych, wskaźnik pH i przewodność elektrolityczna właściwa opadów atmosferycznych na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2022 .....	42
Rysunek 14. Częstość występowania pH wody opadowej na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2022 .....	45
Rysunek 15. Stężenie podstawowych jonów w wodzie opadowej na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2022 .....	48
Rysunek 16. Mokra depozycja jonów wodorowych, siarki siarczanowej, związków azotu i jonów chlorkowych na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2022 .....	49
Rysunek 17. Mokra depozycja kationów na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2022 .....	50
Rysunek 18. Stężenie metali ciężkich w opadach atmosferycznych w rejonach badań tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2022 .....	57
Rysunek 19. Mokra depozycja metali ciężkich w rejonach badań tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2022 .....	58
Rysunek 20. Średnie roczne stężenia WWA w opadach całkowitych (na górze) i mokra depozycja WWA (na dole) na stacji Puszcza Borecka w latach 2008-2022 .....	61
Rysunek 21. Sucha i mokra depozycja siarki, azotu tlenowego i jonów wodorowych w rejonach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2022 .....	65
Rysunek 22. Udział suchej i mokrej depozycji w depozycji całkowitej w rejonach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2022 .....	66
Rysunek 23. Rozkład przestrzenny stężenia tlenowych związków siarki w powietrzu [ $\mu\text{gS}/\text{m}^3$ ] na stacjach EMEP w 2021 roku. Źródło: [11] .....	74
Rysunek 24. Rozkład przestrzenny stężenia dwutlenku azotu w powietrzu [ $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ ] na stacjach EMEP w 2021 roku. Źródło: [11] .....	75
Rysunek 25. Rozkład przestrzenny stężenia pyłu zawieszonego PM <sub>10</sub> i PM <sub>2,5</sub> w powietrzu [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] na stacjach EMEP w 2021 roku. Źródło: [11] .....	76
Rysunek 26. Rozkład przestrzenny stężenia węgla organicznego OC i węgla elementarnego EC [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] w pyłe zawieszonym PM <sub>2,5</sub> na stacjach EMEP w 2021 roku. Źródło: [11] .....	77
Rysunek 27. Rozkład przestrzenny stężenia wybranych metali ciężkich w pyłe zawieszonym [ $\text{ng}/\text{m}^3$ ] na stacjach EMEP w 2021 roku. Źródło: [1] .....	78
Rysunek 28. Rozkład przestrzenny wartości pH opadów atmosferycznych na stacjach EMEP w 2021 roku. Źródło: [11] .....	79
Rysunek 29. Rozkład przestrzenny stężenia jonów siarczanowych w opadach atmosferycznych [ $\text{mgS}/\text{dm}^3$ ] (wartości skorygowane ze względu na obecność aerozolu morskogo) na stacjach EMEP w 2021 roku. Źródło: [11] .....	80
Rysunek 30. Rozkład przestrzenny stężenia związków azotu [ $\text{mgN}/\text{dm}^3$ ] w opadach atmosferycznych na stacjach EMEP w 2021 roku. Źródło: [11] .....	81
Rysunek 31. Rozkład przestrzenny stężenia wybranych metali ciężkich w opadach atmosferycznych [ $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ] na stacjach EMEP w 2021 roku. Źródło: [1] .....	81
Rysunek 32. Rozkład przestrzenny stężenia rtęci w opadach atmosferycznych [ $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ] na stacjach EMEP w 2021 roku. Źródło: [1] .....	82



## Spis tabel

Tabela 1. Stacje monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce.....	6
Tabela 2. Metody pomiarowe stosowane na stacjach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w 2022 roku .....	9
Tabela 3. Zanieczyszczenie powietrza na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w 2022 roku na tle poziomów dopuszczalnych i docelowych. Kryterium: ochrona zdrowia ludzi .....	18
Tabela 4. Zanieczyszczenie powietrza na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w 2022 roku na tle wartości dopuszczalnych i docelowych. Kryterium: ochrona roślin.....	20
Tabela 5. Zanieczyszczenie powietrza na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2022 (wartości średnie arytmetyczne).....	26
Tabela 6. Średnie roczne stężenie dwutlenku węgla na stacji Puszcza Borecka w latach 2002-2022 .....	30
Tabela 7. Średnie roczne stężenie rtęci gazowej na stacji Puszcza Borecka w latach 2004-2022 .....	31
Tabela 8. Średnie roczne stężenie pyłu zawieszonego PM10 i PM2,5 na stacjach Puszcza Borecka w latach 2005-2022 i Zielonka w latach 2015-2022.....	33
Tabela 9. Średnie roczne stężenie metali ciężkich w pyłe PM10 na stacji Puszcza Borecka w latach 2005-2022 i na stacji Zielonka w latach 2015-2022.....	36
Tabela 10. Średnie roczne stężenie wybranych WWA w pyłe PM10 na stacji Puszcza Borecka w latach 2008-2022 i na stacji Zielonka w latach 2015-2022.....	38
Tabela 11. Średnie roczne stężenie składników w pyłe PM2,5 na stacji Puszcza Borecka w latach 2011-2022 i na stacji Zielonka w latach 2016-2022.....	40
Tabela 12. Częstość występowania pH wody opadowej (%) na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2022.....	43
Tabela 13. Stężenie składników wody opadowej i mokra depozycja na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2022 .....	51
Tabela 14. Stężenie (a) i mokra depozycja (b) metali ciężkich w wodzie opadowej na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Łebie i Puszczy Boreckiej w latach 1994-2022.....	59
Tabela 15. Stężenie WWA w opadach atmosferycznych i mokra depozycja WWA na stacji Puszcza Borecka w latach 2008-2022 .....	62
Tabela 16. Stężenie i depozycja mokra jonów wodorowych na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w latach 1994-2022.....	64
Tabela 17. Depozycja tlenowych związków siarki, tlenowych związków azotu i jonów wodorowych w rejonach monitoringu tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce.....	69