



INSTYTUT METEOROLOGII I GOSPODARKI WODNEJ
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY
01-673 Warszawa, ul. Podleśna 61

WYDZIAŁ MONITOROWANIA JAKOŚCI POWIETRZA

MONITORING CHEMIZMU OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH I OCENA DEPOZYCJI ZANIECZYSZCZEŃ DO PODŁOŻA W 2023 ROKU

RAPORT ROCZNY Z BADAŃ MONITORINGOWYCH W 2022 ROKU

©Lonely/Fotolia

Autor:

mgr inż. Ewa Liana

Sprawdził i zatwierdził

Kierownik

Wydziału Monitorowania Jakości Powietrza

mgr Julita Biszczyk-Jakubowska



Temat realizowany przez IMGW-PIB na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (umowa nr GIOŚ/ZP/2/2023/DMŚ/NFOŚiGW), finansowany ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.



WARSZAWA, czerwiec 2023

AUTORZY / WYKONAWCY

mgr inż. Ewa Liana⁽¹⁾

dr inż. Agnieszka Kolanek⁽¹⁾

mgr inż. Michał Pobudejski⁽¹⁾

dr Bartłomiej Miszuk⁽²⁾

st. sam. techn. Wiesława Rawa⁽¹⁾

oraz:

- ⁽¹⁾Wydział Monitorowania Jakości Powietrza IMGW-PIB;
- ⁽²⁾Zakład Badań Środowiskowych;
- Oddziały i Pracownie CLB GIOŚ w: Białymstoku, Bydgoszczy, Częstochowie, Gdańsku, Jeleniej Górze, Kielcach, Lublinie, Nowym Sączu, Olsztynie, Pile, Piotrkowie Trybunalskim, Rzeszowie, Szczecinie i w Zielonej Górze;
- Stacje synoptyczne IMGW-PIB wchodzące w skład sieci krajowego monitoringu: w Świnoujściu, Łebie, Gdańsku, Suwałkach, Chojnicach, Olsztynie, Gorzowie Wielkopolskim, Toruniu, Białymstoku, Zielonej Górze, Poznaniu, Kaliszu, Sulejowie, Włodawie, Legnicy, na Śnieżce, Raciborzu, Katowicach, Nowym Sączu, Sandomierzu, na Kasprowym Wierchu i w Lesku.

SPIS TREŚCI

AUTORZY / WYKONAWCY

1. WPROWADZENIE	1
2. REALIZACJA PROGRAMU BADAŃ.....	3
3. METODY OPRACOWYWANIA DANYCH I WYKONYWANIA OBLICZEŃ	6
3.1. SKŁAD FIZYKO-CHEMICZNY OPADÓW	6
3.2. DEPOZYCJA ZANIECZYSZCZEŃ Z OPADAMI	7
3.3. STOPIEŃ ZAKWASZENIA OPADÓW	8
3.4. ROZKŁAD PRZESTRZENNY	9
3.5. CHARAKTERYSTYKA ELEMENTÓW METEOROLOGICZNYCH	9
3.5.1. <i>Temperatura powietrza</i>	9
3.5.2. <i>Opady atmosferyczne mokre</i>	10
3.5.3. <i>Cyrkulacja atmosferyczna</i>	11
4. WARUNKI METEOROLOGICZNE KSZTAŁTUJĄCE WIELKOŚĆ DEPOZYCJI ZANIECZYSZCZEŃ OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH W POLSCE W 2022 ROKU	13
4.1. CHARAKTERYSTYKA WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH W POSZCZEGÓLNYCH MIESIĄCACH 2022 ROKU	13
4.2. CHARAKTERYSTYKA WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH W CIEPŁYM I CHŁODNYM SEZONIE 2022 ROKU	49
5. ZANIECZYSZCZENIE OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH W POLSCE I DEPOZYCJA ZANIECZYSZCZEŃ Z OPADÓW DO PODŁOŻA W 2022 ROKU	59
5.1. STĘŻENIA SUBSTANCJI W OPADACH ATMOSFERYCZNYCH.....	61
5.2. STOPIEŃ ZAKWASZENIA OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH.....	62
5.3. DEPOZYCJA SUBSTANCJI DO PODŁOŻA	67
5.3.1. <i>Depozycja na stacje monitoringowe</i>	67
5.3.2. <i>Obszar Polski według modelu rozkładu przestrzennego</i>	70
6. OMÓWIENIE WYNIKÓW	101
6.1. WARUNKI METEOROLOGICZNE, KSZTAŁTUJĄCE CHEMIZM OPADÓW.....	101
6.2. STĘŻENIA SUBSTANCJI W OPADACH ATMOSFERYCZNYCH.....	103
6.3. ŁADUNKI SUBSTANCJI WNIESIONE PRZEZ OPADY ATMOSFERYCZNE	105
6.4. SUMARYCZNE ŁADUNKI SUBSTANCJI NA STACJACH MONITORINGOWYCH W ODNIESIENIU DO WIELKOŚCI OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH	115
6.5. ROZKŁADY PRZESTRZENNE DEPOZYCJI BADANYCH SUBSTANCJI W 2022 ROKU (WEDŁUG MODELU ROZKŁADU PRZESTRZENNEGO).....	120
6.6. ZMIANY DEPOZYCJI BADANYCH SUBSTANCJI W LATACH 1999-2022 (WEDŁUG MODELU ROZKŁADU PRZESTRZENNEGO)	124
7. WPŁYW ZANIECZYSZCZEŃ Z OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH NA STAN ŚRODOWISKA	126
7.1. ZAKWASZENIE OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH.....	126
7.2. DEPOZYCJA SUBSTANCJI BIOGENNYCH.....	128
7.3. DEPOZYCJA METALI	129
8. PODSUMOWANIE	131

LITERATURA

ZAŁĄCZNIKI:

SPIS RYSUNKÓW

SPIS TABEL

SPIS RYSUNKÓW (do tekstu)

<i>Rysunek 3.1. Średnie miesięczne, sezonowe i roczne temperatury powietrza [°C] w 2022 roku i w wieloletniu 1981-2010 oraz odchylenia [°C] średniej temperatury powietrza w 2022 od wartości wieloletnich na podstawie danych z 22 stacji monitoringowych</i>	10
<i>Rysunek 3.2. Średnie miesięczne, sezonowe i roczne wysokości opadów na 22 stacjach monitoringowych oraz ich odchylenia od wartości wieloletnich (1981-2010) na podstawie danych z 22 stacji monitoringowych</i>	11
<i>Rysunek 3.3. Częstość [w %] występowania wydzielonych sektorów napływu mas powietrza na 22 stacjach monitoringowych, częstość [w %] występowania cyrkulacji z opadami atmosferycznymi mokrymi (% sumy przypadków) oraz ilość wody opadowej (%) występującej z poszczególnych cyrkulacji w 2022 r.</i>	12
<i>Rysunek 5.1. Wielkości całkowitej depozycji w opadach w poszczególnych miesiącach na powierzchnię kraju oraz sumy wysokości opadów w 2022 r.</i>	72
<i>Rysunek 5.2. Wielkości całkowitej depozycji rocznej w opadach na powierzchnię poszczególnych województw oraz sumy roczne wysokości opadów w 2022 r.</i>	75
<i>Rysunek 5.3. Wielkości całkowitej depozycji rocznej związków kwasotwórczych w opadach na powierzchnię poszczególnych województw oraz sumy roczne wysokości opadów w 2022 r.</i>	75
<i>Rysunek 5.4. Wielkości całkowitej depozycji rocznej związków biogennych w opadach na powierzchnię poszczególnych województw oraz roczne wysokości opadów w 2022 r.</i>	77
<i>Rysunek 5.5. Wielkości całkowitej depozycji rocznej metalami lekkimi w opadach na powierzchnię poszczególnych województw oraz roczne wysokości opadów w 2022 r.</i>	78
<i>Rysunek 5.6. Wielkości całkowitej depozycji rocznej metali ciężkich w opadach na powierzchnię poszczególnych województw oraz sumy roczne wysokości opadów w 2022 r.</i>	80
<i>Rysunek 5.7. Wielkości całkowitej depozycji rocznej w opadach na powierzchnię poszczególnych zlewni wybranych rzek Polski oraz sumy roczne wysokości opadów w 2022 r.</i>	83
<i>Rysunek 5.8. Wielkości depozycji rocznej związków kwasotwórczych w opadach na powierzchnię poszczególnych zlewni wybranych rzek Polski oraz sumy wysokości opadów na tych zlewniach w 2022 r.</i>	85
<i>Rysunek 5.9. Wielkości depozycji rocznej związków biogennych w opadach na powierzchnię poszczególnych zlewni wybranych rzek Polski oraz sumy wysokości opadów w 2022 r.</i>	87
<i>Rysunek 5.10. Wielkości całkowitej depozycji rocznej metalami lekkimi w opadach na powierzchnię zlewni wybranych rzek Polski oraz roczne wysokości opadów w 2022 r.</i>	89
<i>Rysunek 5.11. Wielkości depozycji rocznej metali ciężkich w opadach na powierzchnię poszczególnych zlewni wybranych rzek Polski oraz sumy wysokości opadów w 2022 r.</i>	91
<i>Rysunek 5.12. Udział procentowy poszczególnych komponentów wchodzących w skład depozycji rocznej w opadach w 2022 r.</i>	98
<i>Rysunek 5.13. Udział procentowy poszczególnych komponentów wchodzących w skład depozycji rocznej związków kwasotwórczych w opadach w 2022 r.</i>	98
<i>Rysunek 5.14. Udział procentowy poszczególnych komponentów wchodzących w skład depozycji rocznej metali lekkich (metali alkalicznych: Na i K i ziem alkalicznych: Ca i Mg) w opadach w 2022 r.</i>	99
<i>Rysunek 5.15. Udział procentowy poszczególnych komponentów wchodzących w skład depozycji rocznej związków biogennych w opadach w 2022 r.</i>	99
<i>Rysunek 5.16. Udział procentowy poszczególnych komponentów wchodzących w skład depozycji rocznej metali ciężkich w opadach w 2022 r.</i>	100
<i>Rysunek 6.1. Procentowa zmiana stężeń średnich ważonych (waga – wysokość opadów) poszczególnych wskaźników zanieczyszczeń oraz odczynu i przewodności, w opadach zebranych w 2022 roku w stosunku do średnich ważonych w 2021 roku oraz średniej wysokości opadów</i>	103
<i>Rysunek 6.2. Średnie ważone stężenia (waga – wysokość opadów) poszczególnych wskaźników zanieczyszczeń w opadach zebranych w latach badań 1999-2022 na tle średnich rocznych wysokości opadów (mm)</i>	104
<i>Rysunek 6.3. Procentowa zmiana stężeń średnich ważonych (waga – wysokość opadów) poszczególnych wskaźników zanieczyszczeń oraz odczynu i przewodności, w opadach zebranych w</i>	

<i>2022 roku w stosunku do średnich ważonych stężeń wielolecia 1999-2021 oraz średniej wysokości opadów</i>	105
<i>Rysunek 6.4. Procentowa zmiana depozycji siarczanów, chlorków, azotu azotynowego i azotanowego oraz wolnych jonów wodorowych z opadem w 2022 roku w stosunku do ich średnich depozycji w wielolecia 1999-2021</i>	107
<i>Rysunek 6.5. Procentowa zmiana depozycji sodu, potasu, wapnia i magnezu w opadach w 2022 roku w stosunku do ich średnich depozycji w wielolecia 1999-2021</i>	109
<i>Rysunek 6.6. Procentowa zmiana depozycji cynku, miedzi i ołowiu w opadach w 2022 roku w stosunku do ich średnich depozycji w wielolecia 1999-2021</i>	112
<i>Rysunek 6.7. Procentowa zmiana depozycji kadmu, niklu i chromu w opadach w 2022 roku w stosunku do ich średnich depozycji w wielolecia 1999-2021</i>	113
<i>Rysunek 6.8. Procentowa zmiana depozycji związków biogennych: azotu amonowego, azotu ogólnego i fosforu ogólnego w opadach w 2022 roku w stosunku do ich średnich depozycji w wielolecia 1999-2021</i>	115
<i>Rysunek 6.9. Procentowa zmiana rocznej sumarycznej depozycji z opadem na poszczególnych stacjach monitoringowych w 2022 roku w stosunku do średnich depozycji w wielolecia 1999-2021</i>	115
<i>Rysunek 6.10. Procentowa zmiana rocznej sumy opadów w 2022 roku na na każdej z poszczególnych stacji monitoringowych w stosunku do średniej sumy opadów dla każdej z poszczególnych stacji w wielolecia 1999-2021</i>	116

SPIS TABEL (do tekstu)

<i>Tabela 3.1. Europejska klasyfikacja wód opadowych według skali z podziałem na sześć klas wartości pH</i>	8
<i>Tabela 3.2. Klasyfikacja charakterystyk opadowych średnich miesięcznych, sezonowych i rocznych według kryteriów stosowanych w IMGW-PIB (na bazie oficjalnych danych IMGW).</i>	10
<i>Tabela 5.1. Zakresy parametrów fizyko-chemicznych miesięcznych próbek opadów na 22 stacjach monitoringowych</i>	61
<i>Tabela 5.2. Zestawienie procentowe liczby próbek średniomiesięcznych o pH<5,6 zebranych na stacjach monitoringowych w 2022 roku</i>	63
<i>Tabela 5.3. Procentowe (%) i ilościowe (ilość próbek) zestawienie uzyskanych na stacjach monitoringowych wyników miesięcznych pomiarów odczynu w poszczególnych klasach wartości pH</i>	64
<i>Tabela 5.4. Zestawienie procentowe liczby próbek dobowych o pH<5,6 zebranych na stacjach monitoringowych w 2022 roku</i>	65
<i>Tabela 5.5. Zakresy depozycji substancji wprowadzanych w opadach atmosferycznych mokrych w cyklach miesięcznych na powierzchni reprezentujące 22 stacje monitoringowe</i>	68
<i>Tabela 5.6. Zakresy depozycji substancji wprowadzanych w opadach atmosferycznych mokrych w poszczególnych miesiącach na powierzchni kraju obliczone za pomocą modelu rozkładu przestrzennego</i>	71
<i>Tabela 5.7. Zakresy depozycji substancji wprowadzanych w opadzie atmosferycznym mokrym rocznie na powierzchni poszczególnych województw, obliczone za pomocą modelu rozkładu przestrzennego</i>	73
<i>Tabela 6.1. Zmiana sumarycznej depozycji w 2022 roku na poszczególnych stacjach monitoringowych w stosunku do średniej depozycji w wieloleciu 1999-2021 w odniesieniu do zmiany sum opadów w 2022 roku w stosunku do sum opadów w wieloleciu 1999-2021</i>	117
<i>Tabela 6.2. Zestawienie sumarycznej depozycji w opadach w poszczególnych województwach w 2022 roku w stosunku do depozycji w wieloleciu 1999-2021 w odniesieniu do sum rocznych opadów dla poszczególnych województw w 2022 roku w stosunku do sum opadów w wieloleciu 1999-2021</i>	121
<i>Tabela 7.1. Procentowe i ilościowe zestawienie, ogółem na wszystkich stacjach monitoringowych, ilości wyników pomiarów odczynu próbek miesięcznych w poszczególnych klasach wartości pH w 2022 r.</i>	127

1. Wprowadzenie

Niniejszy raport opracowano w ramach realizacji zadania: *Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i ocena depozycji zanieczyszczeń do podłoża w 2023 roku*, realizowanego na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska w ramach umowy nr GIOŚ/ZP/2/2023/DMS/NFOŚ z dnia 13.01.2023 r. finansowanej ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

Cel realizacji pracy

Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i ocena depozycji zanieczyszczeń do podłoża jest elementem Państwowego Monitoringu Środowiska. Zadanie ma na celu określanie w skali kraju rozkładu ładunków zanieczyszczeń wprowadzanych z mokrym opadem do podłoża w ujęciu przestrzennym i czasowym. Informacje o obciążeniu obszarów leśnych, gleb i wód powierzchniowych związkami zakwaszającymi, biogennymi i metalami ciężkimi deponowanymi z powietrza, mogą być wykorzystywane przy tworzeniu i ocenie skuteczności programów redukcji emisji zanieczyszczeń do powietrza, a także przy opracowywaniu bilansu nawozowego w gospodarce wodnej i leśnej. Dzięki badaniom chemizmu opadów istnieje możliwość weryfikacji na poziomie kraju wyników depozycji w skali Europy, wykonywanych w ramach EMEP przez Europejskie Centrum Modelowania z uwzględnieniem wymagań, dot. redukcji emisji zanieczyszczeń zakwaszających, zawartych w dyrektywie w sprawie krajowych pułapów emisji dla niektórych zanieczyszczeń powietrza (2016/2284/UE). Interpretacja wyników depozycji, w powiązaniu z typami cyrkulacji, umożliwi oszacowanie udziału wpływu źródeł zanieczyszczeń spoza terytorium Polski na depozycję i zanieczyszczenie powietrza w kraju. Przedsięwzięcie jest kontynuacją jednego z zadań podsystemu monitoringu jakości powietrza, realizowanych w ramach Programu PMŚ.

Zakres realizacji programu pracy

Celem prezentowanego raportu jest przedstawienie krajowym odbiorcom wyników badań stanu zanieczyszczenia opadów atmosferycznych mokrych, uzyskanych w 2022 roku na 22 stacjach monitoringowych (zlokalizowanych na stacjach synoptycznych IMGW-PIB) reprezentujących obszar całej Polski. System monitoringu funkcjonuje na bazie automatycznych kolektorów stacjonarnych (eksponowanych tylko w czasie trwania opadów). Wyniki badań zaprezentowano, na tle danych uzyskanych we wcześniejszych badaniach prowadzonych nieprzerwanie w latach 1999-2022, w celu ukazania tendencji zmian wielkości stężeń zanieczyszczeń w opadach atmosferycznych mokrych oraz ich depozycji z opadem do podłoża w kolejnych latach.

Analizę wyników przeprowadzono pod kątem:

- miesięcznych i rocznych wysokości opadów oraz stężeń i ich depozycji do podłoża z uwzględnieniem rozkładów przestrzennych,

- oceny stopnia zakwaszenia opadów atmosferycznych, na podstawie rozkładów wielkości dobowych pomiarów pH, z uwzględnieniem zależności od kierunku cyrkulacji atmosferycznej określonej przez IMGW-PIB.

Zmienność wieloletnią zaprezentowano na przykładzie średnich rocznych ważonych stężeń zanieczyszczeń opadów oraz sumarycznych wielkości depozycji składników wnoszonych z opadami atmosferycznymi.

Scharakteryzowano warunki meteorologiczne występujące w 2022 r. i poddano je analizie w stosunku do przeciętnych wartości z wielolecia.

Na tle zaistniałych warunków meteorologicznych, kształtujących wielkość depozycji substancji zawartych w opadach, omówiono stan jakości opadów oraz wielkości ładunków substancji wnoszonych wraz z opadami na obszar kraju i jej poszczególne rejony w 2022 r. Opracowane wyniki badań przedstawiono w tabelach i zobrazowano na rysunkach w tekście oraz w załącznikach. W celu kompleksowego omówienia rezultatów dane pomiarowe zestawiono miesięcznie oraz z podziałem na okresy chłodny i ciepły roku, a także rocznie. Dokonano również oceny stopnia zakwaszenia opadów atmosferycznych na obszarze Polski, na podstawie oznaczeń wartości pH dobowych opadów z 22 stacji monitoringowych.

Wykorzystując dane o wielkościach stężeń substancji zawartych w miesięcznych próbach opadów atmosferycznych z 22 stacji monitoringowych oraz sum miesięcznych opadów na 162 posterunkach opadowych IMGW-PIB, charakteryzujących pole średnich sum opadów reprezentatywne dla obszaru Polski, sporządzono mapy rozkładu przestrzennego wysokości opadów oraz mapy rozkładu stężeń substancji w opadach i wielkości wnoszonych z opadami ładunków tych substancji dla obszaru Polski. Pokazano również obciążenie roczne substancjami wprowadzanymi wraz z opadami na tereny poszczególnych województw i wybranych zlewni rzek. Rezultaty badań w 2022 r. porównano z wynikami uzyskanymi w latach poprzednich, wykorzystując do tego celu dane z tych 22 stacji monitoringowych, na których badania prowadzono nieprzerwanie w pełnym cyklu rocznym przez okres dwudziestu czterech lat.

2. Realizacja programu badań

Sieć stacji krajowego monitoringu chemizmu opadów atmosferycznych i oceny depozycji zanieczyszczeń do podłoża w 2022 r. składała się z 22 stacji, zlokalizowanych na stacjach synoptycznych IMGW-PIB reprezentujących obszar całej Polski. System monitoringu funkcjonował na bazie automatycznych kolektorów stacjonarnych (eksponowanych tylko w czasie trwania opadów). Ich lokalizację przedstawiono na załączonej mapce (rysunek 1), a dane o położeniu stacji zestawiono w tabeli 1.

Badania obejmowały, zbieranie próbek opadów atmosferycznych (zabezpieczeniem poprawności zbierania prób był całodobowy dozór na stacjach synoptycznych, zapewniający pobór prób w przypadku wystąpienia opadu) i analizowanie ich w cyklach miesięcznych przez Oddziały Centralnego Laboratorium Badawczego GIOŚ. Dodatkowo były również zbierane w oddzielnych kolektorach próbki dobowe opadów do pomiaru odczynu pH, wykonywanego bezpośrednio na stacjach.

Analizy składu fizyko-chemicznego opadów były wykonywane przez akredytowane laboratoria CLB GIOŚ, na podstawie „Strategicznego Programu Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 2021-2025” zatwierdzonego przez Ministra Środowiska. Dwa wybrane laboratoria należące do CLB GIOŚ, zlokalizowane w Lublinie i w Jeleniej Górze, analizowały próbki opadów ze stacji położonych w przypisanej do nich części kraju. Wykaz laboratoriów z wyszczególnieniem stacji monitoringowych, z których poszczególne laboratoria wykonywały analizy próbek opadów przedstawiono w tabeli 2.

Podstawową jednostką nadzorującą, z ramienia GIOŚ, działalność systemu monitoringu chemizmu opadów był Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej Państwowy Instytut Badawczy (Centrum Hydrologiczno-Meteorologicznej Sieci Pomiarowo-Obszerwacyjnej – Wydział Monitorowania Jakości Powietrza oraz Zakład Badań Środowiskowych). Do zadań IMGW-PIB należało grupowanie zadań organizacyjnych i realizacyjnych, prowadzenie bieżącej analizy meteorologicznej, bazy danych, wykonywanie raportów i opracowań zgodnie z wytycznymi zleciodawcy, ściśle współpracując merytorycznie z GIOŚ. Prowadzenie bieżącej analizy jakości otrzymanych wyników badań fizyko-chemicznych i nadzór nad zbiorem nadsyłanych raportów z laboratoriów.

Program realizacyjny monitoringu chemizmu opadów atmosferycznych i oceny depozycji zanieczyszczeń do podłoża w 2022 r. obejmował, tak jak w ubiegłych latach, zbieranie w sposób ciągły w cyklach miesięcznych, opadów atmosferycznych na stacjach monitoringowych i analizowanie ich składu fizyko-chemicznego w laboratoriach.

Opady atmosferyczne na stacjach monitoringowych zbierano w kolektorach automatycznych. Kolektory samoczynnie otwierają pokrywy zbiorników wody opadowej w czasie zaistnienia opadu i zamykają je po jego ustaniu, gwarantując wysoką jakość poboru prób. Zbieranie opadów wykonywano w sposób ciągły według szczegółowej instrukcji. Zebrane wody deszczowe zlewano po każdym opadzie do butelek polietylenowych i przechowywano w lodówce przez okres 1 doby opadowej. Po upływie doby mierzono objętość zebranego opadu, zamrażano w temperaturze poniżej -20°C w zamrażarce i przechowywano do czasu odbioru i transportu próbek do Oddziałów Centralnego

Laboratorium Badawczego GIOŚ. Laboratoria CLB GIOŚ, po każdym cyklu miesięcznym, w pierwszych dniach następnego miesiąca, odbierały zamrożone próbki opadów ze stacji monitoringowych (gwarantujące stabilne właściwości fizyczne i skład chemiczny próbek opadów). Próbki przekazywano w butelkach polietylenowych.

Zgodnie z instrukcją, w laboratoriach próbki opadów rozmrażano, następnie zlewano do naczynia zbiorczego, tworząc próbki uśrednione z całego miesiąca z danej stacji. Tak przygotowaną próbę poddawano analizie.

Laboratoria wykonywały analizy miesięcznych próbek opadów w zakresie następujących wskaźników:

- pomiaru wartości pH,
- pomiaru przewodności elektrycznej właściwej,
- stężeń anionów: Cl^- , SO_4^{2-} , NO_2^- i NO_3^- ,
- stężeń kationów: NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} ,
- stężeń metali ciężkich: Zn, Cu, Pb, Ni, Cd, Cr,
- stężeń azotu Kjeldahla i fosforu ogólnego.

W przypadku określenia stężenia azotu ogólnego zastosowano metodę obliczeniową. W tym celu, w oparciu o wyniki analiz próbki opadu, zsumowano zawartości azotu pochodzącego z azotynów i azotanów oraz azotu Kjeldahla.

Laboratoria GIOŚ wykonywały analizy fizyko-chemiczne próbek opadów według ustalonych metodyk właściwych do analiz wód opadowych. Uzgodnione metody analityczne przedstawiono w tabeli 3. W przypadku, gdy laboratorium nie mogło wykonać analiz preferowanymi metodami, uzgadniano z nim procedury, zapewniające równie wysoką dokładność uzyskanych wyników.

Wyniki analiz z laboratoriów GIOŚ przekazywane były do IMGW-PIB w formie tzw. *Raportów z Badań*, zawierających zestawienie wyników wraz z identyfikacją procedur badawczych. Ponadto na każdej stacji monitoringowej zgodnie ze szczegółową instrukcją, równoległe z poborem próbek do badania chemizmu, zbierane były dobowe próbki opadów do pomiaru odczynu za pomocą osobnego stacjonarnego kolektora, złożonego z litrowej polietylenowej butelki i umieszczonego na niej lejka o średnicy zapewniającej zebranie odpowiedniej ilości wody opadowej do pomiaru wartości pH, gdy suma dobowego opadu wyniesie minimum 1 mm. Pomiar wartości odczynu wykonywano po upływie doby opadowej pH-metrem z funkcją autokalibracji oraz rejestracji wyników.

Równoległe z poborem próbek, obsługa stacji prowadziła pomiary i obserwacje parametrów meteorologicznych, niezbędnych do oceny i interpretacji wyników badań monitoringowych. Pomiary i obserwacje, tak jak w poprzednich latach, prowadzono w następującym zakresie:

- data i godzina wystąpienia opadu oraz przedział czasowy trwania opadu (06-12, 12-18, 18-24, 00-06);
- czterokrotny pomiar w dobie opadowej wysokości opadu (wg czasu GMT, w godzinach: 12, 18, 24, 06);
- przeważający kierunek wiatru w czasie występowania opadu;
- dobową wysokość i objętość zebranego opadu;
- średnia dobową temperaturę powietrza w dobie z występującym opadem.

Czas mierzony wg GMT jest równoważny z najczęściej stosowanym czasem według UMT 06:00 co oznacza, że godzina pomiaru i poboru próbki w okresie obowiązywania czasu letniego to godzina 8:00, a w okresie obowiązywania czasu zimowego to godzina 7:00.

Pomiary meteorologiczne wykonywano przy użyciu standardowych urządzeń i przyrządów stosowanych w sieci stacji IMGW-PIB. Wysokość opadu mierzono automatycznie przy użyciu deszczomierza wagowego, urządzeniem firmy Seba lub Astra i przy użyciu deszczomierza Hellmanna. Wskazania deszczomierzy Hellmanna traktowano, jako pomiary kontrolne w okresie ciepłym roku, a w okresie chłodnym, jako podstawowe, ze względu na opady śniegu. Kierunki i prędkość wiatru mierzono ultradźwiękowym wiatromierzem Vaisala, a temperaturę powietrza czujnikiem Vaisala. Na stacjach wysokogórskich mierzono: wysokość opadu – przy użyciu deszczomierza Hellmanna, prędkość wiatru – anemorumbometrem, a temperaturę powietrza – termometrem rtęciowym.

Rejestrację wyżej wymienionych danych wraz z danymi pomiaru wartości pH dobowych próbek opadów, prowadzono na bieżąco w dzienniku obserwatora i po zakończeniu miesięcznego cyklu, w zestawieniu miesięcznym, przekazywano do IMGW-PIB.

3. Metody opracowywania danych i wykonywania obliczeń

Przekazywane do IMGW-PIB wyniki pomiarów ze stacji monitoringowych oraz wyniki analiz fizyko-chemicznych opadów z laboratoriów archiwizowano, opracowywano i wprowadzano do elektronicznej bazy danych, gromadząc w pakietach i modułach pozwalających na ich przetwarzanie do formy wymaganej przy interpretacji wyników.

3.1. Skład fizyko-chemiczny opadów

Wyniki analiz fizyko-chemicznych opadów, wykonanych w laboratoriach, były podstawą do wykonywania obliczeń stężeń badanych składników i ich depozycji z opadem do podłoża. Poprawność wyników analiz składu fizyko-chemicznego opadów, sprawdzono za pomocą bilansu jonowego oznaczanych anionów i kationów oraz testu przewodnictwa. Otrzymane, mało dokładne i niejednoznaczne wyniki znacznie odbiegające od wyników zawartych w wieloletniej bazie danych, określano jako wątpliwe. Uwzględniano przy tym, otrzymane wartości stężeń w opadach ze stacji sąsiednich i dane uzyskane z wcześniejszych oznaczeń oraz wyniki bilansu jonowego i przewodnictwa, a także informacje o specyficznych warunkach poboru próbki (np. intensywne pylenie kwiatu sosny w maju w rejonie punktu poboru). W przypadku nieokreślonej zawartości, wskazującej stężenie niższe niż dolna granica oznaczania, założona w badaniach chemizmu opadów przyjmowano, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021 r. w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego oraz sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych, a także środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych (Dz.U. 2021 poz. 1475), wynik w wysokości połowy dolnej granicy. Dla wyników o wysokiej dolnej granicy oznaczania, przyjęto wyniki odczytu na urządzeniu, po uprzednio przeprowadzonej analizie, jako obarczone podobnie istotnym błędem jak wynik podany w wysokości połowy dolnej granicy. Wyniki ekstremalne (znacznie odbiegające od tła przy występującej zbliżonej sumie miesięcznej opadów) jako wątpliwe w porównaniu do danych z wielolecia, w przypadku niezgodności bilansu jonowego, mogły zostać skorygowane (np. obniżone) do poziomu zapewniającego równowagę jonową próbki opadów. Dla celów sporządzania raportów i opracowań, zawierających analizy wyników stężeń i porównań z wynikami wieloletnich badań, wynik wątpliwy badanego składnika opadu, zastąpiono średnim ważonym stężeniem z wyników dla pozostałych miesięcy badanego roku i oznaczono symbolem „*” z adnotacją – wartość szacunkowa. Ładunek jednostkowy miesięczny danej substancji, wyliczony na podstawie średniej ważonej wartości stężenia oraz sumę roczną depozycji oznaczono analogicznie „*” z podobną adnotacją.

Podstawę do analizy stanowią zbiory danych miesięcznych. Dla rocznych okresów wyznaczane są wartości średnie. Średnie wartości stężeń badanych wskaźników opadów obliczano jako średnie ważone, gdzie wagą była wysokość opadu w danym okresie uśredniania, na podstawie zależności:

$$C_{sr} = \frac{\sum C_i \cdot h_i}{\sum h_i}$$

gdzie :

C_{sr} – średnie ważone stężenie danego składnika [mg/l, μ g/l]

C_i – poszczególne stężenia, dla których obliczana jest wartość średnia [mg/l, μ g/l]

h_i – poszczególne wysokości opadów odpowiadające ww. stężeniom [mm]

$\sum h_i$ – suma wysokości opadów, dla których wykonano oznaczenie i-tego składnika, w okresie, dla którego obliczana jest wartość średnia [mm].

W praktyce oznacza to, że średnie ważone stężenie danego składnika zostało obliczane, jako iloraz sumy ładunków z poszczególnych opadów i sumy wysokości tych opadów, dla którego wykonano analizy ilościowe danego składnika.

Przy obliczaniu średniej wartości odczynu (pH) posłużono się stężeniami jonów wodorowych. Wartość pH przeliczano na stężenie jonów wodorowych wg wzoru:

$$[H^+] = 10^{3-pH} \quad \text{gdzie: } [H^+] \text{ – stężenie jonów wodorowych [mg/l]}$$

$$\text{lub } [H^+] = 10^{6-pH} \quad \text{gdzie: } [H^+] \text{ – stężenie jonów wodorowych } [\mu\text{g/l}]$$

Następnie obliczano średnią ważoną ze stężeń jonów wodorowych wg wzoru podanego powyżej i przeliczono na średnią wartość pH wg wzoru:

$$pH_{\text{sr}} = 3 - \log[H^+]_{\text{sr}}$$

Dane stężeń poszczególnych wskaźników w zestawieniu z danymi meteorologicznymi o wysokości miesięcznych opadów w punktach pomiarowych, dają możliwość obliczenia wielkości depozycji z opadem atmosferycznym na 22 stacjach monitoringowych.

3.2. Depozycja zanieczyszczeń z opadami

Na podstawie danych uzyskanych w procesie badawczym, o wartościach stężeń poszczególnych substancji w próbkach opadów mokrych, zebranych w konkretnych przedziałach czasowych oraz danych z pomiarów wysokości opadu z tych samych okresów czasowych, można obliczyć depozycję poszczególnych substancji z opadami.

Wielkość depozycji substancji wprowadzanych z opadem atmosferycznym mokrym do podłoża, na daną powierzchnię terenu obliczano, jako iloczyn stężeń substancji zawartych w opadach i wysokości opadu wg wzoru:

$$D_i = C'_i \cdot h / 100$$

gdzie :

D_i – depozycja i-tej substancji do podłoża z opadem w danym okresie pomiarowym [kg/ha]

C'_i – stężenie i-tej substancji w próbce opadu zebranej w danym okresie pomiarowym [mg/l]

h – suma wysokości opadu w danym okresie pomiarowym, dla którego obliczany jest ładunek [mm]; wysokość opadu w mm odpowiada liczbie litrów wody przypadających na 1m^2 powierzchni

Wielkość depozycji zanieczyszczenia z opadami określana za okres np. roku jest obliczana jako suma depozycji miesięcznych. W przypadku braku depozycji w jednym miesiącu składowym (np. z powodu zbyt małej objętości próbki opadu do wykonania analiz wszystkich badanych składników – siła wyższa – wystąpił brak stężeń badanych substancji), dla uzyskania przybliżonej sumy np. depozycji rocznej, posługiwano się, w celu oszacowania brakującej wielkości depozycji, średnim ważonym stężeniem obliczonym za oczekiwany okres, uzyskując lepsze przybliżenie szacunkowe depozycji za dany okres.

Dla ukazania informacji, o tendencji zmian wielkości stężeń zanieczyszczeń w opadach atmosferycznych mokrych oraz depozycji z opadem do podłoża w kolejnych latach, wyniki badań monitoringowych za dany rok, są prezentowane na tle danych z lat poprzednich.

3.3. Stopień zakwaszenia opadów

W celu oceny stopnia zakwaszenia opadów, zbierano próbki opadów dobowych do pomiaru wartości pH za pomocą osobnego stacjonarnego kolektora, złożonego z litrowej polietylenowej butelki i umieszczonego na niej lejka o średnicy zapewniającej zebranie odpowiedniej ilości wody opadowej do pomiaru. Pomiar wykonywano, gdy suma dobowego opadu wynosiła minimum 1 mm. Pomiar wartości pH wykonywano bezpośrednio na stacji, po dobie opadowej, pH-metrem z funkcją autokalibracji oraz rejestracji wyników.

Stopień zakwaszenia opadów („kwaśne deszcze”) klasyfikowano na podstawie pomiarów wartości pH. Wartość $\text{pH}=5,6$ oznacza naturalny stopień zakwaszenia wód opadowych. Stosowane było uogólnienie, że „kwaśnymi deszczami” według kryteriów pH, są wody opadowe charakteryzujące się wartościami pH mniejszymi niż 5,6.

Do oceny stopnia zakwaszenia opadów oparto się na kryteriach stosowanych przez różnych autorów. Przyjęto europejską klasyfikację wód opadowych opracowaną na Uniwersytecie w Oldenburgu (Jansen W. i inni, 1988). Opady klasyfikowano według sześciostopniowej skali odpowiednio do przyjętego zakresu wartości pH (tabela 3.1.):

Tabela 3.1. Europejska klasyfikacja wód opadowych według skali z podziałem na sześć klas wartości pH

Klasa	Zakres pH	Odczyn
I	$\text{pH} > 6,5$	podwyższony
II	$6,1 \leq \text{pH} \leq 6,5$	lekko podwyższony
III	$5,1 \leq \text{pH} < 6,1$	normalny
IV	$4,6 \leq \text{pH} < 5,1$	lekko obniżony
V	$4,1 \leq \text{pH} < 4,6$	znacznie obniżony
VI	$\text{pH} < 4,1$	silnie obniżony

3.4. Rozkład przestrzenny

W celu uzyskania możliwości oceny wpływu depozycji mokrej na inne rejony kraju, nie tylko w lokalizacji stacji monitoringowych, konieczna była interpolacja i obliczenie depozycji z wysoką rozdzielczością $2,5 \times 2,5 \text{ km}^2$ ($4 \times 4 \text{ km}^2$ - dane na potrzeby stron internetowych). W tym celu wykorzystano interpolację IDW z zastosowaniem oprogramowania ArcGIS. Do interpolacji niezbędne były dane meteorologiczne IMGW-PIB – dane o wielkości sum miesięcznych opadów z krajowej sieci obserwacji meteorologicznej w ilości 162 posterunków, które wytypowano jako reprezentatywne pole średnich sum opadów na obszarze Polski (rysunek 1 i tabela 37).

Metoda obliczeniowa polegała na pobraniu danych, o stężeniach w punktach pomiarowych i interpolacji danych z tych punktów do regularnej siatki $2,5 \times 2,5 \text{ km}^2$ zwanej rastrami. Podobnie z danymi opadowymi ze 162 posterunków opadowych, które pobrano ze swych lokalizacji i interpolowano do regularnej siatki $2,5 \times 2,5 \text{ km}^2$. Uzyskane w ten sposób dwa zestawy danych, posłużyły do obliczenia depozycji mokrej, poprzez pomnożenie danych z każdej komórki siatki (rastra), tj. interpolowanej ilości opadów z interpolowanym stężeniem odpowiadającym każdej kolejnej komórce siatki dla każdego badanego wskaźnika osobno. Taka metoda obliczeniowa, pozwoliła na zwizualizowanie rozkładu depozycji na obszarze całego kraju, dla każdego miesiąca oraz sumy rocznej depozycji. Umożliwiła też, obliczenie jednostkowej depozycji na powierzchnię podziału administracyjnego: województwa, powiatu lub gminy oraz podziału hydrograficznego: zlewni wybranych rzek lub większych akwenów wodnych.

W przypadkach, gdy nie wykonano pojedynczych oznaczeń (np. z powodu zbyt małej objętości próbki opadu mokrego – siła wyższa), dla potrzeb GIS, posługiwano się średnią ważoną wartością stężenia wskaźnika (waga – wysokość opadu) dla uzyskania lepszych przybliżeń sumarycznej depozycji.

3.5. Charakterystyka elementów meteorologicznych

W celu analizy warunków meteorologicznych, wykorzystano pomiary i obserwacje uzyskane w sieci stacji meteorologicznych oraz informacje zawarte w sporządzanych codziennie w IMGW-PIB mapach synoptycznych. Wykorzystano również informacje zamieszczone w rocznym *Biuletynie PSHM* oraz w wydaniach miesięcznych biuletynów udostępnianych elektronicznie przez IMGW-PIB.

3.5.1. Temperatura powietrza

Obserwacje na poszczególnych 22 stacjach monitoringowych, obejmowały dane o średniej dobowej temperaturze obliczonej dla dni, w których wystąpił opad. Pomiar temperatury powietrza wykonywano czujnikiem Vaisala.

Dla potrzeb niniejszego opracowania zestawiono charakterystyczne średnie miesięczne, sezonowe i roczne temperatury powietrza na 22 stacjach monitoringowych oraz ich odchylenia od wartości wieloletnich (1991-2020) (rysunek 3.1., tabela 19).



Rysunek 3.1. Średnie miesięczne, sezonowe i roczne temperatury powietrza [°C] w 2022 roku i w wieloleciu 1991-2020 oraz odchylenia [°C] średniej temperatury powietrza w 2022 od wartości wieloletnich na podstawie danych z 22 stacji monitoringowych

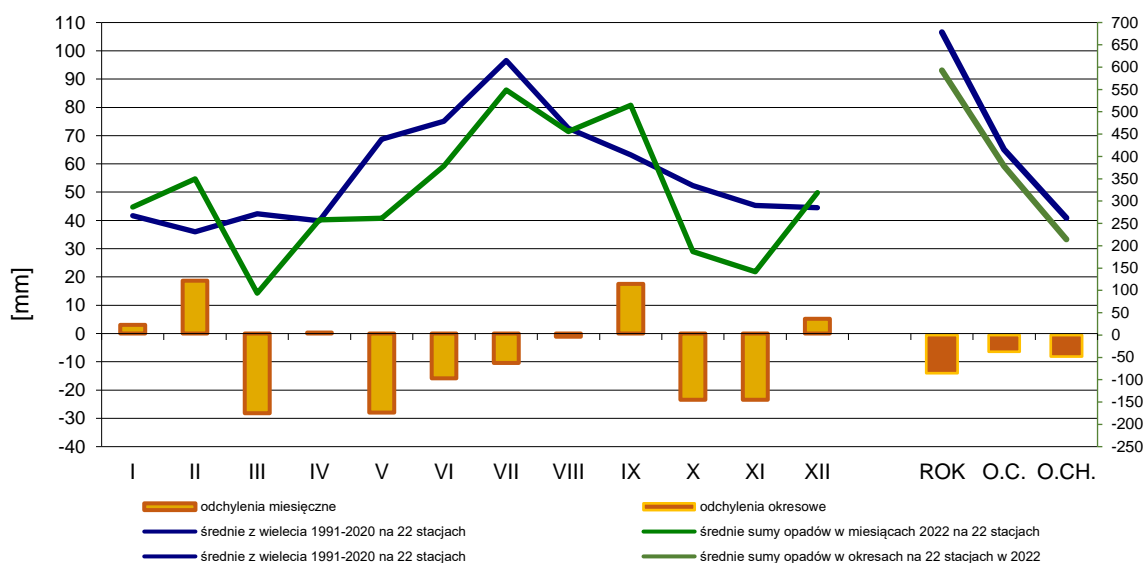
3.5.2. Opady atmosferyczne mokre

Istotnym elementem meteorologicznym, wywierającym wpływ na stan zanieczyszczenia atmosfery i depozycję do podłoża są opady atmosferyczne. Wysokość opadu mierzono automatycznie deszczomierzem wagowym, urządzeniem firmy Seba lub Astra oraz przy użyciu deszczomierza Hellmanna. Wskazania deszczomierzy Hellmanna traktowano jako pomiary kontrolne, ze względu na opady śniegu. Dla potrzeb niniejszego opracowania zestawiono charakterystyczne średnie miesięczne, sezonowe i roczne wielkości opadów z 22 stacji monitoringowych. Charakterystykę miesięcy, sezonów i roku pod kątem sum opadowych, przedstawiono według kryteriów stosowanych w IMGW-PIB (na bazie oficjalnych danych IMGW, tabela 3.2.). Wykonano ją, w oparciu o procentowy rozkład sum opadów, w stosunku do wartości przeciętnych z trzydziestolecia 1991-2020.

Tabela 3.2. Klasyfikacja charakterystyk opadowych średnich miesięcznych, sezonowych i rocznych według kryteriów stosowanych w IMGW-PIB (na bazie oficjalnych danych IMGW).

Kategoria opadowa	Charakterystyka opisowa	Procentowy udział	
		wg sumy miesięcznej	wg sumy sezonowej i rocznej
1	skrajnie suchy - ss	<25	<50
2	bardzo suchy - bs	25 – 49	50 – 74
3	suchy - s	50 – 74	75 – 89
4	normalny - n	75 – 125	90 – 110
5	wilgotny - w	126 – 150	111 – 125
6	bardzo wilgotny - bw	151 – 175	126 – 150
7	skrajnie wilgotny - sw	>175	>150

Dla potrzeb niniejszego opracowania zestawiono charakterystyczne średnie miesięczne, sezonowe i roczne wysokości opadów na 22 stacjach monitoringowych oraz ich odchylenia od wartości wieloletnich (1991-2020) (rysunek 3.2., tabela 19).



Rysunek 3.2. Średnie miesięczne, sezonowe i roczne wysokości opadów na 22 stacjach monitoringowych oraz ich odchylenia od wartości wieloletnich (1991-2020) na podstawie danych z 22 stacji monitoringowych

3.5.3. Cyrkulacja atmosferyczna

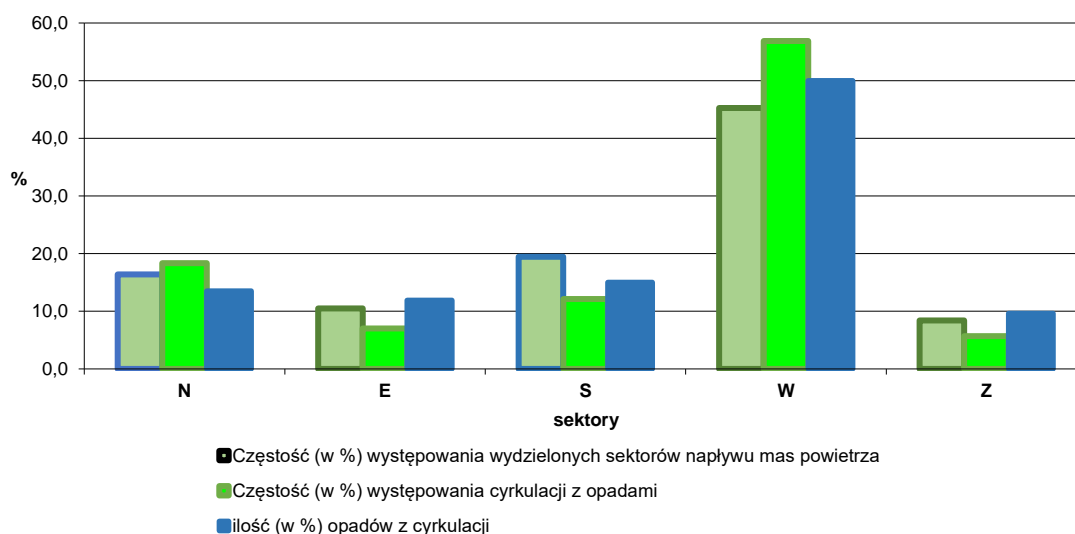
Dane o występującej cyrkulacji atmosferycznej są istotne przy określaniu stanu zanieczyszczenia opadu atmosferycznego, ze względu na możliwość powiązania punktu poboru próbki na stacji monitoringowej z położeniem źródła emisji, określającym poziom i rodzaj badanych zanieczyszczeń.

Kierunki napływu mas powietrza nad stacje monitoringowe w okresie występowania opadów, określano z poziomu 850 hPa i 925 hPa (1300 i 1500 m n.p.m.), w którym występują głównie procesy opadotwórcze (procesy powstawania kropeł chmur rozwijających się w krople deszczu i opadów atmosferycznych o znacznej ilości), a określony kierunek ogólnej cyrkulacji atmosferycznej, odzwierciedla spływ mas powietrza niezniekształcony oddziaływaniem warstw tarcia. Cyrkulacja atmosfery w Polsce uwarunkowana jest rozkładem ośrodków barycznych nad Oceanem Atlantyckim i nad kontynentem euroazjatyckim, a zmiany ich położenia decydują, że z różnych kierunków, z różną frekwencją napływają nad obszar Polski genetycznie różne masy powietrza i dokonują się zmiany parametrów meteorologicznych, w tym częstotliwości i ilości opadów atmosferycznych (rysunek 3.2.).

Ze względu na makroskalę procesów synoptycznych (od Atlantyku po Ural, od Arktyki po północną Afrykę), a także mając na uwadze konieczność maksymalnie prawidłowego odzwierciedlenia źródłowego sektora powstawania i przemieszczania się opadów atmosferycznych z masami powietrza na obszar Polski, wydzielono cztery sektory napływu:

- **północny N** (331° – 060°) dla mas pochodzenia arktycznego z obszarów Arktyki,

- **wschodni E** (061° – 150°) dla powietrza kontynentalnego znad wschodniej Europy i Syberii,
- **południowy S** (151° – 240°) dla mas powietrza polarno-morskiego ciepłego i zwrotnikowego znad rejonu Wysp Azorskich oraz znad Afryki i Azji Mniejszej,
- **zachodni W** (241° – 330°) dla powietrza polarno-morskiego znad Oceanu Atlantyckiego i zachodniej Europy,
- dla warunków barycznych, w których nie występuje adwekcja, przyjęto określenie „**cyrkulacja miejscowa Z**”.



Rysunek 3.3. Częstość [w %] występowania wydzielonych sektorów napływu mas powietrza na 22 stacjach monitoringowych, częstość [w %] występowania cyrkulacji z opadami atmosferycznymi mokrymi (% sumy przypadków) oraz ilość wody opadowej (%) występującej z poszczególnych cyrkulacji w 2022 r.

4. Warunki meteorologiczne kształtujące wielkość depozycji zanieczyszczeń opadów atmosferycznych w Polsce w 2022 roku

Dynamika i zmienność cyrkulacji atmosferycznej, kształtują się w zależności od aktywności ośrodków źródłowych powstawania mas powietrza, podobnie jak zmienność kompleksów pogodowych i wielkości parametrów meteorologicznych. Szczególna nieregularność i zmienność cyrkulacji atmosferycznej wynika także z położenia Polski w strefie przejściowej, gdzie ścierają się wpływy oceaniczne i kontynentalne. Ponadto, masy powietrza zanim dotrą nad obszar Polski, ulegają transformacji podczas przemieszczania się nad różnymi obszarami (kontynenty – akweny wodne), co determinuje skład substancji zawartych w powietrzu, a więc i w opadach atmosferycznych. Z powyższych powodów, w danym punkcie pomiarowym, w różnych latach, ale w tym samym miesiącu lub sezonie badań, notuje się znaczne różnice w wielkościach sum opadów atmosferycznych, a zatem różnice w wielkościach mokrego depozytu wnoszonego z opadami.

Zmienna frekwencja napływu mas powietrza nad badany obszar, zależy od rozkładu w polu ciśnienia głównych ośrodków barycznych, natomiast od udziału genetycznie różnych mas powietrza, zależy zróżnicowanie w czasie i przestrzeni wielkości opadów atmosferycznych, a więc różnice w wielkościach stężeń i ładunków substancji wnoszonych z opadami do podłoża.

Ze względu na makroskalę procesów synoptycznych, obejmującą obszar dla różnych mas powietrza, wyznacza się zróżnicowane tereny źródłiskowe od Atlantyku po Ural, od Arktyki po Północną Afrykę. Dla mas powietrza napływających z sektora północnego obszarem źródłowym są pola lodowe Arktyki, dla powietrza napływającego ze wschodniego sektora obszar kontynentu euroazjatyckiego, dla powietrza z południowego sektora pustynne obszary północnej Afryki lub wody Atlantyku z rejonu Wysp Azorskich, dla sektora zachodniego strefa Oceanu Atlantyckiego powyżej 45° szerokości geograficznej północnej. Określanie sektorów napływu mas powietrza dokonuje się na powierzchni izobarycznej 850 hPa, których mapy sporządzane są codziennie w Biurze Prognoz IMGW.

4.1. Charakterystyka warunków meteorologicznych w poszczególnych miesiącach 2022 roku

Styczeń

Styczeń 2022 r. pod względem termicznym był miesiącem ciepłym, natomiast z punktu widzenia opadów atmosferycznych odznaczał się zwykle sumami zbliżonymi do normy.

W dniach 1-10 I Polska początkowo znajdowała się pod wpływem niżów znad Oceanu Atlantyckiego, Europy zachodniej i Skandynawii oraz związanych z nimi frontów atmosferycznych, przemieszczających się w kierunku wschodnim. Okresami zaznaczał się również wpływ wyżów znad południa kontynentu. W drugiej połowie omawianego okresu obszar kraju przejściowo znajdował się w zasięgu wyżu z centrum nad Alpami, który przemieszczał się na wschód, nad terytorium Rumunii, Mołdawii i Ukrainy.

Najwyższą dobową sumę opadu w omawianych dniach stwierdzono 4 I na Śnieżce, kiedy wyniosła ona ponad 20 mm. W części nizinnej, najwyższym opadem cechowały się Suwałki, gdzie 2 I wyniosła ona 18,5 mm. Z kolei dnia 1 I na Kasprowym Wierchu i 2 I w Łebie wielkość opadu osiągnęła 16,4 mm. Regiony górskie i północne odznaczały się również najwyższymi opadami łącznymi w omawianym okresie. Na Śnieżce wyniosły one ponad 5 mm, w regionie karpackim (Kasprowy Wierch, Lesko) 30-32 mm, natomiast na północy Polski dochodziły do 27 mm w Gorzowie Wielkopolskim i ponad 24 mm w Łebie, Suwałkach i Białymstoku. Z kolei w Raciborzu suma łączna nie osiągnęła 5 mm.

W pierwszych dniach drugiej dekady stycznia Polska znajdowała się pod wpływem ośrodków wyżowych, z przejściowym wpływem frontów atmosferycznych, związanych z niżem znad północnej Rosji, przemieszczającym się w kierunku południowym. W drugiej połowie omawianego okresu wyraźniej zaznaczył się wpływ niżów znad Skandynawii, które przesuwały się na wschód, a w ostatnich dniach był również wpływ ośrodka wyżowego z centrum nad Alpami i Bałkanami. W dniach 11-20 I zdecydowanie najwyższą sumę dobową opadu zanotowano 17 I na Kasprowym Wierchu, gdzie wyniosła ona ponad 17 mm. Na pozostałych stacjach wartości były znacznie mniejsze i osiągały 6 mm w Olsztynie (20 I) oraz co najmniej 5 mm w Gorzowie Wielkopolskim i Katowicach (17 I).

W okresie 21-31 I warunki pogodowe nad Polską były początkowo kształtowane działalnością wyżów z centrum nad Wyspami Brytyjskimi i Skandynawią oraz ośrodkiem niżowym znad Białorusi. Miejscami zaznaczył się również wpływ frontu atmosferycznego, związanego z niżem znad Morza Norweskiego. Następnie wpływ na pogodę nad Polską miały ośrodki wyżowe, a także front związany z niżem znad północnej Rosji. W drugiej połowie omawianego okresu, warunki pogodowe były uwarunkowane głównie działalnością wyżów znad Europy południowej oraz niżu z centrum na północ od Polski. Najwyższa dobową sumę opadów w omawianym okresie, zanotowana w dniu 28 I na Kasprowym Wierchu, wyniosła 21,1 mm. W części nizinnej najwyższy opad zmierzono 29 I w Gorzowie Wielkopolskim, gdzie wyniósł on 11,8 mm. Suma łączna opadów w dniach 21-31 I na Kasprowym Wierchu osiągnęła 78 mm, a na nizinach dochodziła do 36 mm (Olsztyn). Znaczne wielkości zanotowano również na Śnieżce (30 mm) oraz na północy Polski – w Chojnicach, Suwałkach, Białymstoku, Gorzowie Wielkopolskim, Poznaniu (20-25 mm). Natomiast w Raciborzu łączna suma opadów nie osiągnęła 4 mm.

W zakresie napływu mas powietrza z poszczególnych sektorów, zdecydowanie najwyższym udziałem cechował się kierunek W, który był odpowiedzialny za 56% przypadków (tabela 6). Była to wartość o 13% większa w stosunku do 2021 r. W porównaniu do poprzedniego roku wzrosła również częstość adwekcji mas powietrza z kierunku N, przy jednoczesnym spadku udziału pozostałych sektorów. W przypadku cyrkulacji N, napływy mas powietrza z tego kierunku pojawiały się z częstością niemal 37%, ponad dwukrotnie wyższą w stosunku do roku 2021. Spośród pozostałych sektorów, najwyższym udziałem odznaczała się cyrkulacja S, której częstość wyniosła 5 %, o 19% mniej niż w roku ubiegłym. Z kolei adwekcje z kierunku E oraz cyrkulacja miejscowa Z pojawiały się z 1% częstością, będącą niższą w porównaniu stwierdzonej w 2021 r. o 8% i 5%.

Warunki termiczne w styczniu charakteryzowały się wartościami temperatury zwykle znacznie przekraczającymi średnie wieloletnie. Na przeważającym obszarze kraju, zwłaszcza w części północnej, średnia temperatura stycznia była co najmniej 2°C wyższa od normy. Największe odchylenie, przekraczające 3°C, zanotowano w Gdańsku, zaś w Olsztynie i Suwałkach anomalie osiągnęły 2,7-2,8°C. W przypadku kolejnych 14 stacji wielkości odchylenia kształtowały się w przedziale 2,0-2,5°C, natomiast w Katowicach i Lesku średnia termiczna anomalia wyniosła odpowiednio 1,9°C i 0,9°C. Najniższe wartości temperatury w odniesieniu do normy stwierdzono w najwyższych partiach gór. Na Śnieżce temperatura stycznia była o 0,1°C wyższa w stosunku do średniej dla okresu 1991-2020, a na Kasprowym Wierchu niższa o 1,1°C. W kontekście średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza, najcieplejsze było Pomorze oraz zachód Polski. W Świnoujściu średnia temperatura omawianego miesiąca wyniosła 3,3°C, w Legnicy 2,7°C, a w Łebie, Gdańsku i Gorzowie Wielkopolskim zawierała się w przedziale 2,3-2,4°C. Z kolei regiony wschodnie cechowały się wartościami najniższymi. W Sandomierzu i Włodawie średnia temperatura wyniosła 0,1°C i 0,0°C, natomiast w Białymstoku, Suwałkach i Lesku odnotowano wartości ujemne (-0,3°C, -0,6°C i -1,2°C). W strefie wysokogórskiej (Śnieżka, Kasprowy Wierch), średnia dla stycznia osiągnęła -5,8°C i -8,5°C.

Opady atmosferyczne w styczniu 2022 r. średnio przewyższały normę o 7% i charakteryzowały się znacznym zróżnicowaniem przestrzennym. W Białymstoku i Olsztynie ich wartość była wyższa od średniej sumy wieloletniej o 53-58%, co według klasyfikacji stosowanej w IMGW-PIB było równoznaczne z warunkami bardzo wilgotnymi. Z kolei w Suwałkach, Toruniu i na Kasprowym Wierchu wielkości opadów, kształtujące się w przedziale 132-148% względem normy, klasyfikowały omawiany miesiąc jako wilgotny. W przypadku większości stacji, zmierzone sumy były zbliżone do normy, przy czym dla ośmiu stanowisk zanotowano nadwyżkę opadów, a dla sześciu deficyt. Wyraźniejszy niedobór opadów wystąpił w Legnicy i Nowym Sączu, gdzie opady stanowiły nieco ponad 70% normy, co klasyfikowało styczeń jako miesiąc suchy. Natomiast największy deficyt zanotowano w Raciborzu, w przypadku którego suma miesięczna opadów była niższa od normy o niemal 60%, co było równoznaczne z warunkami bardzo suchymi. Średnia obszarowa suma opadów w styczniu w Polsce wyniosła 45 mm. Najwyższe sumy bezwzględne zmierzono w górach, gdzie wyniosły one ponad 146 mm na Kasprowym Wierchu i niemal 98 mm na Śnieżce. W części nizinnej, najbardziej obfite opady występowały na północnym wschodzie, w Olsztynie (64 mm) i Suwałkach (57 mm). Sumy przewyższające 50 mm zmierzono również w Gorzowie Wielkopolskim i Białymstoku. Z kolei na Śląsku, w Legnicy i Raciborzu były one najniższe i wyniosły odpowiednio 18 i 11 mm.

W kontekście przychodu wody z opadów notowanych w czasie poszczególnych kierunków adwekcji mas powietrza, zdecydowanie największym udziałem odznaczały się sektory W i N, przy śladowych ilościach opadów dla pozostałych typów cyrkulacji. W przypadku adwekcji z kierunku W, opady stanowiły średnio 73% całkowitej sumy w omawianym miesiącu (tabela 21). Największe wartości stwierdzono w Sandomierzu

(ponad 90% sumy ogólnej), a także w Świnoujściu, Suwałkach, Poznaniu, również w Białymstoku i Włodawie, gdzie zaobserwowane wielkości opadów stanowiły ponad 80% sumy ogólnej. Ponad 70% udział stwierdzono natomiast w Łebie, Gorzowie Wielkopolskim, Zielonej Górze, Kaliszu, Katowicach i Lesku. Najniższymi wartościami cechował się Kasprowy Wierch, gdzie mniej niż połowa opadów była związana z adwekcją z W. Średni udział sum notowanych podczas cyrkulacji N wyniósł ponad 27%. Różnicował się on od 5 do 52% i był najwyższy w Tatrach (52%), a także na północy – w Gdańsku, Chojnicach i Olsztynie (45-47%). Z kolei wartości najniższe stwierdzono w Sandomierzu (5%) oraz Łebie, Suwałkach i Poznaniu (12-14%). W przypadku cyrkulacji S, opadów na większości obszaru Polski nie stwierdzono, niewielkie ilości (do 2%) zmierzono jedynie w Lesku, na Kasprowym Wierchu, Legnicy, Włodawie i Suwałkach. Sumę poniżej 1 mm zanotowano również na Śnieżce dla cyrkulacji miejscowej Z, natomiast z uwagi na bardzo małą częstość występowania adwekcji z E, opadów dla tego sektora nie stwierdzono na żadnej ze stacji.

Luty

Luty 2022 r. odznaczał się wartościami temperatury znacznie przekraczającymi normę, zaś w przypadku opadów atmosferycznych cechował się najczęściej znaczną nadwyżką.

W pierwszych dniach lutego pogoda nad Polską była kształtowana przez ośrodki niskiego ciśnienia i związane z nimi fronty atmosferyczne, przemieszczające się z zachodu Europy w kierunku wschodnim. Przejściowo zaznaczył się wpływ wyżów z centrum nad Bałkanami. Od 4 II Polska znajdowała się w zasięgu niżów znad północnego Atlantyku i Skandynawii oraz związanych z nimi frontów atmosferycznych. W ostatnich dniach omawianego okresu, zwłaszcza w południowej części kraju, zaznaczył się również wpływ wyżu z centrum nad Francją. Najwyższe dobowe sumy opadów zmierzono na stacjach wysokogórskich. W dniu 6 II na Śnieżce i 7 II na Kasprowym Wierchu wyniosły one niemal 23 mm. W części nizinnej największy opad wystąpił 6 II w Świnoujściu, gdzie suma dobowa przekroczyła 18 mm. W przypadku sum łącznych, oprócz stacji górskich (67-73 mm) największe wartości zanotowano na wybrzeżu: 40 mm w Świnoujściu i 36 mm w Łebie. Znaczne sumy zmierzono również na Ziemi Lubuskiej (35 mm w Gorzowie Wielkopolskim i Zielonej Górze) oraz Poznaniu (30 mm).

W dniach 11-20 II Polska początkowo znajdowała się pod wpływem niżów z centrum nad Europą środkową i wschodnią, a następnie w zasięgu wyżu znad Francji, który przemieszczał się w kierunku wschodnim, nad obszar Morza Czarnego. Sytuacja synoptyczna w dniach 13-14 II sprzyjała napływowi mas powietrza zwrotnikowego z sektora południowego. Następnie nad obszar kraju przemieściły się fronty atmosferyczne, których działalność była związana z niżami znad Morza Norweskiego, Skandynawii i Morza Bałtyckiego. Jedynie w dniu 18 II Polska przejściowo znalazła się w zasięgu wyżów znad południa Europy. W omawianych dniach najwyższą sumę dobową opadu, dochodzącą do 17 mm, odnotowano 17 II na Kasprowym Wierchu, natomiast dzień wcześniej w Łebie wielkość opadu wyniosła 15,5 mm. Wartości przekraczające 12 mm odnotowano 16 II

w Chojnicach i Toruniu oraz 17 II w Katowicach. Regiony północne, zwłaszcza Pomorze Gdańskie, odznaczały się najwyższymi sumami łącznymi. W Łebie i Chojnicach wyniosły one odpowiednio 41 mm i 38 mm, a w Świnoujściu, Olsztynie i Suwałkach 33-34 mm. Wartości z zakresu 31-32 mm zmierzono w Gorzowie Wielkopolskim i na Kasprowym Wierchu. Z kolei w Nowym Sączu i Raciborzu opady były najniższe i kształtowały się poniżej 10 mm.

W pierwszych dniach okresu 21-28 II obszar Polski znajdował się w zasięgu niżów znad Skandynawii i Bałtyku, a przejściowo pod wpływem klina wyżowego z południowego zachodu. Od 24 II wyraźny był również wpływ ośrodków wyżowych z centrum nad Alpami i Bałkanami, a następnie również nad Francją i Niemcami. Jedynie 25 II przez obszar Polski przetoczył się front atmosferyczny, związany z niżem znad południowej Skandynawii. W ostatnich dniach warunki pogodowe były kształtowane przez ośrodek wyżowy z centrum nad Bałtykiem i krajami bałtyckimi, którego układ generował napływ mas powietrza o charakterze polarno-kontynentalnym z sektora wschodniego. W omawianym okresie na terenie Polski notowano stosunkowo nieduże sumy opadów. Największe zmierzono 21 II w Suwałkach oraz 27 II na Kasprowym Wierchu (6-7 mm). Z kolei sumy łączne przekraczały 25 mm na Kasprowym Wierchu, 11 mm w Zielonej Górze i 10 mm na Śnieżce. Najniższe wartości odnotowano w Sulejowie, Toruniu, Nowym Sączu i Kaliszu, gdzie kształtowały się one poniżej 2 mm.

Warunki cyrkulacyjne, podobnie jak w styczniu, cechowała przewaga adwekcji mas powietrza z sektora W. Stanowiły one ponad 65% wszystkich odnotowanych przypadków, przekraczając tym samym wartość zaobserwowaną w 2021 r. o ponad 25%. Spośród pozostałych typów cyrkulacji, największą częstością odznaczała się cyrkulacja S, której udział wyniósł niemal 16%. Stwierdzona wartość przewyższała zeszłoroczną o ponad 1%. Nieco mniejsza częstość napływu została zanotowana dla sektora N. Przekraczała ona 13%, będąc o 20% niższą niż w lutym 2021 r. Spadek frekwencji względem roku poprzedniego zanotowano również dla napływów mas powietrza z kierunku E oraz dla cyrkulacji miejscowej Z. W roku bieżącym ich częstość wyniosła odpowiednio 4% i 2% i była niższa w porównaniu do 2021 r. o 6% i 2%.

Znaczny udział napływu mas powietrza z sektorów W i S znacznie przyczynił się do występowania stosunkowo wysokich wartości temperatury powietrza w Polsce. Warunki termiczne w lutym na terenie całego kraju cechowały się wysokimi, dodatnimi anomaliami termicznymi, w przypadku większości rozpatrywanych stacji przekraczającymi 3°C. Największe odchylenie wystąpiło w Białymstoku, gdzie średnia temperatura lutego była wyższa od wartości wieloletniej o 3,9°C. Niewiele niższe odchylenia, kształtujące się w przedziale 3,7-3,8°C, stwierdzono na Śląsku (Legnica, Racibórz), w Wielkopolsce (Poznań), a także na Suwalszczyźnie (Suwałki), Lubelszczyźnie (Włodawa) i Kujawach (Toruń). W przypadku kolejnych dziesięciu stacji odchylenia od normy wyniosły 3,2-3,5°C, zaś na Pomorzu (Świnoujście, Łeba) osiągnęły 3,0°C. Najniższe anomalie zaobserwowano w najwyższych piętrach gór (Śnieżka, Kasprowy Wierch), gdzie średnia temperatura lutego przekraczała wartość normatywną o 0,4°C. Uwzględniając wszystkie stacje, średnia obszarowa temperatura w lutym była wyższa od normy o 3,2°C. W przypadku średnich

wartości temperatury w omawianym miesiącu, najcieplejsze były regiony zachodnie, z wartościami dochodzącymi do 5,0°C (Legnica) oraz 4,3-4,4°C (Poznań, Świnoujście, Gorzów Wielkopolski). Natomiast na wschodzie Polski temperatura powietrza wyniosła 1,1°C w Suwałkach, 1,9°C w Lesku oraz 2,0-2,4°C w Białymstoku, Włodawie i Olsztynie. W górach średnie wartości dla lutego różnicowały się od -7,4°C na Kasprowym Wierchu do -5,8°C na Śnieżce.

Wielkości opadów w lutym cechowały się dużym zróżnicowaniem przestrzennym. W świetle klasyfikacji stosowanej w IMGW-PIB, warunki opadowe w omawianym miesiącu różnicowały się one od suchych do skrajnie wilgotnych. Najbardziej intensywne opady występowały na Pomorzu i Ziemi Lubuskiej. W Łebie, Świnoujściu, Chojnicach i Gorzowie Wielkopolskim zmierzone sumy przekraczały wartość wieloletnią od 112-148%, a w Zielonej Górze były dwukrotnie od niej wyższe, co klasyfikowało omawiany okres na granicy klas warunków bardzo wilgotnych i skrajnie wilgotnych. W przypadku pięciu stacji (Toruń, Suwałki, Olsztyn, Poznań, Włodawa), sumy opadów stanowiły 160-195% normy, odpowiadając tym samym warunkom z klasy bardzo wilgotnych. Natomiast w Sandomierzu stwierdzona suma kształtowała się na granicy warunków wilgotnych i bardzo wilgotnych. Kolejnych sześć stanowisk, reprezentujących wschodnią część Wielkopolski (Kalisz), Podlasie (Białystok), Polskę centralną (Sulejów), Górny Śląsk (Katowice) i góry (Śnieżka, Kasprowy Wierch), cechowało się warunkami wilgotnymi, z sumami przekraczającymi średnią wieloletnią o 26-43%. Tym samym, aż na siedemnastu stacjach odnotowano w lutym wyraźną nadwyżką opadów. Warunki opadowe zbliżone do normy zanotowano w Gdańsku i na Śląsku (Legnica, Racibórz), natomiast na południowym wschodzie, w Lesku i Nowym Sączu, stwierdzono 32-48% deficyt opadów, odpowiadający warunkom suchym. Średnia obszarowa suma w lutym wyniosła 55 mm. Najwyższe wartości zmierzono w najwyższych partiach gór (124 mm na Kasprowym Wierchu i 113 mm na Śnieżce) oraz na stacjach reprezentujących Pomorze i Ziemię Lubuską: w Łebie (85 mm), Świnoujściu (80 mm) oraz w Gorzowie Wielkopolskim, Zielonej Górze i Chojnicach (71-73 mm). Natomiast najmniejszą wartość, nie osiagającą 20 mm, zaobserwowano w Nowym Sączu.

W omawianym miesiącu zdecydowana największa ilość opadów spadła podczas występowania cyrkulacji W. Średnio, na terenie całego kraju, opady notowane przy adwekcji z tego kierunku stanowiły ponad 85%, a w przypadku połowy stacji nawet ponad 90% sumy ogólnej dla tego miesiąca. Najwyższy udział zanotowano głównie na stacjach reprezentujących regiony północne i centralne. W sposób szczególny przewaga sektora W zarysowała się w Kaliszu i Sulejowie, gdzie cała miesięczna suma była związana z adwekcjami ze wspomnianego kierunku (tabela 22). Niewielka ilość opadów, w odniesieniu do sumy miesięcznej, została zmierzona w górach, zwłaszcza w regionie karpackim. W Lesku i na Kasprowym Wierchu stanowiła 66-67% sumy całkowitej. Z kolei w Nowym Sączu i na Śnieżce w czasie adwekcji z W zanotowano 72-74% opadów. Z uwagi na dużą ilość opadów stwierdzonych podczas cyrkulacji W, udział dla pozostałych sektorów był zdecydowanie niższy. Nieco ponad 9% sumy ogólnej opadów było związanych z adwekcjami z N. W tym przypadku obszary górskie cechowały się udziałem

przekraczającym 22-26% (Śnieżka, Lesko, Kasprowy Wierch, Nowy Sącz), co częściowo związane było z większym oddziaływaniem efektu orograficznego. Oprócz Kalisza i Sulejowa, najmniejszymi opadami z tego sektora odznaczał się Toruń, gdzie ich stosunek do wielkości całkowitej nie osiągał 1%. Pomimo 14% częstości adwekcji mas powietrza z S, opady dla tego typu cyrkulacji były dość niskie, a ich suma względem wartości ogólnej wyniosła tylko 3%. Warmia i Mazury cechowały się największym udziałem (20% w Suwałkach i 13% w Olsztynie), podczas gdy na większości obszaru Polski opadów w czasie adwekcji z S nie stwierdzono. Śladowe ilości zostały zanotowane również dla cyrkulacji E i Z, w przypadku których średnia wielkość kształtowała się na poziomie 0,2-0,5%.

Marzec

Marzec 2022 r. cechował się wartościami temperatury zbliżonymi do normy, natomiast w zakresie warunków opadowych charakteryzował się bardzo wysokim deficytem.

Warunki pogodowe w pierwszej dekadzie marca były kształtowane przez ośrodki wyżowe znad Europy środkowej i wschodniej, a następnie przez wyż z centrum nad Skandynawią, którego układ generował adwekcję chłodnych mas powietrza z sektora północnego i wschodniego. W kolejnych dniach największy wpływ na pogodę miał wał wyżowy, rozciągający się od Wielkiej Brytanii do Ukrainy. Przejściowo zaznaczył się również wpływ niżu znad północnej Rosji. W ostatnich dniach omawianego okresu Polska znajdowała się pod wpływem ośrodków wysokiego ciśnienia znad Niemiec i Skandynawii, a w ostatnim z rozpatrywanych dni również z Rosji, co sprzyjało napływowi chłodnych mas powietrza arktycznego i polarno-kontynentalnego. Na większości obszaru Polski opady nie występowały lub ich maksymalne dzienne sumy nie osiągały 1 mm. Najwyższe wartości dobowe stwierdzono w górach – 20 mm na Kasprowym Wierchu (9 III) i 10 mm na Śnieżce (4 III). Na tych stacjach odnotowano też najwyższe sumy łączne (42 mm i 21 mm). Na pozostałym obszarze największe opady występowały w regionie karpackim (Nowy Sącz, Lesko), gdzie osiągały 5-6 mm.

W dniach 11-20 III pogodę początkowo kształtowały wyży, których centrum położone było na terenie Europy środkowej, wschodniej oraz nad Bałkanami. W dniach 13-15 III ich układ sprzyjał napływowi ciepłych mas powietrza z południa. W tym okresie przejściowo zaznaczył się również wpływ frontu atmosferycznego, związanego z niżem znad północnego Atlantyku. W drugiej połowie dekady Polska znalazła się pod wpływem niżu znad Sudetów, przemieszczającego się na wschód, a następnie w zasięgu rozległego wyżu znad Rosji i wału wyżowego, rozciągającego się od Wysp Brytyjskich do Białorusi. Odnotowano również działalność frontalną, związaną z niżem znad północnej Skandynawii. W ostatnim dniu obszar kraju znajdował się w zasięgu ośrodków wysokiego ciśnienia znad centralnej i wschodniej części Europy. Opady atmosferyczne zwykle nie występowały lub cechowały się śladową ilością. Najwyższą dobową sumę, wynoszącą 10 mm, odnotowano 15 III w Raciborzu. W przypadku pozostałych stacji, największe wartości zmierzono w tym samym dniu na Kasprowym Wierchu (5,2 mm) i Śnieżce (3,4 mm).

W pierwszych dniach trzeciej dekady marca Polska wciąż znajdowała się w zasięgu wyżów z centrum na wschodzie Europy. Następnie pogoda kształtowana była przez ośrodki wysokiego ciśnienia znad Europy zachodniej, zwłaszcza przez rozległy wyż znad Morza Północnego i Wysp Brytyjskich. W dniu 26 III nad obszar kraju nasunął się z północy front atmosferyczny, związany z niżem znad północnej Rosji. Następnie Polska znalazła się pod wpływem wału wyżowego, rozciągającego się od Wielkiej Brytanii do wschodniej Słowacji. Od 28 III największy wpływ na pogodę miał niż, którego centrum przemieszczało się znad Finlandii do północnej Rosji, a następnie ośrodki niżowe znad Europy środkowej i wschodniej. Najwyższe dobowe sumy opadu odnotowano na południu Polski. W dniu 31 III w Lesku zmierzono sumę wynoszącą ponad 28 mm, a w Katowicach i Sandomierzu 15,1 mm i 13,5 mm. Lesko cechowało się również najwyższą łączną sumą opadu, przekraczającą 36 mm. Na Kasprowym Wierchu i w Katowicach wielkości te kształtowały się w przedziale 26-29 mm, a w Sandomierzu wielkość całkowita osiągnęła prawie 25 mm. W regionach północnych i zachodnich opady nie występowały bądź cechowały się niewielkimi wartościami.

Pod względem cyrkulacyjnym marzec był miesiącem o względnie wyrównanym udziale poszczególnych typów cyrkulacji, niemniej jednak, widoczna była przewaga adwekcji mas z sektora N. Stanowiły one 1/3 wszystkich odnotowanych przypadków i była to częstość porównywalna z obserwowaną w 2021 r. W stosunku do roku poprzedniego wyraźnie wzrósł udział cyrkulacji E. W marcu 2022 r. wyniósł on 23%, przy mniej niż 1% udziale zanotowanym rok wcześniej. Większa była również częstość występowania napływów mas powietrza z kierunku S. Wyniosła ona niespełna 14% i przekraczała zeszłoroczną o 4%. Zdecydowanie zmalała natomiast frekwencja cyrkulacji W. Liczba przypadków z jej udziałem kształtowała się na poziomie 19% i była niższa względem 2021 r. o 33%. Najrzadziej spotykanym typem pogody była cyrkulacja miejscowa Z, której częstość była ponad dwukrotnie wyższa niż w roku ubiegłym.

Temperatura powietrza w marcu była zwykle zbliżona do wartości normatywnej. Średnia obszarowa była wyższa od normy o 0,2°C, a największe odchylenia dodatnie stwierdzono na Ziemi Lubuskiej, Pomorzu Gdańskim, Warmii i w Wielkopolsce. W Zielonej Górze anomalia była najwyższa i wyniosła 1,1°C. Z kolei w Gorzowie Wielkopolskim, Chojnicach, Kaliszu, Poznaniu i Olsztynie wielkości temperatury przekraczały średnią dla okresu 1991-2020 o 0,5-0,7°C. Natomiast w przypadku czterech stacji, średnia wartość dla marca była niższa od normy. W regionie karpackim, w Nowym Sączu i Lesku, anomalie wyniosły odpowiednio -0,8°C i -0,5°C, natomiast na Śląsku (Legnica, Racibórz) średnia marca była niższa od wartości normatywnej o 0,1-0,3°C. Na terenie Torunia, Białegostoku i Katowic stwierdzona wartość była równa normie. Średnia obszarowa temperatura powietrza w marcu wyniosła 2,6°C i osiągała najwyższe wartości na Ziemi Lubuskiej i Wielkopolsce. W Zielonej Górze i Gorzowie Wielkopolskim kształtowała się w przedziale 4,8-5,1°C, a w Kaliszu i Poznaniu na poziomie 4,3°C. Wartości przekraczające 4°C odnotowano również w Legnicy i Świnoujściu. Z kolei północnowschodnie regiony cechowały się wartościami najniższymi. W Suwałkach średnia temperatura marca wyniosła 1,3°C, a w Białymstoku 1,7°C. Stosunkowo niską temperaturą cechowały się również

inne stacje położone w Polsce wschodniej – Lesko, Włodawa i Olsztyn (2,1-2,6°C), W przypadku stacji wysokogórskich, wartości temperatury kształtowały się od -4,1°C na Śnieżce, do -5,8°C na Kasprowym Wierchu.

Marzec był najbardziej suchym miesiącem 2022 r., zarówno pod względem sum bezwzględnych opadu, jak i ich odniesienia do normy. Średnia obszarowa suma wyniosła nieco ponad 14 mm, a stosunek wartości miesięcznych do średniej wieloletniej dla uwzględnionych stacji kształtował się średnio na poziomie 34%, odpowiadając tym samym warunkom bardzo suchym. Największy deficyt został zaobserwowany na obszarze rozciągającym się od północnego wschodu, przez Pomorze, Kujawy, centrum kraju, aż do zachodnich regionów Polski. Na trzech stacjach, w Toruniu, Gdańsku i Olsztynie, opadów w ogóle nie stwierdzono. Na pozostałym obszarze Pomorza (Świnoujście, Łeba, Chojnice), w Wielkopolsce (Kalisz, Poznań), na Ziemi Lubuskiej (Zielona Góra, Gorzów Wielkopolski), Podlasiu (Białystok) i Suwalszczyźnie (Suwałki) opady stanowiły od niespełna 1% do 7% normy. Warunki z klasy skrajnie suchych odnotowano również w Legnicy i Sulejowie, gdzie stosunek sumy miesięcznej do normy wyniósł 20-21%. Śnieżka była jedyną stacją z warunkami bardzo suchymi (38% normy), natomiast Katowice, Włodawa i Kasprowy Wierch cechowały się deficytem dochodzącym do 30-39%, co było równoznaczne z warunkami suchymi. Warunki z klasy normalnych (choć też z sumami kształtującymi się poniżej normy) stwierdzono natomiast na południowym wschodzie (Lesko, Sandomierz, Nowy Sącz) oraz w Raciborzu. Pod względem miesięcznych sum opadów, najwyższe wartości zmierzono w górach: 79 mm na Kasprowym Wierchu, 41 mm w Lesku i 34 mm na Śnieżce. W niżej położonych regionach sumy miesięczne przekraczające 29 mm zanotowano w Sandomierzu i Katowicach. W przypadku ponad połowy stacji, osiągnęły one 8 mm. Oprócz wspomnianych wcześniej trzech stacji, gdzie opady nie występowały, bardzo niskie sumy, kształtujące się poniżej 1 mm, zmierzono w Kaliszu, Chojnicach i Świnoujściu.

W marcu przewaga adwekcji mas powietrza z sektorów N i E znalazła odzwierciedlenie w stosunkowo wysokim udziale opadów dla tych typów cyrkulacji (tabela 3). Średnio wyniósł on 30% dla cyrkulacji N i 26% dla typu E. W przypadku sektora N, najwięcej opadów w odniesieniu do wielkości całkowitej zanotowano w Chojnicach i Poznaniu, gdzie cała suma była związana z tym sektorem. Należy jednak pamiętać, że w marcu często były notowane niskie lub śladowe ilości opadów, co skutkowało dość częstymi sytuacjami, w przypadku których cała stwierdzona suma była zaobserwowana dla jednego kierunku adwekcji. Oprócz Chojnic i Poznania, znacznym udziałem opadów dla sektora N cechowały się również Suwałki (ponad 90%), zaś na terenie siedmiu stacji opadów dla omawianego typu cyrkulacji nie stwierdzono. Rozpatrując opady zmierzone w czasie występowania napływów z E, najwyższe wartości odnotowano w Polsce zachodniej i południowej. W Kaliszu cała suma opadów w marcu była związana z tym sektorem, a w Lesku i Legnicy udział ten kształtował się na poziomie 68%. W Zielonej Górze, Katowicach i Nowym Sączu kierunek E odpowiadał za ponad połowę sumy miesięcznej. Z kolei na północy Polski opadów dla tego sektora nie odnotowano. Regiony północne były natomiast uprzywilejowane w zakresie przychodu wody z opadów

przy adwekcjach z W. W Świnoujściu, Łebie i Gorzowie Wielkopolskim cała suma była związana z tym typem cyrkulacji, natomiast średni udział dla całej Polski wyniósł 17%. Spośród pozostałych stacji znaczącym udziałem cechowała się Zielona Góra (30%), a także Białystok, Lesko i Nowy Sącz (11-14%), natomiast dla dziesięciu stacji opadów nie odnotowano cyrkulacji z W. Brak opadów cechował również zdecydowaną większość stacji dla cyrkulacji S. W tym przypadku, opady były obserwowane jedynie na południowym wschodzie: w Sandomierzu (37%), na Kasprowym Wierchu (12%), w Nowym Sączu (9%) i Lesku (4%). Natomiast sumy notowane w czasie występowania cyrkulacji miejscowej Z, których średni udział wyniósł 10%, cechowały się najwyższymi wartościami w Sulejowie (75%), a także we Włodawie (57%), Katowicach (35%) i na Śnieżce (25%).

Kwiecień

Kwiecień 2022 r. pod względem termicznym był miesiącem bardzo chłodnym, natomiast w kontekście opadów atmosferycznych cechował się znacznym zróżnicowaniem.

W pierwszych dniach kwietnia warunki pogodowe były wciąż w największym stopniu uwarunkowane działalnością niżową, jednak coraz bardziej zaznaczał się, zwłaszcza w północnych regionach kraju, wpływ wyżów znad Oceanu Atlantyckiego, Skandynawii i północnej Rosji. Ich układ generował napływ chłodnych mas powietrza z sektorów północnego i wschodniego. W dniu 4 IV nad Polskę przemieścił się front atmosferyczny, związany z niżem znad Bałtyku, a w kolejnych dniach fronty, których działalność była związana z niżami znad Morza Północnego i południowej Skandynawii. Okresami zaznaczył się również wpływ niżów z centrum nad Europą środkową i wschodnią. W ostatnim dniu pierwszej dekady wyraźniejszy był wpływ wyżu znad Francji i południowych Niemiec. Najwyższe sumy dobowe zaobserwowano na południu Polski. W dniu 8 IV w Katowicach i 1 IV na Kasprowym Wierchu zmierzono 15 mm opadu, natomiast najwyższe sumy we Włodawie, Sandomierzu, Raciborzu i na Śnieżce kształtowały się w przedziale 11-12 mm. Na stacjach wysokogórskich stwierdzono najwyższą łączną sumę opadu (43-45 mm), natomiast w części nizinnej największą wartość zmierzono we Włodawie (35 mm). Z kolei w Gdańsku łączna suma nie osiągnęła 7 mm.

W pierwszych dniach okresu 11-20 IV Polska znajdowała się pod wpływem wyżów z centrum nad Europą środkową, a od 14 IV pod wpływem niżu znad południowej Skandynawii i Morza Bałtyckiego, któremu towarzyszył front atmosferyczny. W dniu 16 IV wyraźniej zaczął się zaznaczać wpływ ośrodka wysokiego ciśnienia z centrum nad Danią i Norwegią, a w kolejnych dniach nad Bałtykiem i Finlandią. W ostatnich dniach dekady przez obszar kraju przemieszczał się front atmosferyczny, który był związany z niżem znad wschodniej Ukrainy. Najwyższą sumę dobową opadu zmierzono 19 IV w Białymstoku, gdzie wyniosła ona ponad 20 mm. Z kolei w dniach 14 IV i 15 IV wielkości dobowe na Kasprowym Wierchu osiągnęły 17,7 mm. W dniu 15 IV znaczną sumę (10 mm) stwierdzono również w Katowicach. Zdecydowanie największą łączną ilość opadu zanotowano na Kasprowym Wierchu, gdzie osiągnęła ona 52 mm. W niższych piętrach najbardziej obfite opady występowały w Białymstoku (22 mm), Toruniu (18 mm)

oraz Poznaniu i Suwałkach (17 mm). Natomiast w Gdańsku wielkość łączna kształtowała się poniżej 1 mm.

W dniach 21-30 IV warunki pogodowe były uwarunkowane głównie działalnością niżową. Polska początkowo znajdowała się w zasięgu niżów znad Białorusi, Ukrainy i Węgier. Następnie od południa nad obszar kraju przemieścił się niż z towarzyszącymi mu frontami atmosferycznymi. Dopiero w ostatnich dniach miesiąca wyraźniejszy był wpływ ośrodków wysokiego ciśnienia z centrum głównie na Wyspach Brytyjskich, nad Bałtykiem i w krajach bałtyckich, a także na wschód od granic Polski. Zdecydowanie największy opad w omawianym okresie wystąpił 25 IV w Nowym Sączu, gdzie zmierzono wartość zbliżoną do 20 mm. Dzień wcześniej dość wysokie sumy odnotowano również na Śląsku i we wschodniej Wielkopolsce – 11 mm w Katowicach, prawie 13 mm w Legnicy i ponad 10 mm w Kaliszu. Nowy Sącz odznaczał się również najwyższą sumą łączną opadu, przekraczającą 27 mm. Wartość 15 mm zanotowano w Sandomierzu i na Kasprowym Wierchu, natomiast suma całkowita w Białymstoku, Legnicy i Katowicach osiągnęła 12-13 mm. Z kolei na Pomorzu (Świnoujście, Łeba, Gdańsk, Chojnice) oraz w Gorzowie Wielkopolskim i Poznaniu ilość opadów nie osiągnęła 1 mm.

Pod względem cyrkulacyjnym kwiecień cechował się przewagą adwekcji z sektora W. Jej częstość w omawianym miesiącu dochodziła do 37% i była niższa o 9% w porównaniu do roku ubiegłego. Spadek zanotowano również dla liczby adwekcji mas powietrza z kierunku S, których częstość w porównaniu do 2021 r. zmniejszyła się dwukrotnie – z 18% do 9%. W przypadku cyrkulacji N, E oraz miejscowej Z, odnotowano tendencję wzrostową. Liczba przypadków adwekcji z sektora N wyniosła 27%, co było wartością wyższą od zeszłorocznej o 6%. Nieznacznie zwiększyła się również frekwencja cyrkulacji E. W kwietniu przekroczyła ona 13%, przy 12% notowanych w 2021 r. Podobną częstością występowania cechowała się również cyrkulacja miejscowa Z. Stwierdzona dla niej wartość przekraczała częstość notowaną w kwietniu 2021 r. o 10%.

W zakresie warunków termicznych, kwiecień był miesiącem o zdecydowanie niższych wartościach temperatury względem normy. Średnia obszarowa temperatura powietrza w Polsce była niższa od wartości wieloletniej o 1,9°C, przy czym obszary położone na północy charakteryzowały się mniejszymi odchyleniami. Średnie anomalie termiczne na Pomorzu Gdańskim, w Łebie i Gdańsku, wyniosły odpowiednio -1,2°C i -1,3°C, natomiast w Olsztynie, Świnoujściu, Gorzowie Wielkopolskim i Toruniu różnicowały się od -1,5°C do -1,4°C. Z kolei południe Polski cechowały znaczne anomalie ujemne. Największe anomalie wystąpiły na Śnieżce, gdzie średnia temperatura kwietnia była niższa od normy o 2,9°C. Wyraźne odchylenia zanotowano również w Lesku i Włodawie (-2,5°C), Sandomierzu i Katowicach (-2,4°C) oraz na Kasprowym Wierchu i w Raciborzu (-2,3°C). Średnią niższą od wartości wieloletniej o 2,3°C zaobserwowano z kolei w Białymstoku. Z punktu widzenia średniej miesięcznej temperatury powietrza, najcieplejszymi warunkami odznaczały się regiony zachodnie. Na Ziemi Lubuskiej średnie wartości kształtowały się w przedziale 7,9-8,0°C, a w Wielkopolsce 7,6-7,9°C. W Legnicy, reprezentującej nizinną część Dolnego Śląska, średnia temperatura kwietnia wyniosła 7,7°C. Wschód Polski oraz Pomorze Gdańskie odznaczały się wartościami najniższymi.

W Suwałkach i Białymstoku średnia dla kwietnia osiągnęła 5,5-5,6°C, zaś w Łebie, Lesku, Włodawie, Gdańsku i Chojnicach kształtowała się w przedziale 5,7-6,3°C. Na stacjach wysokogórskich wartości oscylowały w zakresie od -2,9°C na Śnieżce do -3,9°C na Kasprowym Wierchu.

Średnia obszarowa suma opadów atmosferycznych w omawianym miesiącu była zbliżona do normy, jednak warunki opadowe na terenie Polski wykazywały znaczne zróżnicowanie. Największą nadwyżkę opadu, dochodzącą do 50%, zmierzono w Białymstoku, co odpowiadało wartości granicznej między warunkami wilgotnymi i bardzo wilgotnymi. Sumy wyraźnie przekraczające wartość normatywną zostały również stwierdzone na Dolnym Śląsku (Legnica, Śnieżka), Wielkopolsce (Poznań) oraz w Kotlinie Sandomierskiej (Sandomierz), gdzie stanowiły 127-135% normy, klasyfikując kwiecień jako miesiąc wilgotny. Ponad połowa rozpatrywanych stacji odznaczała się warunkami normalnymi, z wielkościami opadów odpowiadającymi 79-122% normy, przy czym w przypadku siedmiu stacji notowana była nadwyżka opadów. Z kolei największym deficytem cechowały się obszary reprezentujące Warmię i Pomorze Gdańskie. W Olsztynie i Chojnicach stosunek sumy miesięcznej do normy wyniósł odpowiednio 73% i 59%, co odpowiadało warunkom suchym. Natomiast w Gdańsku wielkość stanowiąca 33% sumy wieloletniej klasyfikowała omawiany miesiąc jako bardzo suchy. W kontekście sum bezwzględnych, średnia obszarowa wartość dla całego kraju wyniosła nieco ponad 40 mm, a największe sumy zostały zmierzone w najwyższych piętrach Tatr (110 mm) i Karkonoszy (69 mm). W niżej położonych obszarach sumy różnicujące się od 50 mm do 57 mm stwierdzono w Katowicach, Sandomierzu, Nowym Sączu i Białymstoku. Natomiast na Pomorzu Gdańskim i Warmii opady miesięczne wyniosły niespełna 8 mm w Gdańsku oraz 22 mm w Chojnicach i Olsztynie.

Pod względem cyrkulacyjnym, dość wysoka frekwencja adwekcji mas powietrza z W przyczyniła się do wyraźnej przewagi tego sektora w kontekście przychodu wody z opadów (tabela 24). Średni udział opadów w sumie całkowitej wyniósł w tym przypadku 54% i był najwyższy na Pomorzu (Świnoujście, Łeba, Gdańsk), gdzie przekraczał 95%. Oprócz powyższych stacji, znaczne sumy zostały zmierzone również w Gorzowie Wielkopolskim i Poznaniu (ponad 80%) oraz w Chojnicach (77%). Z kolei w regionie karpackim i na Podlasiu stosunek opadów przy adwekcji z W do wielkości całkowitej był najmniejszy i wyniósł 9% w Nowym Sączu, 22% w Białymstoku oraz 25% na Kasprowym Wierchu. Oprócz kierunku W, typami cyrkulacji cechującymi się największym udziałem opadów były sektory N i S, dla których wielkości opadów względem sumy miesięcznej kształtowały się w granicach 16-17%. W przypadku adwekcji z N, najwyższe sumy zmierzono w regionie karpackim, gdzie wahały się one od 27% w Lesku do 38% w Nowym Sączu i 51% na Kasprowym Wierchu. Wartości dochodzące do 27% zanotowano również na zachodzie, w Zielonej Górze i Kaliszu. Z kolei na północy Polski udział opadów był najniższy. W Suwałkach, przy napływie mas powietrza z sektora W, opadów w ogóle nie stwierdzono. Regiony północno-wschodnie były natomiast uprzywilejowane w kontekście opadów dla cyrkulacji E. W czasie jej występowania przychód wody z opadów kształtował się w zakresie 55% w Białymstoku, 50% w Olsztynie

i 39% w Suwałkach. Natomiast na Pomorzu (Świnoujście, Łeba), w Poznaniu i Włodawie opady nie występowały bądź ich udział był mniejszy niż 1%. Opady atmosferyczne występujące podczas adwekcji z S cechowały się niskimi sumami, których średnia wartość względem wielkości miesięcznej wyniosła niespełna 5%. Na większości obszaru Polski opady nie były notowane, a największy udział stwierdzono w Nowym Sączu (38%), na Górnym Śląsku (18-22% w Raciborzu i Katowicach) i w Białymstoku (14%). W przypadku cyrkulacji miejscowej Z, wartości były większe, a ich średni udział dochodził do 9%. Przyczyniły się do tego przede wszystkim wysokie sumy we Włodawie (45%), Legnicy (37%), Suwałkach (24%) oraz w Sulejowie i na Kasprowym Wierchu (20%). Natomiast na terenie połowy uwzględnionych stacji, opadów nie stwierdzono.

Maj

Maj 2022 r. pod względem termicznym był zbliżony do normy, natomiast pod względem opadowym odznaczał się wyraźnym deficytem.

W pierwszych dniach maja pogoda nad Polską była kształtowana głównie przez ośrodki wyżowe, jedynie przejściowo obserwowany był wpływ niżu z centrum nad Morzem Bałtyckim oraz frontu atmosferycznego, związanego z niżem znad północnej Rosji. Następnie zaznaczył się wpływ wyżu, którego centrum przemieszczało się znad Morza Bałtyckiego w kierunku wschodnim. Od 5 V Polska znalazła się pod wpływem ośrodków niżowych znad północnej Europy i towarzyszących im frontów atmosferycznych, natomiast w ostatnim okresie pierwszej dekady maja, największy wpływ na pogodę miał ośrodek wysokiego ciśnienia, którego centrum przemieszczało się znad Morza Północnego na wschód Europy. Największe opady atmosferyczne były obserwowane na południu Polski. We Włodawie suma dobową w dniu 6 V wyniosła 14 mm, zaś 8 V wielkości opadów na Kasprowym Wierchu i Śnieżce przekroczyły odpowiednio 8 mm i 7 mm. Niewiele niższą wartość (6 mm) odnotowano 5 V w Katowicach i 6 V w Suwałkach. W dniach 1-10 V na Kasprowym Wierchu spadło łącznie 31 mm opadu, a na Śnieżce 11 mm. W przypadku Włodawy wielkość opadu z dnia 6 V (14 mm) była też sumą całkowitą dla omawianego okresu. Na zachodzie Polski opady nie występowały (Kalisz, Zielona Góra), bądź też ich suma łączna nie osiągała 1 mm (Poznań, Legnica). Wartość poniżej 1 mm zanotowano również w Sandomierzu.

Na początku drugiej dekady maja warunki pogodowe były wciąż kształtowane przez wyż z centrum na wschód od granic Polski, jednak wkrótce z północnego zachodu nad obszar kraju dotarł front atmosferyczny, związany z niżem znad Skandynawii. Następnie największy wpływ na pogodę miała bruzda niskiego ciśnienia, rozciągająca się od Morza Norweskiego do północnej Rosji, której układ generował napływ nad Polskę mas powietrza polarno-morskiego z zachodu. W kolejnych dniach Polska znalazła się pod wpływem ośrodków wysokiego ciśnienia, z centrum nad Europą zachodnią, Bałkanami, a także Morzem Norweskim i Skandynawią. Od 18 V pogodę kształtował głównie wyż, przemieszczający się znad Morza Bałtyckiego, przez terytorium Polski, na południe Europy. Pod koniec omawianego okresu przez Polskę przeszły fronty atmosferyczne, związane z niżem znad Bałtyku i południowej Skandynawii. Najwyższą sumę dobową zanotowano 17 V na Śnieżce (22,2 mm), a w obszarach nizinnych w dniu 20 V w Kaliszu (18,5 mm).

Łączna suma opadów na Śnieżce w drugiej dekadzie maja wyniosła aż 52 mm, natomiast w Chojnicach, Poznaniu, Kaliszu, Zielonej Górze i na Kasprowym Wierchu kształtowała się w przedziale 13-16 mm. Z kolei w Sandomierzu wielkość całkowita wyniosła zaledwie 0,1 mm.

W dniach 21-31 V warunki pogodowe były początkowo kształtowane przez ośrodki niskiego ciśnienia i związane z nimi fronty atmosferyczne, które szybko ustąpiły miejsca wyżowi znad Europy zachodniej, przemieszczającego się w kierunku krajów bałtyckich. W dniach 24-27 V przez Polskę przetaczały się fronty atmosferyczne, związane z kolejnymi niżami znad Europy północnej, których układ generował napływ mas powietrza polarno-morskiego z sektora zachodniego. Pod koniec dekady pogoda była uwarunkowana działalnością niżów z centrum nad Skandynawią i wschodnimi regionami Polski. Przejściowo zaznaczył się wpływ wyżu z centrum na południu kraju, a w ostatnim dniu również ośrodka wyżowego znad Europy zachodniej. Najwyższą dobową sumę opadu zmierzono w dniu 25 V w Katowicach, gdzie wyniosła ona 24 mm, a także 21 V w Suwałkach (22 mm). Wielkości wynoszące 17-18 mm zaobserwowane ponadto 25 V we Włodawie i 30 V w Suwałkach. Północne regiony Polski cechowały się z reguły wyższymi sumami łącznymi. W Suwałkach całkowita ilość opadu dochodziła do 68 mm, w Świnoujściu do 59 mm, a w Białymstoku i Chojnicach wyniosła odpowiednio 40 mm i 46 mm. Z kolei w rejonie karpackim, na Kasprowym Wierchu i w Nowym Sączu, suma łączna kształtowała się w przedziale 8-9 mm.

Maj był miesiącem cechującym się wyraźną przewagą adwekcji mas powietrza z sektora W. Stanowiły one niemal 60% wszystkich odnotowanych przypadków, a ich częstość była 17% wyższa w stosunku do roku ubiegłego. Drugim sektorem pod względem liczby napływów był kierunek S, który odpowiadał za ponad 16% przypadków. Jednocześnie była to wartość o 18% niższa w porównaniu do maja 2021 r. Wyraźną tendencję malejącą zanotowano również w przypadku cyrkulacji N i E. Pierwszy ze wspomnianych typów odznaczał się frekwencją dochodzącą do 8%, co oznaczało spadek o 5%. Z kolei cyrkulacja E pojawiała się rzadko, z niespełną 1% częstością, będąc tym samym niższa niż w roku poprzedzającym o niemal 6%. Wzrost stwierdzono natomiast dla cyrkulacji miejscowej Z, która stanowiła ponad 15% wszystkich przypadków adwekcji. W porównaniu do maja 2021 r. była to wartość przekraczająca zeszłoroczną o 12%.

Temperatura powietrza w maju cechowała się zwykle wartościami zbliżonymi do normy, można było jednak zauważyć pewne zróżnicowanie przestrzenne. Średnia obszarowa była wyższa od wartości wieloletniej o 0,3°C, a największe odchylenia dodatnie zanotowano w południowej części Ziemi Lubuskiej, na Śląsku, Pomorzu Zachodnim i w wyższych partiach gór. W Zielonej górze anomalia wyniosła 1,1°C, w Legnicy i na Kasprowym Wierchu 1,0°C, a w Raciborzu, Świnoujściu, Katowicach i na Śnieżce 0,9°C. Regiony wschodnie cechowały się natomiast największymi odchyleniami ujemnymi. W Suwałkach i Białymstoku średnie anomalie osiągnęły odpowiednio -1,7°C i -1,3°C, zaś w Olsztynie i Włodawie były równe -0,8°C i -0,5°C. Wartości o 0,4°C niższe od średniej wieloletniej zaobserwowano na Pomorzu Gdańskim, w Chojnicach i Gdańsku. Średnia obszarowa temperatura maja wyniosła 12,7°C, przy największych wartościach notowanych

na zachodzie – na Ziemi Lubuskiej, w Wielkopolsce i na Śląsku. Zdecydowanie najwyższa temperatura powietrza została zmierzona w Zielonej Górze, gdzie wyniosła ona 15,4°C. Natomiast w Gorzowie Wielkopolskim, Poznaniu, Kaliszu, Legnicy, Katowicach i Raciborzu oscylowała w granicach 14,7-14,9°C. Północny wschód Polski oraz Pomorze Gdańskie odznaczały się wartościami najniższymi. W Suwałkach średnia dla maja wyniosła 10,9°C, w Łebie 11,3°C, a w Białymstoku, Gdańsku, Olsztynie i Chojnicach 11,8-12,2°C.

Z punktu widzenia opadów atmosferycznych, omawiany miesiąc charakteryzował się średnim deficytem wynoszącym ponad 40%, co klasyfikowało omawiany miesiąc jako suchy. Wyraźniejszą nadwyżkę opadów zanotowano tylko na dwóch stacjach położonych na północy Polski – w Suwałkach i Świnoujściu. W przypadku pierwszej wspomnianej stacji, suma miesięczna stanowiła 161% normy, co było równoznaczne z warunkami bardzo wilgotnymi. Z kolei w Świnoujściu nadwyżka osiągnęła 34%, odpowiadając tym samym warunkom z klasy wilgotnych. Na kolejnych czterech stacjach (Śnieżka, Chojnice, Białystok, Włodawa) stwierdzono warunki zbliżone do normy, z opadami stanowiącymi 77-109% średniej wieloletniej, przy czym nadwyżkę zaobserwowano jedynie dla Śnieżki. Najwięcej, bo aż dziewięć stacji, cechowało się warunkami suchymi, w przypadku których stosunek opadów miesięcznych do wartości normatywnej wyniósł 54-70%. Natomiast najbardziej suchymi regionami była część Ziemi Lubuskiej i Wielkopolski, niziny Dolnego Śląska oraz południowy wschód Polski. W Gorzowie Wielkopolskim, Poznaniu, Lesku i na Kasprowym Wierchu deficyt osiągnął 57-71%, odpowiadając tym samym warunkom bardzo suchym. Jeszcze większy niedobór zanotowano w Legnicy, Nowym Sączu i Sandomierzu, gdzie opady stanowiły 18-19% normy, klasyfikując maj jako miesiąc skrajnie suchy.

W zakresie przychodu wody z opadów, największymi sumami cechowały się opady zmierzone w czasie występowania cyrkulacji W, co wynikało głównie z wysokiej częstości adwekcji mas powietrza z tego sektora. Średnio stanowiły one ponad 70% całej sumy miesięcznej, przy czym najwyższe wartości stwierdzono głównie na zachodzie i północy Polski (tabela 25). Na obszarze obejmującym niziny Dolnego Śląska, Wielkopolskę, północną Ziemię Lubuską i południową część Pomorza Gdańskiego ponad 90% opadów była związana z napływami powietrza ze wspomnianego sektora. Podobny udział stwierdzono również w Sandomierzu, zaś w Toruniu, Białymstoku i Olsztynie przekraczał on 80%. Zdecydowanie najmniej opadów w odniesieniu do sumy całkowitej zmierzono w górach - na Kasprowym Wierchu i Śnieżce, gdzie stanowiły one 22-29% wielkości miesięcznej. W przypadku sektora S, średni udział opadów wyniósł 14% i był najwyższy w Gdańsku i Raciborzu, gdzie osiągnął 43-46%. Natomiast w Sandomierzu opadów nie odnotowano. Z kolei wielkości opadów dla cyrkulacji N kształtowały się średnio na poziomie niespełna 4%, przy największych wartościach notowanych w regionie karpackim – na Kasprowym Wierchu (30%) i Lesku (15%), a także w Świnoujściu (12%). Na większości obszaru Polski opady przy adwekcjach z N nie występowały. Brak opadów cechował również cyrkulację E, w przypadku której niewielkie ilości zmierzono jedynie w Białymstoku i na Kasprowym Wierchu. Znaczny był natomiast udział opadów dla cyrkulacji miejscowej Z. Średnio wyniósł on niemal 11% i oprócz Suwałk (21%)

cechował się największymi wartościami w południowych obszarach kraju. Szczególnie wysokie sumy zmierzono w górach, gdzie stosunek opadów do wielkości całkowitej dochodził do 61% (Śnieżka) i 44% (Kasprowy Wierch). Ponadto, wartości z przedziału 25-28% zanotowano w Raciborzu, Włodawie i Nowym Sączu. W przypadku dziesięciu stacji, opady w czasie cyrkulacji miejscowej Z nie występowały.

Czerwiec

Czerwiec 2022 r. był miesiącem odznaczającym się wysokimi wartościami temperatury powietrza, z kolei pod względem opadów atmosferycznych cechowało go wyraźne zróżnicowanie.

W dniach 1-10 VI warunki pogodowe nad Polską były początkowo kształtowane przez działalność niżów znad północnej i środkowej Europy oraz towarzyszące im fronty atmosferyczne. Następnie zaznaczył się wpływ klina wyżowego znad zachodu kontynentu. Przejściowo, na południu Polski, zanotowano również obecność frontu atmosferycznego, związanego z niżem przemieszczającym się znad Czech w kierunku wschodnim. Z kolei 6 VI do zachodnich regionów Polski dotarł front związany z działalnością niżu z centrum nad Morzem Północnym. Okresami, zwłaszcza na wschodzie, obserwowany był również wpływ wyżu znad Rosji. W ostatnich dniach omawianego okresu pogoda nad Polską była uwarunkowana głównie działalnością niżową ośrodków znad południowej Skandynawii i wschodniej Polski. Najwyższe sumy dobowe opadów w pierwszej dekadzie czerwca stwierdzono na północnym wschodzie i na Górnym Śląsku. W dniu 1 VI w Suwałkach oraz 9 VI w Olsztynie wyniosły one odpowiednio 27 mm i 25 mm. Wartość niemal 27 mm odnotowano również 7 VI w Katowicach. Suma łączna opadów w Suwałkach przekroczyła 52 mm, a w Katowicach wyniosła 48 mm. Znaczne całkowite wartości odnotowano również w Toruniu (40 mm), Olsztynie (37 mm), Lesku (36 mm), na Kasprowym Wierchu (35 mm) i w Nowym Sączu (30 mm). Z kolei w Gdańsku i Legnicy opady były najniższe, a ich ilość dochodziła do 6-10 mm.

Na początku drugiej dekady Polska wciąż pozostawała w zasięgu niżów i towarzyszących im frontów atmosferycznych, przejściowo zaznaczał się również wpływ klina wyżowego z południowego zachodu. Od 14 VI pogodę warunkował głównie klin wyżowy z zachodu, następnie wyż z centrum nad Morzem Północnym i Europą środkową i wschodnią, a od 17 VI ośrodek wyżowy znad Niemiec i Alp. W ostatnich dniach Polska znajdowała się pod wpływem niżu znad Skandynawii i Morza Bałtyckiego i towarzyszących mu frontów. Obserwowany był również, zwłaszcza w południowych regionach, wpływ wyżu z centrum nad Rumunią i Bułgarią. Największy opad dobowy w omawianym okresie wystąpił 16 VI na Kasprowym Wierchu, gdzie zmierzono 32,5 mm. Ponadto, znaczne sumy stwierdzono również 13 VI w Suwałkach i 20 VI w Toruniu, gdzie przekroczyły one 25 mm i 20 mm. Oprócz Kasprowego Wierchu (40 mm), najwyższe łączne wartości opadów zostały zaobserwowane w północnej i centralnej Polsce. W Suwałkach wielkość całkowita dochodziła do 40 mm, a w Białymstoku do 37 mm. Opady wynoszące 31-34 mm zmierzono natomiast w Olsztynie, Gdańsku i Sulejowie. Z kolei w Sandomierzu, Legnicy i Kaliszu suma łączna nie osiągnęła 6 mm.

Na początku trzeciej dekady czerwca Polska znajdowała się jeszcze w zasięgu niżów, jednak od zachodu coraz wyraźniejszy był wpływ wyżu znad Morza Północnego, a przejściowo również ośrodka wysokiego ciśnienia znad Czech. Od 24 VI pogoda nad Polską była uwarunkowana przede wszystkim działalnością wyżu z centrum na północny wschód od granic kraju, co umożliwiała napływ ciepłych mas powietrza zwrotnikowego z sektora południowego. Okresami, w zachodnich regionach, zaznaczył się wpływ frontu związanego z niżem znad Niemiec. W dniu 27 VI widoczne było również oddziaływanie ośrodków niżowych z Bałkanów. Pod koniec miesiąca przez obszar kraju przeszedł front atmosferyczny, związany z niżem znad Skandynawii. Zaznaczył się również wpływ wyżu z centrum na północny wschód od granic Polski, którego układ sprzyjał adwekcji ciepłych mas powietrza z południa. W omawianym okresie najbardziej intensywne opady występowały na zachodzie i północy Polski. W Legnicy suma dobową w dniu 29 VI wyniosła niemal 29 mm, a na Śnieżce 21,5 mm. Wielkości opadów dla całej dekady na tych stacjach przekroczyły natomiast 33 mm i 42 mm. Z kolei sumy rzędu 24-26 mm zmierzono w Kaliszu, Gdańsku i Olsztynie. Natomiast na południowym wschodzie, w Lesku i Sandomierzu, wystąpiły jedynie opady śladowe.

Czerwiec był miesiącem o przewadze adwekcji mas powietrza z sektora W, jednak znaczny odsetek stanowiły napływy z kierunku S. Częstość występowania cyrkulacji W wyniosła 42% i była wyższa od obserwowanej w roku 2021 o 12%. Z kolei liczba adwekcji z S stanowiła średnio niemal 32% wszystkich przypadków, co było wartością o 5% wyższą w porównaniu do czerwca roku ubiegłego. Frekwencja adwekcji z pozostałych sektorów była niższa niż rok wcześniej. W przypadku cyrkulacji E, jej częstość kształtowała się na poziomie niecałych 10%, będąc niższą od zeszłorocznej o ponad 4%. Z kolei liczba adwekcji z N stanowiła 9% notowanych przypadków i była o 7% niższa w porównaniu do czerwca 2021 r. Najrzadziej występującym typem była cyrkulacja miejscowa Z, której frekwencja wyniosła niecałe 8%, przy 12% notowanych w roku poprzednim.

Duża liczba dni z cyrkulacją S, z którą związane były adwekcje ciepłych mas powietrza z południa, przyczyniła się do wysokich wartości temperatury powietrza w omawianym miesiącu. Średnia obszarowa wartość była wyższa od normy o 2°C, a na wszystkich stacjach zanotowano znaczne anomalie dodatnie. Na zachodzie Polski, w Legnicy i Zielonej Górze, odchylenia wyniosły 2,7°C i 2,6°C, a na Kasprowym Wierchu, Kaliszu, Włodawie i Poznaniu 2,4-2,5°C. Średnia wartość wieloletnia została przekroczona o co najmniej 2°C na większości z rozpatrywanych stacji. Najchłodniejsze względem normy były regiony Pomorza, Suwalszczyzny i Polski centralnej. W Gdańsku, Świnoujściu i Suwałkach temperatura czerwca przekraczała wartość normatywną o 1,5°C, a w Chojnicach i Sulejowie o 1,6°C. Średnia temperatura omawianego miesiąca na terenie Polski wyniosła 17,9°C i charakteryzowała się najwyższymi wartościami na zachodzie – w Legnicy (20°C), a także Zielonej Górze i Poznaniu (19,9°C). Wielkości z zakresu 19,7-19,8°C zanotowano natomiast w Kaliszu, Sandomierzu i Włodawie. Oprócz obszarów górskich, dla których temperatura czerwca wyniosła 9,2°C na Kasprowym Wierchu i 10,0°C na Śnieżce, najniższe wartości stwierdzono na Pomorzu i Suwalszczyźnie.

Kształtowały się one od 16,9°C w Łebie do 17,4°C w Suwałkach, Chojnicach, Gdańsku i Świnoujściu.

Pod względem opadowym czerwiec był w Polsce miesiącem normalnym, cechującym się ponad 20% deficytem. Odznaczał się jednak bardzo dużym zróżnicowaniem, wahającym się od granicy warunków skrajnie suchych i bardzo suchych do warunków bardzo wilgotnych. Największa nadwyżka opadów została zanotowana w Suwałkach, gdzie wyniosła ponad 65%. Ponadto, na trzech stacjach reprezentujących północne regiony kraju (Toruń, Olsztyn, Gdańsk), opady przekroczyły normę o odpowiednio 27%, 32% i 37%, klasyfikując czerwiec jako miesiąc wilgotny. W przypadku kolejnych ośmiu stacji, zanotowano warunki zbliżone do normy lub na granicy warunków suchych i normalnych, gdzie sumy stanowiły od 76% do 110% wartości wieloletniej. Kolejnych siedem stacji, reprezentujących Pomorze, Lubelszczyznę, Dolny Śląsk i Beskidy, charakteryzowało się wyraźnym deficytem opadów, osiągającym 28-48%. Zgodnie z klasyfikacją IMGW-PIB, odpowiadało to warunkom suchym. Największy niedobór opadów wystąpił na południowym wschodzie. Na Kasprowym Wierchu i w Lesku odnotowano warunki bardzo suche, z sumami opadów stanowiącymi 42-48% normy. Natomiast w Sandomierzu zmierzona ilość kształtowała się na granicy warunków skrajnie suchych i bardzo suchych. Największe bezwzględne wielkości opadu w czerwcu zaobserwowano na północnym wschodzie oraz w najwyższych piętrach górskich. Zdecydowanie najwięcej opadów spadło w Suwałkach, gdzie suma miesięczna dochodziła do 111 mm. Znaczne wartości odnotowano również na Śnieżce (94 mm), w Olsztynie (93 mm) i na Kasprowym Wierchu (88 mm). Z kolei w Sandomierzu stwierdzona ilość wyniosła tylko 16 mm, a w Łebie 28 mm.

W czerwcu największą ilość opadów zmierzono w czasie występowania cyrkulacji W, co było konsekwencją przewagi częstości występowania adwekcji z tego sektora. Średni udział dla wszystkich rozpatrywanych stacji wyniósł 55%, zaś w Gorzowie Wielkopolskim przekroczył on 90%. W przypadku Łeby i Białegostoku był on niewiele niższy i kształtował się na poziomie 89-90%, natomiast we Włodawie, Toruniu i Świnoujściu przekraczał 70%. Z kolei w regionie karpackim, w Lesku i Nowym Sączu, z sektorem W związanych było 21% i 28% opadów. Około ¼ ogólnej sumy opadów w czerwcu zmierzono dla napływów mas powietrza z S. W tym przypadku zdecydowanie najwyższym udziałem cechował się Dolny Śląsk, gdzie w Legnicy i na Śnieżce wyniósł on 70% i 57%. Znaczne sumy, stanowiące ponad 50% wielkości całkowitej, zmierzono również w Olsztynie i Nowym Sączu, natomiast w Sandomierzu i Lesku opady nie występowały. Wielkości opadów notowane dla pozostałych sektorów były zdecydowanie niższe w porównaniu do cyrkulacji W i S. W przypadku adwekcji z N, najwyższe wartości zanotowano w Lesku (44%), Kaliszu (27%), na Kasprowym Wierchu (17%) i w Suwałkach (16%), przy braku opadów na terenie siedmiu stacji. Udział opadów dla cyrkulacji z E był natomiast najwyższy na południowym wschodzie. W Bieszczadach (Lesko) i Beskidach (Nowy Sącz) przekraczał on odpowiednio 23% i 21% sumy miesięcznej, zaś na Kasprowym Wierchu i w Sandomierzu dochodził do 11%. Na większości obszaru Polski opady przy napływie z kierunku E nie występowały, a średnia wartość dla tego sektora wyniosła niespełna 4%. Cyrkulacja miejscowa Z cechowała się warunkami opadowymi różnicującymi się od braku opadów na terenie sześciu

stacji do 24% w Raciborzu, 27% w Chojnicach i 36% w Sandomierzu. Natomiast średni udział dla całego kraju przekraczał 8%.

Lipiec

Warunki termiczne w lipcu 2022 r. były zbliżone do normy, zaś opady atmosferyczne wykazywały znaczne zróżnicowanie przestrzenne.

Na początku pierwszej dekady lipca pogoda była uwarunkowana głównie działalnością wyżu znad Finlandii i północnej Rosji oraz ośrodka wysokiego ciśnienia znad Bałkanów, które generowały napływ mas powietrza z sektora południowego. Następnie Polska znalazła się pod wpływem niżów znad Europy północnej i związanych z nimi frontów atmosferycznych. Okresami widoczny był również wpływ wyżu z centrum nad Europą środkową i wschodnią. W drugiej połowie dekady silniej zaznaczał się wpływ klina wyżowego znad Atlantyku i Wysp Brytyjskich. Najwyższe dobowe sumy opadów zanotowano w dniu 5 VII na południowym wschodzie Polski, Górnym Śląsku i Podlasiu. Na Kasprowym Wierchu i w Sandomierzu wyniosły one odpowiednio 49,2 mm i 45,6 mm, a w Białymstoku, Raciborzu i Nowym Sączu 38,0 mm, 36,0 mm i 26,7 mm. Sumy łączne opadów cechowały się znacznym zróżnicowaniem. Na Kasprowym Wierchu zmierzono łącznie 95 mm, w Raciborzu 73 mm, a w Sandomierzu 60 mm. Wielkości z zakresu 40-50 mm odnotowano również w Białymstoku, na Śnieżce, w Nowym Sączu, Łebie i Gorzowie Wielkopolskim. Natomiast w Zielonej Górze i Poznaniu sumy opadów były najniższe i osiągały 1-3 mm.

W dniach 11-20 VII Polska początkowo znajdowała się w zasięgu ośrodków wyżowych znad Europy zachodniej i południowej, natomiast od 12 VII coraz silniej zaznaczał się wpływ niżu znad Białorusi i związanych z nim frontów atmosferycznych, które sprzyjały występowaniu obfitych opadów na wschodzie kraju. W kolejnych dniach nad Polskę przemieścił się z zachodu front atmosferyczny, związany z niżem z centrum nad Skandynawią. Od połowy dekady obserwowany był wyraźny wpływ klina wyżowego znad Wysp Brytyjskich, a przejściowo również ośrodka niżowego z centrum nad północną Polską. W ostatnich dniach dekady warunki pogodowe były kształtowane przede wszystkim przez wyż znad Niemiec, którego centrum przemieszczało się na wschód, a także inne ośrodki wyżowe znad Europy środkowej i południowej. Przejściowo zaznaczył się wpływ niżów znad Morza Bałtyckiego i Rosji. Najwyższe sumy dobowe w całej dekadzie zmierzono 12 VII na wschodzie Polski – w Białymstoku (47,7 mm), Włodawie (39,8 mm) i Suwałkach (36,2 mm). Stacje te charakteryzowały się również najwyższymi sumami łącznymi, odpowiednio: 65 mm, 50 mm i 57 mm. Natomiast na Dolnym Śląsku i w centrum Polski opady były najniższe. W Legnicy, na Śnieżce i w Sulejowie nie osiągnęły 2 mm.

Na początku trzeciej dekady lipca Polska znajdowała się w zasięgu wyżów z centrum nad Europą środkową i wschodnią, a przejściowo również ośrodków niskiego ciśnienia znad Niemiec i Skandynawii. W kolejnych dniach obszar kraju znalazł się pod wpływem wyżu znad Europy zachodniej, przemieszczającego się na wschód, a także niżu znad Skandynawii wraz z towarzyszącymi mu frontami atmosferycznymi. Od 27 VII pogoda była ponownie kształtowana przez ośrodek wysokiego ciśnienia, z centrum nad Morzem Północnym.

Miejscami, na północnym wschodzie, zaznaczył się również wpływ frontu, związanego z niżem znad północnej Rosji. Pod koniec miesiąca największy wpływ na warunki pogodowe miał wyż z centrum nad Bałtykiem, a także niż znad Karpat, przemieszczający się na północ. Najwyższą dobową sumę opadu zmierzono 30 VII w Kaliszu i Legnicy, gdzie wyniosła ona niemal 43 mm i 38 mm. Niewiele mniejszą wartość zanotowano 23 VII w Nowym Sączu (36,5 mm), natomiast wielkości opadów 30 VII na Śnieżce i Sulejowie kształtowały się w przedziale 31-33 mm. Najwyższe sumy łączne zaobserwowano w rejonie karpackim – 94 mm na Kasprowym Wierchu i 88 mm w Nowym Sączu. Natomiast na Pomorzu Zachodnim, w Świnoujściu, suma całkowita opadów wyniosła 8 mm.

Warunki cyrkulacyjne w lipcu cechowały się dominacją napływów mas powietrza z sektora W. Stanowiły one średnio niemal 63% wszystkich odnotowanych przypadków, co było wartością wyższą w stosunku do roku ubiegłego aż o 29%. Częstość występowania adwekcji z kierunków N i S oraz frekwencja cyrkulacji miejscowej Z były porównywalne i kształtowały się w przedziale 10-11%. W przypadku cyrkulacji N, liczba jej przypadków była wyższa od zeszłorocznej o 2%, wzrost o około 3% zanotowano również dla cyrkulacji miejscowej Z. Zdecydowanie niższą częstością od obserwowanej w lipcu 2021 r. odznaczała się cyrkulacja S, w przypadku której spadek wyniósł 24%. W lipcu bieżącego roku zdecydowanie najrzadziej pojawiały się napływy z kierunku E, których udział w skali miesiąca wyniósł 5%. Jednocześnie była to wartość o 10% niższa niż w roku poprzedzającym.

Średnia obszarowa temperatura powietrza w lipcu była nieznacznie wyższa od normy, a na terenie Polski miesięczne anomalie różnicowały się od $-0,6^{\circ}\text{C}$ do $0,9^{\circ}\text{C}$. Największe odchylenia dodatnie zanotowano w regionie karpackim, gdzie wyniosły one $0,9^{\circ}\text{C}$ na Kasprowym Wierchu i $0,8^{\circ}\text{C}$ w Lesku. Stosunkowo wysokie wartości wystąpiły również na zachodzie, w Zielonej Górze, Poznaniu i Legnicy, osiągając $0,6-0,7^{\circ}\text{C}$. Ogólnie, dodatnie anomalie termiczne zanotowano na terenie piętnastu stacji. Z kolei odchylenia ujemne zostały zaobserwowane na północnym wschodzie i południowej części Pomorza Gdańskiego. W Suwałkach, Białymstoku i Olsztynie temperatura lipca była niższa od średniej wieloletniej o odpowiednio $0,6^{\circ}\text{C}$, $0,4^{\circ}\text{C}$ i $0,3^{\circ}\text{C}$, a w Chojnicach o $0,1^{\circ}\text{C}$. W przypadku trzech stacji (Sandomierz, Śnieżka, Włodawa) stwierdzona wartość była równa średniej dla lat 1991-2020. Uwzględniając średnie wartości miesięczne, najwyższą temperaturą powietrza w lipcu odznaczały się regiony zachodnie. W Poznaniu, Zielonej Górze i Legnicy przekraczała ona 20°C , zaś w Kaliszu i Gorzowie Wielkopolskim kształtowała się w zakresie $19,5-19,6^{\circ}\text{C}$. Podobną wartość zaobserwowano również w Sandomierzu. Północny wschód i Pomorze cechowały się natomiast stosunkowo chłodnymi warunkami. W Suwałkach i Chojnicach średnia dla lipca nie osiągnęła 18°C , a na pozostałym obszarze wspomnianych regionów wartości różnicowały się od $18,0^{\circ}\text{C}$ w Białymstoku, Olsztynie i Łebie do $18,4^{\circ}\text{C}$ w Gdańsku i $18,6^{\circ}\text{C}$ w Świnoujściu. W przypadku obszarów górskich, średnie miesięczne kształtowały się poniżej 10°C i wyniosły $9,8^{\circ}\text{C}$ na Śnieżce i $9,5^{\circ}\text{C}$ na Kasprowym Wierchu.

Średnia opadów dla rozpatrywanych stacji meteorologicznych stanowiła niespełna 90% średniej wieloletniej, do klasyfikowało lipiec jako miesiąc normalny. Warunki

opadowe na terenie kraju charakteryzowały się jednak znacznym zróżnicowaniem przestrzennym. Znaczna nadwyżka opadów wystąpiła na terenie pięciu stacji, reprezentujących regiony wschodnie, Górny Śląsk oraz Beskidy. Najintensywniejsze opady zanotowano w Białymstoku, gdzie ich wielkość w stosunku do normy kształtowała się na granicy warunków wilgotnych i bardzo wilgotnych. W Nowym Sączu, Suwałkach, Włodawie i Raciborzu wartość normatywna została przekroczona o 33-42%, co odpowiadało warunkom z klasy wilgotnych. Dziewięć stacji charakteryzowało się warunkami zbliżonymi do normy, o sumach stanowiących 78-114% średniej wieloletniej. Natomiast w przypadku sześciu stanowisk (Toruń, Świnoujście, Chojnice, Olsztyn, Legnica, Sulejów), zaobserwowano deficyt wynoszący 27-38%, odpowiadający warunkom suchym. Największy niedobór opadów zanotowano na zachodzie – w Poznaniu i Zielonej Górze. W przypadku pierwszej ze wspomnianych stacji, opad miesięczny stanowił 27% normy, co klasyfikowało lipiec jako miesiąc bardzo suchy. Z kolei w Zielonej Górze zmierzona suma kształtowała się na poziomie 17% normy, co było równoznaczne z warunkami skrajnie suchymi. Opady w lipcu cechowały się największymi sumami bezwzględnymi w regionie karpackim. Na Kasprowym Wierchu wartość miesięczna wyniosła ponad 204 mm, a w Nowym Sączu niemal 148 mm. W Białymstoku i Raciborzu wielkości opadów dochodziły do 129-130 mm, a w Suwałkach i Włodawie do 114-115 mm. Zdecydowanie najmniejsze wartości zanotowano w Zielonej Górze i Poznaniu, gdzie osiągnęły one odpowiednio 15 mm i 23 mm. Stosunkowo niskie sumy zmierzono również na kilku stacjach reprezentujących północną część Ziemi Lubuskiej, Pomorze, Dolny Śląsk, Warmię i centrum Polski, gdzie kształtowały się one w przedziale 52-58 mm.

Przychód wody z opadów w omawianym miesiącu odznaczał się największym udziałem sum zmierzonych dla adwekcji z kierunku W, wynoszącym średnio 43%. Najbardziej obfite opady w czasie wspomnianego typu cyrkulacji występowały w Lesku i Świnoujściu, gdzie stanowiły 69% i 67% normy. Były one również znaczne w Łebie, na Ziemi Lubuskiej (Zielona Góra i Gorzów Wielkopolski), w Poznaniu, we Włodawie, Raciborzu, Nowym Sączu i na Kasprowym Wierchu, w przypadku których ponad połowa sumy miesięcznej była związana z tym sektorem. Natomiast najmniejszą ilość zanotowano na Dolnym Śląsku, gdzie stosunek opadów do wartości całkowitej wyniósł 9% w Legnicy i 21% na Śnieżce. Rozpatrując wszystkie uwzględnione stacje, udział opadów w sumie miesięcznej dla sektorów N, E i S kształtował się na podobnym poziomie, wynoszącym 15-16%. W czasie adwekcji z N największe opady wystąpiły w Białymstoku (71% sumy miesięcznej) oraz w Gdańsku (57%). Natomiast na Pomorzu Zachodnim (Świnoujście), Kujawach (Toruń) i Dolnym Śląsku (Legnica, Śnieżka) opadów nie stwierdzono. Brak opadów, zwłaszcza w północnej części Polski, był przeważający w przypadku cyrkulacji E. Największe sumy zmierzono natomiast w Legnicy i Sulejowie, gdzie stanowiły odpowiednio 71% i 64% wielkości ogólnej. Udział powyżej 40% zanotowano również w Kaliszu i na Śnieżce. Północne regiony były natomiast uprzywilejowane pod względem opadów w kontekście cyrkulacji S. W Łebie, Gorzowie Wielkopolskim i Świnoujściu stosunek sum do całkowitej wartości miesięcznej był równy 41%, 35% i 33%. Z kolei w Wielkopolsce (Kalisz, Poznań) i na Górnym Śląsku (Katowice, Racibórz) opady nie występowały

bądź ich udział kształtował się poniżej 1%. Spośród wszystkich typów cyrkulacji, najmniejsze ilości zaobserwowano dla cyrkulacji miejscowej Z. W tym przypadku, opady stanowiły średnio 10% sumy ogólnej i były zdecydowanie najwyższe na południu Polski. Na Górnym Śląsku i w Sandomierzu ich wielkość przekraczała 40%, a na Kasprowym Wierchu wyniosła 34%. Natomiast w przypadku połowy uwzględnionych stacji opadów nie odnotowano.

Sierpień

Sierpień 2022 r. pod względem termicznym był miesiącem bardzo ciepłym, natomiast warunki opadowe charakteryzowały się bardzo dużym zróżnicowaniem przestrzennym.

W pierwszych dniach okresu 1-10 VIII obszar Polski znajdował się w zasięgu niżów z centrum na północy Europy i towarzyszących im frontów atmosferycznych, a następnie pod wpływem ośrodków wysokiego ciśnienia. W dniach 5-6 VIII przez Polskę przemieszczał się front, związany z niżem ze Skandynawii. W drugiej połowie dekady warunki pogodowe były kształtowane w największym stopniu przez klin wyżowy nad Oceanu Atlantyckiego, a w ostatnim okresie również wał wyżowy, rozciągający się od Atlantyku do krajów bałtyckich. Najintensywniejsze opady wystąpiły 6 VIII na Kasprowym Wierchu, gdzie zmierzono wartość ponad 21 mm, a także 5 VIII na Śnieżce (19,6 mm). W części nizinnej największe sumy zanotowano 5 VIII w Legnicy i 6 VIII w Suwałkach, gdzie wyniosły one odpowiednio 14,7 mm i 13,2 mm. Z kolei najwyższe wartości łączne osiągnęły 21-24 mm na stacjach wysokogórskich oraz 15 mm w Kaliszu i Legnicy. W przypadku Nowego Sącza i Sandomierza, w omawianym okresie występowały jedynie opady śladowe, a w Gorzowie Wielkopolskim, Poznaniu, Łebie i Olsztynie wielkości opadów kształtowały się poniżej 1 mm.

Do połowy drugiej dekady sierpnia, warunki pogodowe były kształtowane głównie przez ośrodki wysokiego ciśnienia, jedynie przejściowo zaznaczył się wpływ frontu atmosferycznego, związanego z niżem nad Morza Czarnego. Następnie Polska znalazła się pod wpływem rozległego wyżu nad Rosji, wyżów z południa Europy, a także niżów z centrum na południe i południowy wschód od granic kraju. W dniach 18-19 VIII układ baryczny wyżu nad Rosji oraz ośrodków niskiego ciśnienia nad Niemiec i zachodnich Czech sprzyjał napływowi gorących mas powietrza zwrotnikowego z południa, co przyczyniło się do występowania wysokich wartości temperatury powietrza. W ostatnim z rozpatrywanych dni nad Polskę od zachodu nasunął się front atmosferyczny, związany z niżem nad Skandynawii. Najwyższe dobowe sumy opadu zanotowano 12 VIII we Włodawie (41,4 mm) a także 20 VIII w Poznaniu, Legnicy, Raciborzu i na Śnieżce (30-34 mm). Lubelszczyzna oraz Dolny Śląsk odznaczały się najwyższymi sumami łącznymi, wynoszącymi 68 mm we Włodawie, 63 mm na Śnieżce i 55 mm w Legnicy. Natomiast na północnym wschodzie (Suwałki, Białystok) wielkości całkowite opadów nie przekraczały 1 mm.

Warunki pogodowe w ostatniej dekadzie sierpnia były początkowo kształtowane przez niż znad Półwyspu Skandynawskiego i towarzyszące mu fronty atmosferyczne, a przejściowo również przez wyż znad Morza Północnego. W dniu 23 VIII Polska znalazła się w zasięgu niżu z centrum nad Rumunią, którego układ generował napływ mas powietrza z sektora wschodniego. W kolejnych dniach największy wpływ na pogodę miały ośrodki wyżowe znad Rosji i Skandynawii oraz przemieszczający się ku wschodowi niż z centrum nad Bałtykiem. Pod koniec miesiąca Polska znalazła się pod wpływem rozległego wyżu znad Morza Norweskiego. Zdecydowanie najwyższą dobową sumę opadu, wynoszącą 73 mm, zmierzono 23 VIII w Sandomierzu. Ponadto, znaczne wartości odnotowano 21 i 22 VIII na Kasprowym Wierchu (59 mm i 43 mm) oraz 28 VIII w Toruniu (45 mm) i 21 VIII w Katowicach (33 mm). Suma całkowita w dniach 21-31 VIII na Kasprowym Wierchu wyniosła aż 119 mm, a w Katowicach, Legnicy i Sandomierzu 79-84 mm. Natomiast na południowym wschodzie (w Lesku) wielkość całkowita nie osiągnęła 1 mm.

W sierpniu przeważającym sektorem pod względem częstości adwekcji mas powietrza były kierunek E, z którym związanych było 36% przypadków napływów. Stanowiło to znaczny wzrost w porównaniu do roku poprzedniego, kiedy udział ten wyniósł 8%. Sektor S odpowiadał za niespełna 19% adwekcji i była to wartość o 3% niższa względem 2021 r. Zmalała również częstość występowania cyrkulacji W. W sierpniu bieżącego roku przekraczała ona 15%, będąc jednocześnie aż o 34% niższa niż w roku poprzedzającym. Wzrost zanotowano natomiast dla cyrkulacji N, której frekwencja dochodziła do 13%. W porównaniu do sierpnia 2021 r. oznaczało to wzrost o 3%. Więcej było również przypadków cyrkulacji miejscowej Z. W omawianym miesiącu pojawiała się ona z 17% częstością, przekraczając wartość zeszłoroczną o 6%.

Znaczna frekwencja typów cyrkulacji E i S, związana często z adwekcjami ciepłych mas powietrza polarno-kontynentalnego i zwrotnikowego, przyczyniła się do występowania wysokich wartości temperatury powietrza. Średnie odchylenie od normy wyniosło 2,1°C i cechowało się dodatnimi wartościami na terenie całego kraju. Najwyższe anomalie zaobserwowano w północnych regionach Polski. W Olsztynie, Gdańsku i Poznaniu średnia temperatura sierpnia była wyższa od wartości wieloletniej o 3,0-3,1°C, a w Chojnicach i Toruniu o 2,8°C. Natomiast odchylenia z zakresu 2,5-2,6°C zanotowano w Gorzowie Wielkopolskim, Białymstoku, Suwałkach i Łebie. Z kolei na południu Polski – na Górnym Śląsku i w Bieszczadach – odchylenia były najniższe i wyniosły od 1,0°C w Raciborzu do 1,3°C w Katowicach i Lesku. Na Dolnym Śląsku (Śnieżka, Legnica) oraz w Beskidach (Nowy Sącz) anomalie osiągnęły 1,4-1,5°C. Średnia miesięczna temperatura powietrza w niższych piętrach wysokościowych różnicowała się od 19°C do ponad 22°C. Najwyższe wartości stwierdzono na północy i zachodzie. W Poznaniu średnia miesięczna osiągnęła 22,1°C, zaś w Gorzowie Wielkopolskim, Zielonej Górze, Gdańsku i Kaliszu kształtowała się w przedziale 21,1-21,7°C. Najchłodniejszą pogodą charakteryzowały się Bieszczady, gdzie średnia dla sierpnia wyniosła 19°C. Natomiast na Górnym Śląsku i Suwalszczyźnie średnia temperatura była równa 19,9-20,0°C. W przypadku stacji wysokogórskich, wartości wahały się od 10,8°C na Kasprowym Wierchu do 11,3°C na Śnieżce.

Warunki opadowe w sierpniu odznaczały się bardzo dużym zróżnicowaniem przestrzennym, natomiast średnia obszarowa suma opadów była zbliżona do normy. Największe opady względem wartości normatywnej występowały na południu i w centrum Polski. W Legnicy norma została przekroczona ponad dwukrotnie (suma miesięczna stanowiąca 239% normy), co w tym przypadku klasyfikowało sierpień jako miesiąc skrajnie wilgotny. Na kolejnych czterech stacjach położonych na Górnym Śląsku (Racibórz, Katowice), Kotlinie Sandomierskiej (Sandomierz) i w Polsce centralnej (Sulejów), wielkości opadów stanowiły od 155% do 188% średniej wieloletniej, odpowiadając tym samym warunkom z klasy bardzo wilgotnych. Znaczną nadwyżkę opadów, wynoszącą 33%, zaobserwowano również w Toruniu, gdzie warunki opadowe zostały sklasyfikowane jako wilgotne. Siedem stacji, reprezentujących różne regiony kraju, cechowało się sumami opadów zbliżonymi do normy (77-121%), jednak tylko w przypadku dwóch (Gdańsk i Poznań) wystąpił deficyt. Natomiast na trzech stacjach położonych na północy Polski (Suwałki, Olsztyn, Chojnice) oraz w Nowym Sączu niedobór opadów był już większy i wyniósł 27-43%. Zgodnie z klasyfikacją opadową stosowaną w IMGW-PIB, były to wartości odpowiadające warunkom suchym. W Gorzowie Wielkopolskim stwierdzona suma kształtowała się na granicy warunków suchych i bardzo suchych, z kolei w Łebie, Lesku i Świnoujściu opady stanowiły tylko 31-47% normy (warunki bardzo suche). Zdecydowanie największy deficyt opadów wystąpił natomiast w Białymstoku, gdzie suma miesięczna była o ponad 90% niższa od normy (warunki skrajnie suche). Pod względem miesięcznych sum opadów, najwyższe wartości zmierzono na południu. Na Kasprowym Wierchu zmierzona wielkość wyniosła ponad 180 mm, a na Górnym i Dolnym Śląsku 154 mm w Legnicy, 137 mm w Katowicach, 122 mm w Raciborzu i 101 mm na Śnieżce. Z kolei w Białymstoku przez cały miesiąc spadło zaledwie niecałe 7 mm opadu, a w Świnoujściu poniżej 19 mm. Nieduże sumy, wynoszące nieco ponad 28 mm, zanotowano również w Lesku i Gorzowie Wielkopolskim.

Z uwagi na wysoką frekwencję napływu nas powietrza z kierunku E, sektor ten cechował się również największym przychodem wody z opadów (tabela 28). Średnio w czasie adwekcji mas powietrza ze wspomnianego kierunku, zanotowano niecałe 35% sumy miesięcznej. Należy jednak podkreślić, że przychód wody z opadów w czasie występowania cyrkulacji E cechował się znacznym zróżnicowaniem na terenie Polski. Na południowym wschodzie udział opadów z omawianego sektora stanowił ponad 90% (Nowy Sącz, Sandomierz) i 86% (Włodawa) wartości całkowitej. Był on również znaczny na Górnym Śląsku i w centrum Polski, gdzie przekraczał 60-70%. Natomiast na Pomorzu Gdańskim (w Gdańsku i Łebie) opady nie występowały lub ich udział był mniejszy niż 1%. Drugim typem cyrkulacji pod względem wielkości opadów była cyrkulacja miejscowa Z, z którą związanych było średnio ponad 30% sum opadów. Poznań i Łeba były stacjami odznaczającymi się największymi wartościami, przekraczającymi odpowiednio 82% i 72% wielkości ogólnej. W Gdańsku udział ten wyniósł 65%, a w Toruniu, Chojnicach, Olsztynie i Zielonej Górze przekraczał 50%. Z kolei na niektórych stacjach położonych na południu i wschodzie (Racibórz, Włodawa, Sandomierz, Białystok, Nowy Sącz) opadów nie stwierdzono. W przypadku sektora W, zdecydowanie najbardziej obfite opady spadły

na północnym wschodzie kraju. W Białymstoku w czasie adwekcji mas powietrza z tego kierunku zanotowano 82% opadów, a w Suwałkach 65%. W Nowym Sączu natomiast opady w ogóle nie występowały, a na obszarze obejmującym północną część Ziemi Lubuskiej, część Wielkopolski i Kujawy (Gorzów Wielkopolski, Poznań, Toruń) ich wielkość stanowiła mniej niż 1% sumy ogólnej. Sumy opadów zmierzonych dla cyrkulacji S charakteryzowały się średnim udziałem wynoszącym 13%, przy braku opadów na wschodzie (Suwałki, Białystok, Włodawa, Nowy Sącz) oraz maksymalnych wartościach notowanych na północnym zachodzie – w Gorzowie Wielkopolskim (75%) i Świnoujściu (63%). Natomiast udział opadów przy napływach z N był najniższy spośród wszystkich sektorów i wyniósł średnio 6%. W tym przypadku największe wartości stwierdzono w regionie karpackim – w Lesku i na Kasprowym Wierchu (32-34%) oraz w Zielonej Górze (26%).

Wrzesień

Pod względem termicznym wrzesień 2022 r. był miesiącem chłodnym, a w kontekście opadów atmosferycznych cechował się warunkami wilgotnymi.

W dniach 1-10 IX pogoda nad Polską była początkowo uwarunkowana działalnością wyżów, dopiero od 6 IX obszar kraju znalazł się w zasięgu frontów atmosferycznych, związanych z niżem znad północnego Atlantyku. Pod koniec dekady wyraźniej zarysował się również wpływ klina wyżowego znad Francji. Zdecydowanie najwyższe opady występowały 7 IX w Gorzowie Wielkopolskim. Tego dnia wartość dobową wyniosła aż 130 mm. W ostatnim dniu dekady wysokie sumy zmierzono również w Lesku i Białymstoku, gdzie osiągnęły one odpowiednio 41 mm i 31 mm, a także w Sulejowie i Włodawie (21 mm). Łączna suma opadów w dniach 1-10 IX w Gorzowie Wielkopolskim przekroczyła 144 mm, a w Lesku dochodziła do 49 mm. Ponadto, w Białymstoku, Legnicy, Włodawie i na Kasprowym Wierchu wielkości całkowite kształtowały się w przedziale 36-39 mm, a na Śnieżce i w Sulejowie w zakresie 30-33 mm. Najniższe sumy łączne stwierdzono w Suwałkach (3 mm) oraz w Łebie, Sandomierzu i Olsztynie (8-9 mm).

Na początku drugiej dekady września, Polska znajdowała się w zasięgu niżu z centrum na wschód od granic kraju, a następnie głębokiego niżu znad Skandynawii i Morza Bałtyckiego. Towarzyszyły im fronty atmosferyczne, które przemieszczały się przez terytorium Polski. Jedynie w dniach 12-13 IX przejściowo zarysował się wpływ wyżu znad Alp i Bałkanów. Dopiero pod koniec dekady uwidocznił się wpływ ośrodków wysokiego ciśnienia znad Atlantyku, Europy zachodniej i Bałkanów. Najwyższą sumę dobową odnotowano 16 IX w Łebie, gdzie zmierzono 23,5 mm opadu. Wysokie wartości odnotowano również 20 IX na Kasprowym Wierchu (19,5 mm), 11 IX we Włodawie i 15 IX w Nowym Sączu (ponad 18 mm), a także 14 IX na Śnieżce (ponad 17 mm). Najwyższe łączne wielkości opadów zostały zmierzone w rejonie karpackim. Na Kasprowym Wierchu suma całkowita dla drugiej dekady przekroczyła 93 mm, a w Lesku 80 mm. Ponadto, ponad 55 mm opadu odnotowano w Łebie, a 50 mm na Śnieżce. Natomiast w Świnoujściu, Olsztynie i Poznaniu sumy były najniższe i nie osiągnęły 6 mm.

Na początku trzeciej dekady września, Polska znajdowała się w zasięgu wyżu znad Europy zachodniej. Układ baryczny sprzyjał adwekcji chłodnych mas powietrza z sektora północnego. W kolejnych dniach warunki pogodowe były kształtowane przez ośrodki wysokiego ciśnienia znad Europy środkowej i południowej, natomiast w drugiej połowie dekady obszar kraju znalazł się pod wpływem niżów znad północnego Atlantyku i Skandynawii i związanych z nimi frontów atmosferycznych. Pod koniec miesiąca Polska nadal znajdowała się w zasięgu układów niżowych – z centrum nad Europą środkową i Włochami. Przejściowo obserwowany był również wpływ wyżu z centrum nad Polską. Najwyższe opady dobowe w omawianej dekadzie zmierzono 21 IX na Kasprowym Wierchu (28,6 mm) oraz 27 IX w Chojnicach (26,4 mm), Olsztynie i Toruniu (prawie 22 mm). W przypadku sum całkowitych, największe zanotowano na Kasprowym Wierchu (82 mm), Lesku (48 mm) i Włodawie (42 mm). Natomiast najniższy łączny opad zmierzono w Poznaniu i Świnoujściu, gdzie jego wartość kształtowała się w przedziale 5-6 mm.

Struktura adwekcji mas powietrza we wrześniu charakteryzowała się dość wyrównanym rozkładem pomiędzy poszczególnymi sektorami. Najczęściej obserwowanym typem była cyrkulacja W, która odpowiadała za niemal 34% przypadków napływów. W porównaniu do września 2021 r. jej częstość zmalała o 13%. Wzrosła natomiast frekwencja adwekcji z kierunku S. W roku bieżącym dochodziła ona do 26%, podczas gdy rok wcześniej wyniosła 20%. Napływy mas powietrza z N stanowiły 22% wszystkich przypadków, co było wartością o 1% wyższą w stosunku do obserwowanej we wrześniu 2021 r. Tendencję rosnącą stwierdzono również dla sektora E oraz cyrkulacji miejscowej Z. Częstość występowania adwekcji z E wyniosła 8% i była wyższa od zeszłorocznej o 3%. Podobny wzrost zaobserwowano dla cyrkulacji miejscowej Z, której częstość we wrześniu bieżącego roku osiągnęła 10%.

Wrzesień był miesiącem chłodnym i cechował się wartościami temperatury powietrza kształtującymi się na terenie całej Polski poniżej średniej wieloletniej. Uwzględniając wszystkie rozpatrywane stacje, średnia obszarowa temperatura powietrza była niższa od przeciętnej o 1,4°C. Najchłodniejsze warunki względem normy były obserwowane w górach oraz na wschodzie kraju. We Włodawie, Suwałkach i Białymstoku średnia temperatura miesięczna była niższa od wartości dla okresu wieloletniego o 2,2-2,3°C, a w Olsztynie oraz na Kasprowym Wierchu i Śnieżce o 1,7-1,8°C. Anomalie termiczne poniżej -1°C zostały zaobserwowane w przypadku aż piętnastu stacji. Najmniejsze odchylenia stwierdzono na zachodzie oraz w regionie karpackim. W Świnoujściu temperatura była niższa od normy o 0,8°C, a w Gorzowie Wielkopolskim, Poznaniu, Raciborzu, Lesku i Nowym Sączu o 0,9°C. Średnie miesięczne wartości temperatury, poza wyższymi partiami gór, różnicowały się od nieco ponad 10°C do 13,7°C. Regiony położone na zachodzie Polski, zwłaszcza Pomorze Zachodnie, Dolny Śląsk i Ziemia Lubuska, były najcieplejsze. Średnia temperatura września osiągnęła tutaj 13,5°C w Legnicy i Gorzowie Wielkopolskim oraz 13,7°C w Świnoujściu. Wartości przekraczające 13°C zanotowano również w Poznaniu, Raciborzu i Zielonej Górze. Z kolei w regionach wschodnich, zwłaszcza na północnym wschodzie, temperatura była najniższa i kształtowała się na poziomie 10,3-10,4°C w Suwałkach i Białymstoku oraz 11,2-11,5°C we Włodawie

i Olsztynie. W górach średnia dla września wyniosła 4,1°C na Śnieżce oraz 2,8°C na Kasprowym Wierchu.

Warunki opadowe we wrześniu cechowały się zwykle nadwyżką opadów, choć można było zauważyć w omawianym miesiącu ich pewne zróżnicowanie. Średnia obszarowa suma była wyższa od normy o niemal 28%, co było równoznaczne z występowaniem warunków wilgotnych. Zdecydowanie największe ilości opadów w odniesieniu do normy spadły w Gorzowie Wielkopolskim, gdzie zmierzona wartość stanowiła 363% normy. Średnia suma wieloletnia została również znacznie przekroczone na południowym wschodzie, w Lesku i we Włodawie, gdzie wielkość miesięczna była ponad dwukrotnie wyższa od normy. We wszystkich wspomnianych przypadkach wrzesień został zakwalifikowany jako miesiąc skrajnie wilgotny. Znaczną nadwyżkę opadów zanotowano również w Białymstoku i Nowym Sączu, gdzie kształtowała się ona w przedziale 58-69%, identyfikując omawiany miesiąc jako bardzo wilgotny. Na czterech stacjach, reprezentujących Dolny Śląsk (Legnica, Śnieżka), Tatry (Kasprowy Wierch) i centrum Polski (Sulejów) wielkości miesięczne były wyższe od normy o 32-40%, co było równoznaczne z warunkami wilgotnymi. W przypadku dziesięciu stacji odnotowano sumy zbliżone do wartości normatywnej, zaś w Suwałkach, Raciborzu i Legnicy opady stanowiły 51-56% normy, co klasyfikowało wrzesień jako miesiąc suchy. W kontekście sum bezwzględnych, najwyższe wartości zmierzono w regionie karpackim – na Kasprowym Wierchu (214 mm) i w Lesku (177 mm) – a także w Gorzowie Wielkopolskim (165 mm) i na Śnieżce (115 mm). Z kolei w Suwałkach i Świnoujściu suma miesięczna osiągnęła jedynie 28-29 mm, a w Poznaniu i Raciborzu 32-33 mm.

We wrześniu największy przychód wody opadowej został zanotowany dla napływów mas powietrza z sektora W (tabela 29). Opady zmierzone podczas tego typu cyrkulacji stanowiły średnio 34% sumy miesięcznej i były najwyższe w Katowicach (75% sumy ogólnej), Łebie (69%), Włodawie (65%) i Nowym Sączu (64%). Ponad 50% udział został również stwierdzony dla Sandomierza i Legnicy. Z kolei zdecydowanie najniższe wartości odnotowano w Olsztynie i Gorzowie Wielkopolskim, gdzie osiągnęły one 3-5% wielkości całkowitej. Obok cyrkulacji W, niewiele mniejszym udziałem odznaczał się sektor S, który odpowiadał średnio za niemal 32% zmierzonych sum. W tym przypadku zróżnicowanie przestrzenne opadów było mniejsze i różnicowało się od 10-11% w Gorzowie Wielkopolskim i Łebie do ponad 40% w Toruniu, Zielonej Górze i Sulejowie i 54-57% w Wielkopolsce (Kalisz, Poznań). Trzecim pod względem przychodu wody opadowej sektorem był kierunek N, z którym związanych było średnio 20% opadów. W tym przypadku zdecydowanie najbardziej uprzywilejowane były regiony północno-wschodnie, gdzie udział opadów dla tego typu cyrkulacji wyniósł 66% w Suwałkach i 54% w Białymstoku. Był on również znaczny w Gdańsku, gdzie przekraczał 45%, a także w górach: na Kasprowym Wierchu (33%) i Śnieżce (29%). Wartości minimalne, wnoszące 6-7%, zanotowano natomiast w Świnoujściu, Gorzowie Wielkopolskim, Legnicy i Toruniu. W czasie występowania cyrkulacji E na zdecydowanej większości obszaru Polski opady nie występowały, jednak na niektórych stacjach, zwłaszcza położonych na północy Polski, udział opadów z tego sektora był znaczny. W Gorzowie Wielkopolskim wyniósł on 79%,

w Świnoujściu 55%, a w Chojnicach i Olsztynie odpowiednio 50% i 42%. Średnio, kierunek E odpowiadał za niespełna 11% sum opadów we wrześniu. Podobną strukturą przestrzenną cechowała się cyrkulacja miejscowa Z, z którą związanych było 4% opadów. W tym przypadku sumy stanowiące odpowiednio 30%, 25%, 17% i 14% stwierdzono w Sulejowie, Lesku, Kaliszu i Toruniu, podczas gdy na pozostałych stacjach opady nie występowały bądź cechowały się niewielką ilością.

Październik

Październik 2022 r. pod względem termicznym cechował się bardzo ciepłymi warunkami, natomiast z punktu widzenia opadów atmosferycznych był miesiącem suchym.

Na początku pierwszej dekady października, warunki pogodowe były kształtowane przez niż z centrum nad Islandią oraz ośrodki niżowe znad południowej Skandynawii i Bałtyku, którym towarzyszyły przechodzące przez Polskę fronty atmosferyczne. Od 3 X obszar kraju znalazł się w zasięgu wyżu znad Europy zachodniej, którego centrum przemieszczało się w kierunku Bałkanów. Jego układ początkowo generował napływ chłodnych mas powietrza z północy, a następnie mas powietrza polarno-morskiego z sektora zachodniego. W drugiej połowie dekady Polska była pod wpływem niżów znad Skandynawii, a przejściowo również w zasięgu wyżu, przesuwanego się z południowych regionów kraju nad Ukrainę. Pod koniec dekady warunki pogodowe determinował układ wyżowy znad Niemiec, którego centrum przemieszczało się na wschód Europy. Najwyższy opad w omawianym okresie wystąpił 3 X na Kasprowym Wierchu, kiedy suma dobową wyniosła ponad 35 mm. Oprócz tego, dość duże wartości odnotowano również w tym samym dniu na Śnieżce (14,7 mm), 2 X w Lesku (13,1 mm) oraz 1 X we Włodawie (12,7 mm). Najwyższe łączne opady zaobserwowano w obszarach górskich – na Kasprowym Wierchu (51 mm), w Lesku (36 mm) i na Śnieżce (30 mm), przy niespełna 2 mm zmierzonych na zachodzie: w Gorzowie Wielkopolskim i 2-4 mm w Poznaniu, Kaliszu, Zielonej Górze i Raciborzu.

W dniach 11-20 X pogoda była początkowo uwarunkowana działalnością ośrodków wyżowych z centrum na Europą środkową i wschodnią, a przejściowo również aktywnością frontalną, związaną z niżem znad Skandynawii. W dniach 13-16 X układ wyżu nad Ukrainą i Rosją przyczynił się do adwekcji ciepłych mas powietrza z sektora południowego. W międzyczasie zaznaczył się wpływ frontów atmosferycznych, związanych z niżami znad Atlantyku i Morza Północnego. W drugiej połowie dekady warunki pogodowe były kształtowane zarówno przez niż z północy Europy, jak i ośrodki wysokiego ciśnienia z centrum na południu. Pod koniec omawianego okresu wzrósł wpływ wyżu znad południowej Skandynawii i Europy środkowej oraz wschodniej. W ostatnim z rozpatrywanych dni układ wyżu generował napływ ciepłych mas powietrza z południa. W dniu 18 X w Zielonej Górze zanotowano najwyższy opad dobowy, wynoszący 18,6 mm. Tego samego dnia znaczną sumę (13,7 mm) zmierzono również w Białymstoku. Sumy łączne dla drugiej dekady na terenie Ziemi Lubuskiej osiągnęły 15-19 mm, wartość 15 mm

odnotowano również w Białymstoku. Na Górnym Śląsku oraz w Sandomierzu opady były najniższe i wyniosły około 2 mm.

W pierwszym dniu trzeciej dekady października, Polska wciąż pozostawała pod wpływem wyżu z centrum nad Bałkanami, co stwarzało warunki sprzyjające adwekcji ciepłych mas powietrza z basenu Morza Śródziemnego. Następnie, przez obszar kraju zaczął się przemieszczać front atmosferyczny, związany z niżem znad Morza Północnego i południowej Skandynawii. Wpływ na pogodę nad Polską miały również przejściowo wyże znad Alp i Bałkanów. W drugiej połowie dekady wyraźniejszy był wpływ ośrodków wysokiego ciśnienia, rozciągających się od Alp do Morza Czarnego. W ostatnich dniach miesiąca zaznaczył się również wpływ niżów z centrum na północy Europy i towarzyszących im frontów atmosferycznych. Najwyższe opady wystąpiły w dniu 22 X w rejonie karpackim, gdzie ich wielkości dobowe różnicowały się od 8 mm w Nowym Sączu do 9-10 mm na Kasprowym Wierchu i w Lesku. Stacje te odznaczały się też najwyższymi sumami łącznymi, osiągającymi 15-16 mm. Podobną wartość zanotowano również w Poznaniu. Z kolei w Gdańsku i Suwałkach, w dniach 21-31 X, spadło łącznie tylko 1-3 mm opadu.

Pod względem cyrkulacyjnym październik był miesiącem o znacznej przewadze napływów mas powietrza z sektora zachodniego. Stanowiły one 65% wszystkich przypadków adwekcji, a ich częstość była 15% wyższa w porównaniu do obserwowanej w zeszłym roku. W przypadku pozostałych typów cyrkulacji, tendencję wzrostową zanotowano dla adwekcji z N i cyrkulacji miejscowej Z oraz spadek dla typów S i E. Frekwencja napływów mas powietrza z sektora S wyniosła w październiku 26% i była niższa od zeszłorocznej o 11%. Natomiast w omawianym miesiącu w ogóle nie stwierdzono adwekcji z sektora E, podczas gdy rok wcześniej ich częstość przekraczała 10%. W przypadku cyrkulacji N, stanowiła ona niespełna 7% wszystkich odnotowanych przypadków i była wyższa od ubiegłorocznej o 5%. Z kolei cyrkulacja miejscowa Z pojawiała się z 2% częstością, o 1% wyższą niż w październiku 2021 r.

Wartości temperatury powietrza w omawianym miesiącu odznaczały się znacznymi, dodatnimi odchyleniami od normy na terenie całego kraju. Największe anomalie zaobserwowano w najwyższych piętrach gór oraz w południowej części Ziemi Lubuskiej. Na Śnieżce średnia miesięczna temperatura przekroczyła wartość wieloletnią o 3,6°C, a na Kasprowym Wierchu i Zielonej Górze o 3,3°C. Z kolei w nizinnej części Dolnego Śląska i Wielkopolsce – w Legnicy, Poznaniu i Kaliszu – miesięczna anomalia termiczna osiągnęła 2,9°C. Natomiast na południu Polski odchylenia były najmniejsze i wyniosły 1,8°C w Nowym Sączu, 2,1°C w Lesku i 2,2°C w Sandomierzu. Średnia anomalia termiczna w październiku, uwzględniając wszystkie stacje, wyniosła 2,6°C. Regiony zachodnie charakteryzowały się najwyższymi miesięcznymi wartościami temperatury. W Zielonej Górze i Legnicy średnia omawianego miesiąca wyniosła 12,6°C, w Świnoujściu i Kaliszu 12,1°C, a w Gorzowie Wielkopolskim i Poznaniu 12,0°C. Z kolei wschodnie regiony Polski były najchłodniejsze i odznaczały się wartościami osiągającymi 9,7°C w Suwałkach, 9,8°C

w Białymstoku i 10,4°C we Włodawie. W przypadku najwyższych pięter gór, temperatura kształtowała się w przedziale 4,5-5,7°C.

Oprócz wyraźnych dodatnich anomalii termicznych, październik cechował się również znacznym deficytem opadów. Średnia obszarowa suma stanowiła niespełna 55% wartości wieloletniej, co klasyfikowało omawiany miesiąc jako suchy. Niedobór opadów został stwierdzony w całej Polsce, przy czym w Lesku, Poznaniu, Toruniu i Białymstoku był on na tyle niski, że warunki opadowe na tych stacjach kształtowały się jeszcze w zakresie zbliżonym do normy. W Zielonej Górze zmierzona suma odpowiadała wartości granicznej między warunkami suchymi i normalnymi. Najliczniejszą grupę stanowiły stacje, na których sumy opadów stanowiły 51-69% normy, co odpowiadało warunkom z klasy suchych. Taką sytuację stwierdzono łącznie na dziewięciu stanowiskach pomiarowych. W Chojnicach i Sandomierzu opady kształtowały się na granicy warunków bardzo suchych i suchych, natomiast największy deficyt wystąpił na północy Polski i w części Górnego Śląska. Na stacjach w Łebie, Świnoujściu, Raciborzu, Olsztynie Suwałkach i Gdańsku wyniósł on 64-72%, co oznaczało, że październik był w tych regionach miesiącem bardzo suchym. Oprócz Łeby, wspomniane stacje odznaczały się również najniższymi bezwzględными sumami miesięcznymi. Najniższą, wynoszącą 13 mm, zmierzono w Gdańsku, natomiast w Suwałkach, Raciborzu, Olsztynie i Świnoujściu wielkości opadów oscylowały w zakresie 15-17 mm. Najwyższe sumy odnotowano natomiast w regionach górskich. Na Kasprowym Wierchu zmierzona wartość przekroczyła 80 mm, w Lesku 58 mm, a na Śnieżce 48 mm. W regionie nizinnym największe opady wystąpiły w Białymstoku, gdzie ich suma miesięczna wyniosła 36 mm.

Wysoka frekwencja napływów mas powietrza z W, przyczyniła się do znacznej przewagi tego sektora w kontekście przychodu wody z opadów (tabela 30). Średnio, opady występujące podczas adwekcji z W stanowiły 73% sumy ogólnej i przyjmowały najwyższe wartości na wschodzie (Białystok, Sandomierz, Włodawa), w Wielkopolsce (Poznań, Kalisz) i na Górnym Śląsku (Racibórz), gdzie ich udział przekraczał 90%. Znaczne sumy, stanowiące ponad 80% ilości całkowitej, zanotowano także w Zielonej Górze, Legnicy, Nowym Sączu, Łebie, Toruniu i Suwałkach. Z kolei zdecydowanie najniższy udział został stwierdzony dla Chojnic, w przypadku których nie osiągnął on 9%. Pomimo niższej, w porównaniu do sektora S, częstości występowania adwekcji N, ten typ cyrkulacji cechował się stosunkowo wysokim udziałem sum opadów, wynoszącym średnio niemal 17% ilości miesięcznej. Najwyższe sumy zmierzono na północy Polski – w Gdańsku (56%) Olsztynie i Chojnicach (32-36%) – a także na Kasprowym Wierchu (46%) i w Katowicach (40%). Natomiast na Ziemi Lubuskiej i Pomorzu Zachodnim opady nie występowały lub ich udział nie przekraczał 1%. Cyrkulacja S odpowiadała za 10% sum opadów w październiku, a większymi wartościami odznaczały się głównie stacji położone na północy Polski oraz w Sudetach. W Chojnicach i Świnoujściu aż 60% i 35% wielkości miesięcznej było związanej z tym sektorem, zaś na Śnieżce, w Gorzowie Wielkopolskim i Olsztynie udział ten kształtował się w przedziale 20-28%. Z kolei na południu, na Górnym Śląsku, w Kotlinie Sandomierskiej, na Lubelszczyźnie, a także w Kaliszu opady

nie występowały. Opadów nie stwierdzono również dla żadnej ze stacji w przypadku adwekcji z kierunku E oraz dla cyrkulacji miejscowej Z.

Listopad

Listopad 2022 r. był termicznie zróżnicowany, a pod względem opadów atmosferycznych odznaczał się znacznym deficytem.

Warunki pogodowe w pierwszej dekadzie listopada były początkowo zdeterminowane działalnością niżów z Europy północnej i związanych z nimi frontów atmosferycznych. Następnie Polska znalazła się pod wpływem ośrodka wyżowego, którego centrum przemieszczało się z południowych Niemiec na wschód Europy. W dniach 3-4 XI centrum wyżu znajdowało się na południowy wschód od Polski, co sprzyjało adwekcjom ciepłych mas powietrza z sektora południowego. Od 4 XI zaczął coraz bardziej zaznaczać się wpływ frontów atmosferycznych i niżów znad Skandynawii i Morza Bałtyckiego. Na początku drugiej połowy dekady Polska znalazła się w zasięgu klina wyżowego z południowego zachodu oraz wyżów znad Europy środkowej i południowej, a przejściowo także pod wpływem ośrodka niskiego ciśnienia z północy i wyżu znad Alp. Najwyższe dobowe sumy opadów zmierzono 5 XI na Kasprowym Wierchu (22,0 mm), 4 XI na Dolnym Śląsku (18 mm na Śnieżce i w Legnicy) oraz 5 XI w Nowym Sączu i Białymstoku (ponad 13 mm). Natomiast największe sumy łączne kształtowały się od 20-23 mm w Białymstoku i na Dolnym Śląsku do 31 mm na Kasprowym Wierchu. Z kolei najniższe opady wystąpiły na Górnym Śląsku i Pomorzu Zachodnim (1-3 mm).

W dniach 11-20 XI Polska początkowo znajdowała się pod wpływem wyżu znad Alp, którego układ generował napływ mas powietrza polarno-morskiego z zachodu. Następnie przez obszar kraju przemieszczał się front atmosferyczny, związany z niżem znad Islandii, obserwowany był również wpływ ośrodków wysokiego ciśnienia z centrum nad Europą wschodnią. W dniach 14-15 XI układ baryczny sprzyjał adwekcjom mas powietrza z sektora południowego. W kolejnych dniach warunki pogodowe były kształtowane przez niż z centrum na wschód od Polski, a także ośrodek wyżowy z północnej Skandynawii. W ostatnich dniach zaznaczył się również wpływ niżu znad zachodniej części Morza Bałtyckiego. Najwyższe opady dobowe, dochodzące do 12 mm, zostały zaobserwowane w dniu 16 XI na Kasprowym Wierchu i w Legnicy, a także w Katowicach, gdzie suma dobową wyniosła prawie 10 mm. Największe wartości całkowite opadów, w drugiej dekadzie omawianego miesiąca, odnotowano w najwyższych partiach gór oraz w Legnicy i Sandomierzu, gdzie wyniosły one 12-14 mm. Natomiast w Białymstoku, Gdańsku i Kaliszu łączna ilość opadu kształtowała się poniżej 1 mm.

Na początku trzeciej dekady, Polska pozostawała w zasięgu układów niskiego ciśnienia, a także częściowo pod wpływem wyżu z północy Europy. W połowie omawianego okresu na krótko zaznaczył się jeszcze wpływ wyżu z centrum nad Alpami i Bałkanami. Od 27 XI warunki pogodowe w Polsce były kształtowane głównie działalnością wyżów z Europy południowej i znad Ukrainy. W ostatnich dniach silniej zarysował się wpływ ośrodka wysokiego ciśnienia znad Rosji. Dobowe sumy opadów w dniach 21-30 XI cechowały się stosunkowo niedużymi wartościami. Najwyższe zaobserwowano w dniu

23 XI we Włodawie oraz 24 XI na Kasprowym Wierchu, gdzie spadło nieco ponad 7 mm opadu. Sumy osiągające co najmniej 5 mm zmierzono natomiast w dniu 24 XI w Katowicach i Sulejowie oraz 26 XI w Legnicy. W Tatrach zanotowano również najwyższą łączną sumę (ponad 13 mm), natomiast na Dolnym Śląsku opady osiągnęły 9-10 mm. Regiony Pomorza oraz Warmii i Podlasia charakteryzowały się natomiast najmniej obfitymi opadami, które w Świnoujściu, Łebie, Gdańsku, Olsztynie i Białymstoku kształtowały się poniżej 1 mm.

Warunki cyrkulacyjne w listopadzie były w największym stopniu uwarunkowane adwekcjami z sektorów W i S, których udział łączny stanowił ponad 70% wszystkich odnotowanych przypadków. Najliczniej, występowały napływy mas powietrza z kierunku S, które pojawiały się z 36% częstością. Porównując tę wartość do obserwowanej w 2021 r., odnotowano wzrost o 3%. Cyrkulacja W charakteryzowała się natomiast frekwencją dochodzącą do 35%, co było wartością o 18% niższą niż przed rokiem. Pozostałe typy cyrkulacji występowały zdecydowanie rzadziej. Najliczniej spośród nich reprezentowane były napływy z E, których udział w łącznej liczbie adwekcji osiągnął 15%, przekraczając zeszłoroczną częstość o 10%. Częstość występowania cyrkulacji N wyniosła natomiast 6% i była porównywalna z listopadem roku ubiegłego. Liczba przypadków cyrkulacji miejscowej Z kształtowała się na poziomie 8%, będąc o 5% wyższą niż w 2021 r.

Średnia obszarowa temperatura powietrza w listopadzie była o 0,4°C wyższa w stosunku do wartości wieloletniej, jednak warunki termiczne na terenie Polski wykazywały znaczne zróżnicowanie. Zdecydowana większość stacji charakteryzowała się dodatnimi anomaliami termicznymi. Najwyższe odnotowano w górach i na Pomorzu Zachodnim. Odchylenia na Kasprowym Wierchu i w Świnoujściu osiągnęły 1,1°C, a na Śnieżce 0,9°C. Nieco niższe anomalie, przekraczające 0,5°C, zostały stwierdzone na Ziemi Lubuskiej, Dolnym Śląsku, Warmii i Pomorzu Gdańskim. W przypadku Kalisza i Raciborza, średnia temperatura listopada była równa wartości normatywnej, natomiast na terenie czterech stacji odnotowano wartości niższe w stosunku do średniej wieloletniej. W Sulejowie i Lesku anomalia termiczna wyniosła -0,1°C, w Białymstoku -0,3°C, a w Nowym Sączu -0,6°C. W kontekście średniej temperatury miesięcznej, zachód Polski oraz Pomorze cechowały się najwyższymi wartościami, osiągającymi 6,2°C w Świnoujściu, 5,5°C w Łebie i 5,4°C w Legnicy. W Gorzowie Wielkopolskim i Zielonej Górze średnia dla listopada wyniosła 5,0°C, a w Raciborzu i Poznaniu 4,8°C. Wschodnie regiony były natomiast najchłodniejsze, a stwierdzona temperatura powietrza kształtowała się na poziomie 2,4°C w Białymstoku i Suwałkach oraz 3,4°C we Włodawie. W szczytowej partii gór średnie wartości wahały się od -1,5°C na Kasprowym Wierchu do -0,7°C na Śnieżce.

W przypadku opadów atmosferycznych, średnia obszarowa suma dla całej Polski kształtowała się poniżej 50% średniej sumy wieloletniej, co klasyfikowało listopad jako miesiąc bardzo suchy. Jediną stacją z nadwyżką opadu była Legnica, gdzie norma została przekroczona o ponad 40%, co były równoznaczne z warunkami wilgotnymi. Na południowym wschodzie, w Sandomierzu i Włodawie, niedobór opadów był nieznaczny i kształtował się w przedziale 7-17%, co pozwoliło na zakwalifikowanie listopada do grupy

miesiący z opadami zbliżonymi do normy. Na terenie czterech stacji – Nowego Sącza, Gorzowa Wielkopolskim, Śnieżki i Białegostoku, suma miesięczna stanowiła od 55% do 73% wartości normatywnej, odpowiadając tym samym warunkom z klasy suchych. Z kolei w Suwałkach i na Kasprowym Wierchu zmierzona ilość kształtowała się na granicy warunków bardzo suchych i suchych. Na pozostałym obszarze opady przyjmowały wartości równoznaczne z warunkami bardzo suchymi i skrajnie suchymi. W przypadku połowy wszystkich uwzględnionych stacji stosunek miesięcznej sumy opadów do normy różnicował się w przedziale 27-49% (warunki bardzo suche), natomiast w Gdańsku odpowiadał wartości granicznej między warunkami bardzo suchymi i skrajnie suchymi. Największy deficyt wystąpił w Olsztynie, gdzie wielkość opadów względem normy wyniosła zaledwie 13%, klasyfikując omawiany miesiąc jako skrajnie suchy. W kontekście sum bezwzględnych, najwyższe miesięczne wartości odnotowano w najwyższych piętrach górskich, gdzie osiągnęły 58 mm na Kasprowym Wierchu oraz 46 mm na Śnieżce. W nizinnej części Polski najwyższą sumę stwierdzono w Legnicy (41 mm). Stacja w Olsztynie, na której odnotowano najniższy opad względem normy, charakteryzowała się również najmniejszą sumą miesięczną, wynoszącą 6 mm. Ponadto, niewielką ilość zaobserwowano w Kaliszu, Gdańsku i Raciborzu, gdzie suma opadów w listopadzie kształtowała się na poziomie 9-12 mm.

Z uwagi na znaczną liczbę przypadków adwekcji z W i S, sektory te były również przeważającymi w kontekście przychodu wody z opadów (tabela 11). Około 1/3 całej sumy miesięcznej zmierzono podczas występowania cyrkulacji W. Na terenie Polski udział opadów dla tego sektora odznaczał się znacznym zróżnicowaniem. Na północnym wschodzie, w Suwałkach i Białymstoku, przekraczał on 80% i 90% sumy całkowitej. Znaczną ilość zmierzono również na Kasprowym Wierchu (63%), podczas gdy w Poznaniu i Nowym Sączu opady kształtowały się na poziomie 4-6%. Cyrkulacja S odpowiadała średnio za niespełna 21% sum w listopadzie i cechowała się ich największą ilością na obszarze rozciągającym się od Warmii, przez część Pomorza Gdańskiego do Kujaw, gdzie sumy miesięczne w odniesieniu do wartości całkowitej wyniosły ponad 80% w Olsztynie, 78% w Toruniu i 56-61% w Chojnicach i Gdańsku. Podobny udział (60%) zanotowano również w Nowym Sączu. Natomiast na wschodzie – w Suwałkach, Białymstoku i Włodawie – a także w Kaliszu, Raciborzu i Świnoujściu, opadów przy omawianym kierunku adwekcji nie stwierdzono. Sumy notowane w czasie napływów mas powietrza z E stanowiły średnio 15% wielkości miesięcznej, przy czym największym udziałem odznaczały się regiony południowe, zwłaszcza reprezentujące Górny Śląsk Racibórz i Katowice, a także Sandomierz. Na stacjach tych udział opadów dla wspomnianego typu cyrkulacji kształtował się w przedziale 45-54%. Natomiast na obszarze obejmującym południową część Pomorza Gdańskiego (Chojnice), Kujawy (Toruń) i część Wielkopolski (Poznań) opady nie występowały. W przypadku cyrkulacji N, udział opadów w sumie całkowitej różnicował się od ich braku w Sandomierzu, Toruniu i Kaliszu do 59% w Gorzowie Wielkopolskim i 33% w Sulejowie, natomiast dla całej Polski wyniósł on średnio 9%. Z kolei cyrkulacja miejscowa Z cechowała się opadami stanowiącymi 22% ilości ogólnej, przy czym największe sumy zmierzono w części

Wielkopolski (Poznań), na Ziemi Lubuskiej (Gorzów Wielkopolski, Zielona Góra) oraz na Pomorzu Zachodnim (Świnoujście), gdzie stosunek opadów do sumy miesięcznej kształtował się w zakresie 55-90%.

Grudzień

Grudzień 2022 r. cechował się warunkami termicznymi zbliżonymi do średniej wieloletniej, natomiast sumy opadów atmosferycznych kształtowały się nieznacznie powyżej normy.

Na początku grudnia Polska znajdowała się w zasięgu rozległego wyżu znad Rosji oraz ośrodka wysokiego ciśnienia z centrum nad Skandynawią, których układ generował napływ chłodnych mas powietrza o charakterze polarno-kontynentalnym ze wschodu. Natomiast w dniach 3-5 XII układ wyżu znad Rosji sprzyjał adwekcji ciepłych mas z sektora południowego. W połowie dekady nad Polskę nadciągnął niż znad Niemiec oraz towarzyszące mu fronty atmosferyczne. Do końca omawianego okresu obszar kraju pozostawał w zasięgu niżów, jedynie przejściowo zaznaczył się wpływ wyżu znad północnych Włoch. Najwyższe dobowe sumy opadów w dniach 1-10 XII odnotowano w regionie karpackim i w centrum Polski. W dniach 9 i 10 XII suma opadów w Lesku wyniosła odpowiednio 15,2 mm i 22,9 mm, a na Kasprowym Wierchu 16,6 mm i 15,8 mm. Z kolei 6 XII w Sulejowie wielkość opadu dochodziła do 17 mm, a w dniu 10 XII w Nowym Sączu przekroczyła 12 mm. Kasprowy Wierch i Lesko cechowały się wyraźnie większymi sumami łącznymi opadu w porównaniu do pozostałych stacji. Osiągnęły one 55 mm i 41 mm, podczas gdy w Nowym Sączu, Katowicach, i Sandomierzu kształtowały się one w przedziale 22-29 mm. Najniższe opady, nie osiągające 5 mm, zmierzono w Gdańsku, Legnicy i Kaliszu.

W okresie 11-20 XII obszar kraju początkowo znajdował się pod wpływem niżu z centrum na wschód od Polski, a także w zasięgu klina wyżowego, rozciągającego się od Skandynawii do Francji. W kolejnych dniach pogoda była uwarunkowana przede wszystkim działalnością wyżu znad południa Europy, a następnie ośrodka wysokiego ciśnienia z południowej Rosji. Jednocześnie, południowa część Polski znalazła się w strefie frontu atmosferycznego, związanego z niżem znad Austrii i Czech, przemieszczającego się na północny wschód. Na północy kraju wyraźniejszy był z kolei wpływ wyżu z centrum nad południową Skandynawią. Od 17 XII warunki pogodowe były determinowane obecnością wyżu nad Niemcami, którego centrum przemieszczało się na wschód. Pod koniec dekady zanotowano również wpływ frontów atmosferycznych związanych z niżem znad Atlantyku. Najwyższe opady dobowe zmierzono na stacjach wysokogórskich – 11 XII na Kasprowym Wierchu (13,3 mm) oraz 16 XII na Śnieżce (12,7 mm). Wielkości wynoszące około 10 mm zanotowano 11 XII na południowym wschodzie, we Włodawie i Nowym Sączu. Sumy łączne w najwyższych piętrach gór dochodziły do 35-37 mm, a na pozostałym obszarze do 23-26 mm (Katowice, Włodawa, Sandomierz). Z kolei na zachodzie – w Kaliszu i Zielonej Górze - wielkość całkowita nie osiągała 3 mm, a w Legnicy wyniosła zaledwie 0,5 mm.

Na początku trzeciej dekady grudnia, warunki pogodowe kształtowały wyżej z południa i południowego wschodu Europy, które szybko ustąpiły miejsca układom niżowym i towarzyszącym im frontom, przemieszczającym się z zachodu na wschód kontynentu. Polska znajdowała się w zasięgu bruzdy niskiego ciśnienia, rozciągającej się od Atlantyku do krajów bałtyckich. W połowie dekady przejściowo zaznaczył się wpływ wyżów znad Skandynawii, Białorusi i południa Europy. Wyraźniejsze oddziaływanie ośrodków antycyklonalnych zostało zaobserwowane 27 XII, kiedy warunki pogodowe kształtowały głównie wyżej znad Alp i Bałkanów. Natomiast dzień później nad Polskę ponownie dotarły fronty, związane z niżami z centrum na północy Europy. Układ baryczny sprzyjał adwekcji mas powietrza o charakterze polarno-morskim z sektora zachodniego. Pogoda niżowa utrzymywała się do końca miesiąca, jedynie okresami zaznaczył się wpływ wyżu znad Bałkanów. Najwyższe dobowe sumy opadów, dochodzące do 12 mm, zanotowano w Zielonej Górze, Chojnicach i Białymstoku. Z kolei, najwyższą łączną ilość zmierzono na Śnieżce (43 mm). Na nizinach najintensywniejsze opady występowały na Ziemi Lubuskiej, w Zielonej Górze i Gorzowie Wielkopolskim (29 mm), natomiast w Nowym Sączu suma łączna nie osiągnęła 10 mm.

W grudniu warunki cyrkulacyjne charakteryzowały się przede wszystkim wyraźną przewagą adwekcji mas powietrza z kierunku W. Stanowiły one ponad połowę (53%) wszystkich przypadków napływów, a ich liczba była o 10% wyższa względem roku poprzedniego. Wysoka była również frekwencja cyrkulacji z sektora S. W omawianym miesiącu wyniosła ona niemal 25%, przekraczając wartość zeszłoroczną o 4%. Podobny wzrost zanotowano również dla liczby napływów mas powietrza z E, które w roku bieżącym stanowiły ponad 9% wszystkich odnotowanych przypadków, przy 5% udziale w roku ubiegłym. Pozostałe typy cyrkulacji cechowały się tendencją spadkową. Frekwencja adwekcji z N dochodziła do 11%, będąc tym samym o 12% niższa niż przed rokiem. Natomiast cyrkulacja miejscowa Z pojawiała się z 2% częstością, podczas gdy w grudniu 2021 r. liczba jej przypadków przekraczała 8%.

Wartości temperatury powietrza w grudniu były przeważnie zbliżone do normy. Na terenie trzynastu stacji średnia omawianego miesiąca była wyższa od wartości wieloletniej, a największe odchylenia wystąpiły w regionie karpackim: w Lesku, na Kasprowym Wierchu i w Nowym Sączu. Na tych stacjach średnie anomalie wyniosły odpowiednio 2,1°C, 1,4°C i 1,0°C. W Zielonej Górze stwierdzona temperatura była równa średniej dla okresu 1991-2020, natomiast na terenie ośmiu stacji, położonych na północy Polski i w Karkonoszach, wystąpiły odchylenia ujemne. W Łebie średnia temperatura grudnia kształtowała się 1,3°C poniżej normy, a w Świnoujściu i Suwałkach była niższa o 0,9°C i 0,7°C. Średnia obszarowa temperatura powietrza w omawianym miesiącu wyniosła -0,1°C. Najcieplejszymi regionami był zachód Polski oraz Bieszczady, gdzie miesięczna wartość kształtowała się na poziomie 2,2°C (Legnica), 1,2-1,3°C (Poznań i Lesko), 1,1°C (Gorzów Wielkopolski i Kalisz) i 1,0°C (Świnoujście). Z kolei na terenie siedmiu stacji średnia temperatura grudnia była ujemna, a najniższe wartości stwierdzono na Śnieżce (-4,9°C) i Kasprowym Wierchu (-4,7°C), a także na północnym wschodzie Polski,

gdzie średnia dla grudnia przyjmowała wartości od $-2,3^{\circ}\text{C}$ w Suwałkach do $-1,3^{\circ}\text{C}$ w Białymstoku.

Sumy opadów atmosferycznych w grudniu były średnio nieco wyższe od wartości normatywnej, a zgodnie z klasyfikacją warunków opadowych miesiąc ten został zakwalifikowany jako normalny. Wielkości opadów zbliżone do normy stwierdzono na większości rozpatrywanych stacji, przy czym na pięciu z nich (Świnoujście, Suwałki, Białystok, Gorzów Wielkopolski, Zielona Góra) odnotowano 2-17% nadwyżkę. Na południu i wschodzie Polski sumy opadów często kształtowały się znacznie powyżej średniej wieloletniej. Największą nadwyżkę opadów zaobserwowano we Włodawie i Sandomierzu, gdzie sumy miesięczne ponad dwukrotnie przekroczyły normę, klasyfikując grudzień jako miesiąc skrajnie wilgotny. Na kolejnych trzech stacjach (Lesko, Nowy Sącz, Racibórz) wielkości opadów stanowiły od 163% do 186% normy, odpowiadając tym samym warunkom bardzo wilgotnym. Natomiast w Sulejowie i Katowicach odnotowano warunki z klasy wilgotnych, z sumami przekraczającymi normę o 31-36%. Jedynymi stacjami w przypadku których wystąpił wyraźniejszy deficyt były Gdańsk i Legnica, gdzie sumy stanowiące 69% i 62% normy były równoznaczne z wystąpieniem warunków suchych. W zakresie średnich bezwzględnych sum, najintensywniejsze opady zaobserwowano w górach, na Kasprowym Wierchu, Śnieżce i w Lesku, gdzie dochodziły one do 107 mm, 87 mm i 82 mm. W niższych piętrach wysokościowych najwyższe sumy zmierzono na południowym wschodzie – we Włodawie (68 mm) i Sandomierzu (59 mm). Z kolei w Legnicy wartość miesięczna była zdecydowanie najniższa i wyniosła 15 mm. Niewielkie opady wystąpiły również w Kaliszu i Gdańsku, gdzie kształtowały się w przedziale 24-26 mm.

W grudniu zdecydowana większość opadów występowała w czasie adwekcji z sektora W (tabela 12). Zmierzone sumy stanowiły średnio 61% wielkości ogólnej i były najwyższe na północy i zachodzie Polski. W Toruniu i Kaliszu ich udział dochodził do 89-92%, w Legnicy przekraczał 80%, a w Białymstoku, Olsztynie, Gorzowie Wielkopolskim, Łabie i Świnoujściu kształtował się w zakresie 74-80%. Podobną wartość (75%) zaobserwowano także w Sulejowie. Z kolei na południu, zwłaszcza w regionie karpackim, udział opadów przy adwekcji z W był najniższy i dochodził do 22% na Kasprowym Wierchu oraz 31-32% w Lesku i Katowicach. Opady zmierzone podczas występowania cyrkulacji S, odpowiadały średnio za niespełna 21% wielkości miesięcznej. Zdecydowanie najwyższą wartość, stanowiącą niemal połowę sumy ogólnej, stwierdzono na Kasprowym Wierchu, a stosunkowo wysokie sumy zanotowano również we Włodawie, Poznaniu i Chojnicach, gdzie ich stosunek do wartości miesięcznej wyniósł 35-37%. Minimalny udział zaobserwowano natomiast w Kaliszu i Białymstoku, gdzie nieznacznie przekraczał on 3%. W przypadku opadów notowanych podczas cyrkulacji N, ich średnia wartość kształtowała się na poziomie niespełna 14%, a największe sumy zmierzono na południowym wschodzie. W regionie karpackim (w Nowym Sączu i Lesku) ich udział osiągnął 43% i 39%, a na Kasprowym Wierchu wyniósł 29%. Opady stanowiące ponad 20% sumy ogólnej zaobserwowano ponadto we Włodawie i Sandomierzu. Zdecydowanie mniejszą ilość opadów stwierdzono dla adwekcji z sektora E. W tym przypadku średni udział

wyniósł 4%, a na terenie połowy z rozpatrywanych stacji opady w ogóle nie występowały. Zdecydowanie największe wartości zmierzono na Górnym Śląsku (Racibórz, Katowice), gdzie wyniosły one 24-28%. Z kolei udział opadów notowanych dla cyrkulacji miejscowej Z był śladowy i kształtował się poniżej 1% wielkości miesięcznej. Jedynie w Lesku (6%) oraz Nowym Sączu, Zielonej Górze i Białymstoku (2-3%) stosunek sum opadów do wartości całkowitej był wyższy niż 1%.

4.2. Charakterystyka warunków meteorologicznych w ciepłym i chłodnym sezonie 2022 roku

Okres ciepły roku

Okres ciepły (IV-IX) w 2022 roku na terenie Polski był pod względem termicznym zbliżony do normy, natomiast w zakresie opadów atmosferycznych odznaczał się wyraźnym zróżnicowaniem.

Warunki cyrkulacyjne w omawianym półroczu cechowała przewaga adwekcji mas powietrza z sektora W (tabela 5). Średnia częstość występowania tego typu cyrkulacji przekraczała 41% i była najwyższa w zachodnich regionach kraju. W Świnoujściu i Gorzowie Wielkopolskim jej udział dochodził do 45%, a wielkości osiągające 44% odnotowano na Dolnym Śląsku i w Wielkopolsce – w Legnicy, Poznaniu i Kaliszu. Na wschodzie Polski, a zwłaszcza regionach południowo-wschodnich, liczba napływów mas powietrza z W była mniejsza. Minimum stwierdzono we Włodawie, gdzie częstość cyrkulacji W nie osiągnęła 37%. W Lesku i Białymstoku wyniosła ona odpowiednio 37% i 38%, natomiast w Suwałkach, Sandomierzu, Nowym Sączu i na Kasprowym Wierchu kształtowała się poniżej 40%. Zachodnie regiony Polski były również uprzywilejowane w kontekście adwekcji z sektora S. W Świnoujściu oraz na Ziemi Lubuskiej (Gorzów Wielkopolski, Zielona Góra) ich liczba stanowiła 22% odnotowanych przypadków. Z kolei wartości poniżej 15% były obserwowane na południowym wschodzie, w Sandomierzu, Nowym Sączu i na Kasprowym Wierchu. Średni udział adwekcji z S dla całego kraju wyniósł 19%. Trzecim pod względem częstości napływów mas powietrza był kierunek N, z którym związanych było niespełna 15% wszystkich przypadków. Na terenie kraju udział tego sektora różnicował się od ponad 11% w centrum i na Kujawach (Sulejów, Toruń) do 18% w Białymstoku i ponad 19% na południowym wschodzie – w Lesku i Włodawie. Częstość cyrkulacji E i Z była porównywalna i stanowiła ponad 12% przypadków w omawianym półroczu. Adwekcje z N występowały najczęściej na wschodzie i w regionie karpackim – w Białymstoku (16%) oraz Suwałkach, Włodawie, Nowym Sączu, Sandomierzu, Lesku i na Kasprowym Wierchu (ponad 14%). Natomiast najmniej przypadków stwierdzono na Ziemi Lubuskiej i w Wielkopolsce (poniżej 10%). Z kolei liczba przypadków cyrkulacji miejscowej Z różnicowała się od mniej niż 10% na Pomorzu Zachodnim do ponad 15% w Katowicach.

Średnia obszarowa temperatura powietrza w okresie półroczu ciepłego przewyższała wartość wieloletnią o 0,2°C i cechowała się dodatnimi odchyleniami na terenie siedemnastu stacji. Najwyższe anomalie wystąpiły na zachodzie Polski, zwłaszcza w Wielkopolsce, na Ziemi Lubuskiej i Dolnym Śląsku. W Poznaniu i Zielonej Górze średnia dla okresu

kwiecień-wrzesień przewyższała normę o $0,7^{\circ}\text{C}$, a w Gorzowie Wielkopolskim i Legnicy o $0,5^{\circ}\text{C}$. Stosunkowo wysokie wartości w odniesieniu do norm wieloletnich stwierdzono również na Pomorzu i w Tatrach – w Świnoujściu, Łebie i na Kasprowym Wierchu – gdzie odchylenie wyniosło $0,4^{\circ}\text{C}$. Na Śnieżce i w Sulejowie średnia temperatura powietrza była równa wartości normatywnej, natomiast trzy stacje reprezentujące regiony wschodnie (Włodawa, Białystok, Suwałki) charakteryzowały się anomaliami ujemnymi, osiągającymi odpowiednio: $-0,2^{\circ}\text{C}$, $-0,3^{\circ}\text{C}$ i $-0,4^{\circ}\text{C}$. Średnia obszarowa temperatura dla okresu ciepłego wyniosła $14,3^{\circ}\text{C}$ i również w tym przypadku najwyższe wartości zmierzono na zachodzie Polski. W Poznaniu i Zielonej Górze wyniosły one $16,4^{\circ}\text{C}$ i $16,3^{\circ}\text{C}$, a w Kaliszu, Gorzowie Wielkopolskim i Legnicy $16,0-16,2^{\circ}\text{C}$. Na pozostałym obszarze najcieplejsze były Sandomierz, Toruń i Racibórz, gdzie wielkości średnie temperatury przekraczały $15,5^{\circ}\text{C}$. Z kolei regiony wschodnie oraz Pomorze cechowały się wartościami najniższymi. W Suwałkach średnia dla okresu kwiecień-wrzesień wyniosła $13,6^{\circ}\text{C}$, a w Białymstoku, Łebie, Chojnicach kształtowała się w przedziale $14,0-14,3^{\circ}\text{C}$. Nieznacznie wyższe wartości zaobserwowano w Olsztynie, Lesku i Gdańsku ($14,5-14,6^{\circ}\text{C}$). W przypadku gór, średnia dla omawianego okresu wyniosła $6,3^{\circ}\text{C}$ na Śnieżce oraz $5,4^{\circ}\text{C}$ na Kasprowym Wierchu.

Warunki opadowe w półroczu ciepłym cechowały się znacznym zróżnicowaniem przestrzennym, zaś stosunek średniej obszarowej sumy do normy kształtował się na granicy warunków suchych i normalnych. Na wschodzie, w rejonie Suwałk i Włodawy, opady cechowały się wyraźną nadwyżką, przekraczającą 17%. Zgodnie z klasyfikacją warunków opadowych, okres ten na wspomnianych stacjach został zakwalifikowany jako wilgotny. Z kolei w Gorzowie Wielkopolskim odnotowano wartość graniczną między warunkami normalnymi i wilgotnymi. Na ośmiu kolejnych stacjach stwierdzono sumy opadów stanowiące 94-106% normy, co było równoznaczne z warunkami zbliżonymi do normy. W Gdańsku zmierzona ilość kształtowała się na granicy warunków suchych i normalnych, zaś na pięciu stacjach zlokalizowanych na wschodzie (Olsztyn, Sandomierz) i w regionie karpackim (Nowy Sącz, Lesko, Kasprowy Wierch) deficyt opadów był wyraźniejszy i odpowiadał warunkom suchym. Uwzględniając wysokie sumy w Suwałkach i Włodawie, można stwierdzić, że wschód Polski cechował się znacznym zróżnicowaniem opadowym. Na Pomorzu Gdańskim (Łeba, Chojnice) opady cechowały się 25% deficytem i odpowiadały wartości granicznej między warunkami bardzo suchymi i suchymi. Natomiast w Świnoujściu, Poznaniu i Zielonej Górze opady stanowiły 68-72% sumy wieloletniej, co klasyfikowało okres ciepły jako bardzo suchy. W kontekście bezwzględnych sum opadów, średnia obszarowa wartość dla całego obszaru Polski wyniosła niespełna 379 mm. Najbardziej obfite opady występowały w górach, a także na wschodzie i południu kraju. Na Kasprowym Wierchu wielkość całkowita dla okresu ciepłego wyniosła 852 mm, a na Śnieżce 564 mm. W części nizinnej najwyższą wartość odnotowano w Katowicach (473 mm), stosunkowo wysokie sumy również we Włodawie i Nowym Sączu (437-439 mm) oraz w Suwałkach i Lesku (427-429 mm). Z kolei zachodnie regiony oraz Pomorze charakteryzowały się sumami najniższymi. W Poznaniu i Zielonej Górze osiągnęły one 229 mm i 234 mm, w Świnoujściu 237 mm, a w Łebie, Chojnicach i Gdańsku kształtowały się w przedziale 268-277 mm.

W półroczu ciepłym największą ilość opadów stwierdzono dla adwekcji z sektora W (tabela 33). Stanowiły one średnio 42% wielkości ogólnej i były najwyższe na Pomorzu – w Świnoujściu i Łebie, gdzie ich udział dochodził do 64% i 59%. Ponad połowę całkowitej sumy opadów w omawianym okresie stwierdzono również we Włodawie, natomiast wielkości przekraczające 45% odnotowano w Chojnicach, Poznaniu i Katowicach. W Polsce centralnej i w nizinnej części Dolnego Śląska udział ten był najniższy i kształtował się w zakresie 26-30%. Ilość opadów zmierzona dla sektora S stanowiła średnio 19% sumy dla całego półrocza i cechowała się najwyższymi sumami w północnej części kraju, na obszarze, obejmującym Warmię, Pomorze i Kujawy, a także na Dolnym Śląsku i w Beskidach. W Toruniu i Olsztynie stosunek opadów zmierzonych w czasie napływów z S do wielkości ogólnej wyniósł 27-28%, a w Świnoujściu, Łebie, Gdańsku, Legnicy, na Śnieżce i w Nowym Sączu kształtował się na poziomie 22-23%. Natomiast w Sandomierzu udział ten był najniższy i nie osiągał 9%. W przypadku cyrkulacji E, wielkości opadów cechowały się dużym zróżnicowaniem pomiędzy poszczególnymi stacjami. W Gorzowie Wielkopolskim niemal 39% opadów było związanych z adwekcjami z tego sektora, a w Legnicy i Sandomierzu ponad 29%. Wartości powyżej 20% zanotowano z kolei w Kaliszu, Sulejowie i Raciborzu. Natomiast na Pomorzu Gdańskim, w Łebie i Gdańsku, odnotowano jedynie opady śladowe. Średnio, opady z sektora E stanowiły niecałe 15% sumy całkowitej. W przypadku cyrkulacji N, zmierzono 12% ilości opadów dla całego okresu półrocza ciepłego. Najwyższe wartości odnotowano w Białymstoku (39%) oraz na Kasprowym Wierchu i w Gdańsku (26%) oraz w Suwałkach (20%). W przypadku Torunia, Legnicy i Sandomierza, sumy były najniższe i stanowiły 3-4% wielkości ogólnej. Cyrkulacja miejscowa Z odpowiadała za 12% wielkości opadów, z najwyższymi wartościami notowanymi w Poznaniu i na Śnieżce (21-23%). Najmniejszym udziałem odznaczały się natomiast Białystok, Gorzów Wielkopolski i Świnoujście, gdzie stosunek sum opadów do ilości całkowitej nie osiągał 1%.

Warunki termiczno-wilgotnościowe w półroczu ciepłym cechowały się wartościami temperatury zwykle zbliżonymi do normy oraz znacznym zróżnicowaniem sum opadów atmosferycznych. Najwyższa temperatura powietrza w odniesieniu do wartości wieloletniej została zaobserwowana w lecie, w czerwcu i sierpniu, kiedy średnie anomalie wyniosły co najmniej 2°C. Warunki zbliżone do normy, cechujące się średnimi wartościami temperatury nieznacznie wyższymi od średniej wieloletniej, zostały natomiast odnotowane w maju i lipcu. Z kolei w miesiącach kwiecień i październik miesięczna temperatura kształtowała się zdecydowanie poniżej normy, a średnie odchylenie wyniosło odpowiednio -1,9°C i -1,4°C. Warunki opadowe odznaczały się znaczną nadwyżką we wrześniu, odpowiadającą warunkom wilgotnym. Spośród pozostałych miesięcy jedynie kwiecień odznaczał się średnią obszarową sumą równą normie, natomiast pozostała część półrocza cechowała się deficytem. W przypadku miesięcy letnich, wyniósł on 21% dla czerwca, 11% dla lipca i niespełna 2% dla sierpnia, co oznaczało, że miesiące te cechowały się warunkami normalnymi. Natomiast suma opadów w maju stanowiła średnio 59% normy, co klasyfikowało ten miesiąc jako suchy.

Okres chłodny roku

Okres chłodny (I-III, X-XII) w 2022 roku odznaczał się wartościami temperatury powietrza wyraźnie przekraczającym normę, natomiast z punktu widzenia opadów atmosferycznych charakteryzował się warunkami suchymi.

Podobnie jak w półroczu ciepłym, również w czasie okresu chłodnego przeważającym kierunkiem adwekcji mas powietrza był sektor W, z którym związanych było blisko 49% przypadków napływów (tabela 5). Na terenie Polski udział ten wykazywał nieduże zróżnicowanie i wahał się od niecałych 45% do ponad 50%. Największą częstość, stanowiącą ponad połowę odnotowanych przypadków, zanotowano głównie na Górnym Śląsku (Katowice, Racibórz), w regionie karpackim (Nowy Sącz, Kasprowy Wierch), Kotlinie Sandomierskiej (Sandomierz), Wielkopolsce (Poznań, Kalisz), a także na Pomorzu Zachodnim (Świnoujście). W tych regionach udział adwekcji z W osiągnął niemal 51%. W przypadku cyrkulacji S, największą jej częstością odznaczały się Suwałki, gdzie wyniosła ona niemal 23%, przy średniej 20% frekwencji notowanej dla całej Polski. Ponadto, wartości powyżej 21% stwierdzono dla czterech stacji reprezentujących Ziemię Lubuską i Dolny Śląsk – Gorzowa Wielkopolskim, Zielonej Góry, Legnicy i Śnieżki. Z kolei regiony południowe i południowo-wschodnie charakteryzowały się najniższym udziałem, nie osiągającym 19%. Taka sytuacja została zaobserwowana w Sandomierzu, Raciborzu, Katowicach, Nowym Sączu i na Kasprowym Wierchu. Adwekcje mas powietrza z N stanowiły średnio 18% wszystkich odnotowanych przypadków, z największą częstością obserwowaną na Podlasiu i Suwalszczyźnie. W Białymstoku przekraczała ona 21%, a w Suwałkach dochodziła do 20%. Na Pomorzu Zachodnim i w Wielkopolsce liczba przypadków omawianego typu cyrkulacji była najniższa i kształtowała się poniżej 16% w Świnoujściu i poniżej 17% w Kaliszu i Poznaniu. Frekwencja napływów mas powietrza z kierunku E wyniosła średnio 9% i różnicowała się od nieco ponad 7% w Zielonej Górze do ponad 10% dla wszystkich stacji reprezentujących Pomorze. Z kolei, średni udział cyrkulacji miejscowej Z osiągnął 4% i był najwyższy w Chojnicach (niemal 5%), a najniższy w Białymstoku (poniżej 3%).

Warunki termiczne w okresie chłodnym charakteryzowały dodatnie anomalie na terenie całego kraju. Średnia temperatura półroczna była wyższa od normy o 1,4°C, a najwyższe odchylenie, wynoszące 1,8°C, stwierdzono w Zielonej Górze. Z kolei w Legnicy, Gorzowie Wielkopolskim, Poznaniu i Olsztynie średnia temperatura omawianego okresu była wyższa od wartości wieloletniej o 1,7°C, a na terenie sześciu stacji (Kalisz, Gdańsk, Włodawa, Toruń, Chojnice, Suwałki) odnotowano anomalie z przedziału 1,5-1,6°C. Obszary górskie cechowały się natomiast najniższymi odchyleniami. Na Kasprowym Wierchu i na Śnieżce wyniosły one 0,8-0,9°C, a w Nowym Sączu 1,1°C. Wielkość równą 1,2°C stwierdzono natomiast w Łebie i Lesku. W kontekście średniej temperatury powietrza w omawianym okresie, najwyższe wartości zmierzono na zachodzie Polski. W Legnicy i Świnoujściu wyniosły one odpowiednio 5,3°C i 5,2°C, zaś w Gorzowie Wielkopolskim, Zielonej Górze i Poznaniu różnicowały się od 4,7°C do 5,0°C. Oprócz najwyższych pięter gór, gdzie średnia dla całego okresu wyniosła -2,6°C (Śnieżka) i -3,9°C (Kasprowy Wierch), najniższe wartości temperatury występowały na wschodzie, zwłaszcza

na Podlasiu i Suwalszczyźnie. W Białymstoku i Suwałkach wyniosły one 2,4°C i 1,9°C. Należy również wspomnieć, że stosunkowo niską temperaturę stwierdzono na innych stacjach reprezentujących regiony wschodnie – we Włodawie i Lesku (3,0-3,1°C) oraz Olsztynie i Sandomierzu (3,4°C).

Uwzględniając cały okres chłodny, wielkości opadów atmosferycznych kształtowały się wyraźnie poniżej normy. Średnia suma stanowiła niespełna 82% wartości normatywnej, co zgodnie z przyjętą klasyfikacją oznaczało warunki suche. Na terenie Polski, wielkości opadów w odniesieniu do normy cechowały się jednak pewnym zróżnicowaniem. W przypadku dwóch stacji reprezentujących wschód Polski, we Włodawie i Sandomierzu, wielkości opadów przekroczyły normę o 12% i 10%, co odpowiadało warunkom wilgotnym lub kształtowało się na granicy warunków normalnych i wilgotnych. Pozostałe stacje odznaczały się deficytem, przy czym w Lesku i Gorzowie Wielkopolskim wyniósł on 2-8%, co klasyfikowało omawiany okres jako normalny. Natomiast na Kasprowym Wierchu zmierzone sumy były zbliżone do wartości granicznej między warunkami suchymi i normalnymi. Najwięcej, bo aż dziewięć stacji, cechowało się sumami stanowiącymi 78-87% normy, co było równoznaczne z warunkami suchymi. Z kolei wielkości zmierzone na trzech stanowiskach pomiarowych (Śnieżka, Łeba, Chojnice) kształtowały się na granicy między warunkami bardzo suchymi i suchymi. Jeszcze większy deficyt, odpowiadający warunkom bardzo suchym, wystąpił w Legnicy, Olsztynie, Raciborzu i Kaliszu. W tym przypadku opady stanowiły 63-74% normy. Natomiast w Gdańsku niedobór przekraczał 50%, co było równoznaczne z warunkami skrajnie suchymi. Średnia obszarowa suma opadów w okresie chłodnym wyniosła 214 mm. W szczytowych partiach gór ilość opadów była najwyższa i wahała się od 425 mm na Śnieżce do 594 mm na Kasprowym Wierchu. W niższych piętrach najbardziej obfite opady wystąpiły w Lesku i Łebie, gdzie wyniosły 274 mm i 230 mm. Najniższą wartość zmierzono natomiast w Gdańsku (98 mm), a nieduże sumy również w Wielkopolsce i na Śląsku: w Kaliszu (114 mm), Legnicy (125 mm) i Raciborzu (135 mm).

Pod względem cyrkulacyjnym okres chłodny cechowała przewaga opadów atmosferycznych notowanych podczas cyrkulacji W, które stanowiły około 2/3 ogólnej ilości. Wysokie wartości dla omawianego sektora były obserwowane zwłaszcza w regionach zachodnich i północnych. W Kaliszu, Świnoujściu, Łebie, Toruniu i Białymstoku stosunek zmierzonych sum do wielkości całkowitej przekraczał 80%. Był on również znaczny w Poznaniu, Zielonej Górze, Gorzowie Wielkopolskim i Suwałkach, gdzie sektor W odpowiadał za ponad 3/4 sumy ogólnej. Drugim pod względem przychodu wody z opadów był kierunek N, z którym związanych było ponad 16% sum. W tym przypadku, głównie z uwagi na efekt orograficzny, największą ilość wody opadowej zmierzono na terenach górskich – na Kasprowym Wierchu (38%), a także na Śnieżce, w Lesku i Nowym Sączu (ponad 25%). Podobnym udziałem, wynoszącym niespełna 26%, odznaczał się również Gdańsk. Minimum stwierdzono natomiast w Świnoujściu, gdzie opady z sektora N stanowiły mniej niż 6% sumy ogólnej. Około 9% opadów była związana z cyrkulacją S. Najwyższe wartości zaobserwowano na Pomorzu Gdańskim (21% w Chojnicach i 15% w Gdańsku), w regionie karpackim (12-17% w Lesku, Nowym Sączu i na Kasprowym Wierchu)

oraz na wschodzie Polski (12-15% w Sandomierzu, Włodawie, Olsztynie i Suwałkach). Natomiast w Kaliszu udział opadów dla omawianego typu cyrkulacji nie osiągał 1%. Adwekcje mas powietrza z E odpowiadały za około 4% sum opadów w okresie chłodnym, a największe wartości były obserwowane na Górnym Śląsku – w Raciborzu (20%) i Katowicach (19%). Z kolei w Toruniu i Gorzowie Wielkopolskim opadów w ogóle nie odnotowano. Niewielkim udziałem odznaczała się również cyrkulacja miejscowa Z, z którą związanych było 3% ilości ogólnej. W tym przypadku zdecydowanie największą ilość odnotowano w Legnicy (15%), zaś w Gdańsku i Gorzowie Wielkopolskim opadów nie stwierdzono.

Warunki termiczno-wilgotnościowe w okresie chłodnym odznaczały się temperaturą powietrza przekraczającą wartość normatywną podczas wszystkich miesięcy, a także wyraźnym niedoborem opadów. Największe odchylenia temperatury od średniej wieloletniej wystąpiły w lutym, październiku i styczniu, gdy średnia miesięczna wartość przekraczała normę o 3,2°C, 2,6°C i 2,1°C. W pozostałych miesiącach anomalie były nieznaczne i różnicowały się od 0,2°C w marcu i grudniu do 0,4°C w listopadzie. W przypadku warunków opadowych, znaczną nadwyżkę, odpowiadającą warunkom wilgotnym, zanotowano w lutym. Ponadto, sumy przekraczające normę o 12% i 7% zaobserwowano w grudniu i styczniu, natomiast w pozostałych miesiącach wystąpił znaczny deficyt opadów. W październiku wyniósł on niemal 45%, co odpowiadało warunkom suchym, zaś w marcu i listopadzie sumy stanowiące 34% i 48% klasyfikowały okres chłodny jako bardzo suchy.

Charakterystyka warunków meteorologicznych w 2022 roku

W 2022 roku, podobnie jak w poprzednich latach, najwyższą częstością występowania charakteryzowały się adwekcje z sektora W, których średni udział wyniósł 45% (tabela 4). Napływy z tego kierunku były najczęściej obserwowane na północnym zachodzie, w Świnoujściu, gdzie stanowiły niemal 48% wszystkich przypadków. Wartości przekraczające 47% stwierdzono na Ziemi Lubuskiej (Gorzów Wielkopolski) oraz w Wielkopolsce (Kalisz, Poznań), zaś częstość powyżej 46% odnotowano na Górnym (Katowice) i Dolnym Śląsku (Legnica, Śnieżka). W regionach wschodnich frekwencja cyrkulacji W była najniższa i kształtowała się poniżej 42% w Suwałkach oraz 43% we Włodawie, Białymstoku, Lesku i Olsztynie. Region Ziemi Lubuskiej był najbardziej uprzywilejowany w kontekście adwekcji mas powietrza z kierunku S. Liczba przypadków tego typu cyrkulacji dochodziła tu do 22%, natomiast w Wielkopolsce częstość kształtowała się na poziomie ponad 21%. Z kolei najniższe wartości, wynoszące mniej niż 17%, zostały zaobserwowane na południowym wschodzie – w Nowym Sączu, Sandomierzu i na Kasprowym Wierchu. Stosunkowo niską częstość, nie osiągnącą 18%, odnotowano na Górnym Śląsku (Katowice, Racibórz). Średnia frekwencja cyrkulacji S dla wszystkich rozpatrywanych stacji wyniosła niespełna 20%. Nieco mniejszą liczbę adwekcji stwierdzono dla kierunku N. Stanowiły one ponad 16% przypadków i były najczęściej obserwowane na Podlasiu i Lubelszczyźnie (w Białymstoku i Włodawie), gdzie ich częstość osiągała co najmniej 19%. Wysokie wartości, z przedziału 18-19%, odnotowano również na innych

stacjach reprezentujących wschód Polski, w Lesku i Suwałkach. Natomiast regionem odznaczającym się najniższą frekwencją omawianego typu cyrkulacji było Pomorze Zachodnie, gdzie adwekcje z N występowały z niespełną 14% częstością. Z kolei na Kujawach i w Wielkopolsce ich liczba kształtowała się poniżej 15%. W przypadku cyrkulacji E, średni jej udział wyniósł niecałe 11%. Była ona najczęściej obserwowana na północnym wschodzie, w Suwałkach i Białymstoku, gdzie częstość wyniosła co najmniej 12%. Natomiast na zachodzie – w Wielkopolsce i Ziemi Lubuskiej – nie osiągała ona 9%. Najniższą frekwencją spośród wszystkich rozpatrywanych typów odznaczała się cyrkulacja miejscowa Z, z którą związanych było 8% przypadków. Najwyższą, dochodzącą do 10%, stwierdzono w Tatrach (Kasprowy Wierch) i Beskidach (Nowy Sącz), a także na Górnym Śląsku (Katowice, Racibórz) w Sandomierzu, Sulejowie i Włodawie, gdzie przekraczała 9%. W Białymstoku i Świnoujściu częstość była natomiast najniższa i kształtowała się poniżej 7%.

Pod względem termicznym rok 2022 był cieplejszy od przeciętnego o 0,8°C i charakteryzował się dodatnimi odchyleniami na terenie wszystkich stacji. Szczególnie wysokie anomalie wystąpiły na zachodzie Polski – na Ziemi Lubuskiej, Dolnym Śląsku i w Wielkopolsce. W Zielonej Górze i Poznaniu wyniosły one 1,2°C, a w Gorzowie Wielkopolskim i Legnicy 1,1°C. W przypadku czternastu stacji średnie odchylenia od normy kształtowały się na poziomie 0,7-0,9°C, natomiast w najwyższych partiach gór oraz na północnym wschodzie anomalie były najniższe. W Białymstoku, Suwałkach i na Kasprowym Wierchu średnia roczna temperatura 2022 r. była wyższa w stosunku do okresu 1991-2020 o 0,6°C, a na Śnieżce o 0,4°C. Średnia obszarowa temperatura powietrza w 2022 r. wyniosła 8,8°C. Najwyższe wartości zaobserwowano na zachodzie – na Dolnym Śląsku, Ziemi Lubuskiej, Pomorzu Zachodnim i w Wielkopolsce, gdzie przekraczały one 10°C. Szczególnie wysoką temperaturę, kształtującą się w przedziale 10,5-10,7°C, odnotowano w Legnicy, Zielonej Górze, Poznaniu i Gorzowie Wielkopolskim. Natomiast najchłodniejsze były obszary obejmujące południową część Pomorza Gdańskiego, Warmię, Suwalszczyznę i Podlasie oraz Bieszczady. W Chojnicach, Lesku i Białymstoku średnia roczna temperatura wyniosła 8,9°C, a w Suwałkach i Białymstoku osiągnęła odpowiednio 7,8°C i 8,2°C. W przypadku obszarów górskich, Śnieżka charakteryzowała się średnią roczną wartością wynoszącą 1,8°C, a Kasprowy Wierch 0,8°C.

Średnia obszarowa suma opadów w 2021 r. wyniosła 592,8 mm. Stacje reprezentujące najwyższe strefy górskie, Śnieżka i Kasprowy Wierch, cechowały się najwyższymi sumami, wynoszącymi odpowiednio 989 mm i 1446 mm. W niższych piętrach najbardziej intensywne opady występowały w regionach wschodnich i południowych. W Lesku suma roczna wyniosła ponad 700 mm, w Katowicach 690 mm, a we Włodawie 649 mm. Wartości przekraczające średnią sumę obszarową zaobserwowano również w Suwałkach (633 mm), Nowym Sączu (617 mm) i Białymstoku (603 mm). Najniższe opady w 2022 r. wystąpiły natomiast na Pomorzu, w Wielkopolsce i na Ziemi Lubuskiej. W Gdańsku roczna suma była zdecydowanie najniższa i osiągnęła 376 mm. Niewielką wartość odnotowano również w Poznaniu, gdzie dochodziła ona do 415 mm. Natomiast w Świnoujściu, Kaliszu i Zielonej Górze suma roczna wyniosła odpowiednio 434 mm,

437 mm oraz 442 mm. W przebiegu rocznym najwyższą średnią wartość zanotowano w lipcu, kiedy wyniosła ona 86 mm. Szczególnie intensywne opady zaobserwowano wówczas na Kasprowym Wierchu (ponad 180 mm) oraz a na Górnym i Dolnym Śląsku (101-154 mm). Natomiast zdecydowanie najbardziej suchym miesiącem był marzec, kiedy średnia suma obszarowa wyniosła zaledwie 14 mm, a w Toruniu, Gdańsku i Olsztynie opady w ogóle nie występowały.

Średnia obszarowa suma opadów w 2022 r. kształtowała się wyraźnie poniżej średniej wieloletniej, stanowiąc 87% normy. Zgodnie z klasyfikacją warunków opadowych stosowaną w IMGW-PIB, omawiany rok został zaliczony do lat suchych. Sumy roczne przekraczające wartość normatywną zostały zmierzone na terenie tylko trzech stacji (Włodawa, Suwałki, Gorzów Wielkopolski), przy czym odchylenie odpowiadające warunkom wilgotnym (115% normy) stwierdzono jedynie we Włodawie. W przypadku siedmiu stacji (Suwałki, Gorzów Wielkopolski, Białystok, Toruń, Sandomierz, Katowice, Legnica) stosunek sumy rocznej do normy zawierał się w przedziale 94-104%, co odpowiadało warunkom z klasy normalnych. Z kolei na Śnieżce, w Raciborzu i Sulejowie stwierdzona wartość kształtowała się na granicy warunków suchych i normalnych. Pięć stacji, reprezentujących Wielkopolskę (Kalisz, Poznań) oraz region karpacki (Lesko, Nowy Sącz, Kasprowy Wierch) cechowało się warunkami suchymi, z deficytem osiagającym 12-23%. Natomiast w Olsztynie, Łebie i Zielonej Górze, Chojnicach i Świnoujściu wielkość opadów odpowiadała wartości granicznej między warunkami bardzo suchymi i suchymi. Największy niedobór, odpowiadający warunkom bardzo suchym, stwierdzono w Gdańsku, gdzie stosunek sumy rocznej do normy wyniósł 72%. W przebiegu rocznym najwilgotniejszym miesiącem był luty, kiedy średnia obszarowa suma przekraczała wartość wieloletnią o ponad 50% (warunki bardzo wilgotne), a na niektórych stacjach reprezentujących Pomorze i Ziemię Lubuską była ponad dwukrotnie wyższa od normy (warunki skrajnie wilgotne). Z kolei w marcu opady stanowiły tylko 34% normy, a na większości uwzględnionych stacji odnotowano warunki skrajnie suche.

W przypadku przychodu wody z opadów, ponad połowa sum była związana z cyrkulacją z W (tabela 35). Wyraźna przewaga tego sektora została odnotowana zarówno dla opadów frontalnych, jak i wewnątrzmasowych (tabele 13, 14a, 14b), przy czym większy udział stwierdzono dla opadów frontalnych. Całkowita wielkość opadów zmierzonych przy adwekcji z W wyniosła 301 mm, co stanowiło 51% sumy rocznej (tabela 36). W porównaniu do roku 2021 były to wartości wyższe o odpowiednio 45 mm i 14%. Najbardziej intensywne opady w czasie napływu mas powietrza z W występowały na Pomorzu, gdzie ich udział w sumie całkowitej osiągnął 72% w Świnoujściu i 69% w Łebie. Z kolei na południu opady były najniższe. W Legnicy, na Kasprowym Wierchu i w Raciborzu ich stosunek do wartości całkowitej wyniósł 33%, 37% i 39%.

Sumy opadów towarzyszących cyrkulacji S wyniosły średnio 91 mm i stanowiły 15% wielkości rocznej. Jednocześnie, wartości te były o 68 mm i 8% niższe w stosunku do roku poprzedniego. Największy udział opadów dla omawianego sektora zanotowano na obszarze obejmującym część Pomorza Gdańskiego, Warmię i Kujawę (Gdańsk, Olsztyn, Toruń) oraz w Beskidach (Nowy Sącz), gdzie kształtował się on w przedziale 20-22%.

Z kolei, najmniejsze sumy zostały zmierzone na Podlasiu, w Białymstoku, gdzie ich wielkość względem sumy całkowitej nie osiągała 10%.

W przypadku adwekcji z N, średnia ilość opadów wyniosła 82 mm, co jednocześnie stanowiło niemal 14% sumy ogólnej. Podobnie jak dla cyrkulacji S, odnotowano wyraźny spadek względem roku 2021, który wyniósł odpowiednio 39 mm oraz 4%. Z uwagi na wpływ efektu orograficznego, najwyższym udziałem charakteryzował się Kasprowy Wierch, gdzie dochodził on do 31%. Niewiele niższą wartość, wynoszącą 30%, odnotowano w Białymstoku, a w Gdańsku i Lesku opady kształtowały się w zakresie 22-26%. Najmniejszą sumę, stanowiącą 5% wielkości rocznej, zmierzono w Świnoujściu i Toruniu, niewielkie opady występowały również w Legnicy, Poznaniu i Sandomierzu (6-7%).

Średni udział opadów obserwowanych podczas cyrkulacji z kierunku E wyniósł niespełna 11%, co było równoznaczne z sumą dochodzącą do 64 mm. Były to wartości niższe w porównaniu do roku ubiegłego o 1% i 20 mm. Sumy opadów na terenie Polski dla omawianego sektora cechowały się znacznym zróżnicowaniem przestrzennym. Na Śląsku, w Legnicy i Raciborzu wielkości opadów przekraczały 25% sumy rocznej, a w Sulejowie, Gorzowie Wielkopolskim i Sandomierzu zawierały się w przedziale 21-24%. Natomiast w reprezentujących Pomorze Gdańskie Łebie i Gdańsku udział zmierzonych wartości nie przekraczał 1 %.

Opady notowane podczas występowania cyrkulacji miejscowej Z wyniosły średnio 54 mm, co stanowiło 9% sumy rocznej. Porównując te wartości do roku 2021, były one niższe o 12 mm i 1%. Na zachodzie Polski, w Poznaniu i Legnicy, stosunek zmierzonych opadów do wielkości całkowitej był najwyższy i osiągał 16-18%. Był on również znaczny na Śnieżce i w Raciborzu, gdzie osiągał 15%. Z kolei w Białymstoku i Gorzowie Wielkopolskim odnotowano śladowe ilości opadów, których udział w sumie rocznej nie osiągał 1%.

Największy deficyt opadów w 2022 r. stwierdzono w marcu i listopadzie, kiedy miesięczne wartości kształtowały się na poziomie 34% i 48%. Zgodnie z klasyfikacją opadową stosowaną w IMGW – PIB, były to sumy odpowiadające warunkom bardzo suchym. W marcu większość stacji, zwłaszcza tych zlokalizowanych na obszarze obejmującym Suwalszczyznę, Podlasie, Pomorze, Kujawy, centrum Polski oraz zachodnie regiony, cechowała się warunkami skrajnie suchymi. W przypadku Gdańska, Olsztyna i Torunia opadów w ogóle nie odnotowano. Jedynie na południu kraju sumy zmierzone na kilku stacjach były zbliżone do normy. W listopadzie na większość obszaru Polski opady odpowiadały warunkom bardzo suchym lub na pograniczu bardzo suchych i suchych, a na Warmii nawet skrajnie suchym. Warunki zbliżone do normy zanotowano jedynie na dwóch stacjach położonych na południowym wschodzie (Włodawa, Sandomierz), natomiast w Legnicy stwierdzona nadwyżka opadów klasyfikowała listopad jako miesiąc wilgotny.

Najbardziej wilgotnymi miesiącami były luty i wrzesień, kiedy średnia wieloletnia suma opadów została przekroczona o ponad 52% i 28%, co było równoznaczne z warunkami bardzo wilgotnymi i wilgotnymi. W lutym na terenie połowy rozpatrywanych stacji, zwłaszcza na północy i zachodzie Polski, sumy miesięczne opadów odpowiadały warunkom

bardzo wilgotnym lub skrajnie wilgotnym. Na Pomorzu (Świnoujście, Łeba, Chojnice) oraz na Ziemi Lubuskiej (Gorzów Wielkopolski, Zielona Góra) opady co najmniej dwukrotnie przekroczyły wartość normatywną. We wrześniu podobne odchylenia wystąpiły we Włodawie i Lesku, natomiast w Gorzowie Wielkopolskim norma została przekroczona ponad trzykrotnie. Nieco niższe anomalie, odpowiadające warunkom z klasy bardzo wilgotnych, zanotowano w Białymstoku i Nowym Sączu, gdzie opady były wyższe od wartości normatywnej o 58-69%.

Przedstawiona charakterystyka warunków pogodowych na terenie Polski w 2022 r. wskazuje na znaczne zróżnicowanie przestrzenne warunków cyrkulacyjnych oraz termiczno-wilgotnościowych. Warunki termiczne charakteryzowały się przewagą miesięcy o dodatnich anomaliach termicznych, jednak w przypadku kwietnia i września średnie wartości temperatury były wyraźnie niższe od normy. Opady atmosferyczne cechowały się zróżnicowaniem, a ich średnie sumy w poszczególnych miesiącach wahały się od wartości odpowiadających warunkom bardzo suchym do warunków bardzo wilgotnych. W ciepłym i chłodnym półroczu sumy opadów kształtowały się na granicy warunków suchych i normalnych oraz odpowiadały warunkom suchym. Omówione wyżej warunki cechowały się znaczącym wpływem na strukturę wielkości stężeń substancji i ich ładunków wnoszonych z opadami atmosferycznymi na teren Polski. Wpływ zmienności warunków meteorologicznych na zróżnicowanie wielkości stężeń i ich ładunków wnoszonych wraz z opadami atmosferycznymi na obszar Polski zostaną omówione w rozdziałach 5 i 6.

5. Zanieczyszczenie opadów atmosferycznych w Polsce i depozycja zanieczyszczeń z opadów do podłoża w 2022 roku

Opracowane wyniki rocznego cyklu badań prezentują następujące załączniki w postaci tabel i rysunków:

- * Wielkości parametrów fizyko-chemicznych średniomiesięcznych próbek opadów atmosferycznych w 2022 r. z 22 stacji monitoringowych przedstawiono w tabelach 38÷49.
- * Charakterystyczne wartości badanych parametrów (średnie ważone, minimalne i maksymalne), jakie stwierdzono w miesięcznych opadach na poszczególnych 22 stacjach monitoringowych w 2022 roku, podano w tabeli 50, a w tabeli 51 zestawiono średnie wartości badanych parametrów w opadach w okresie chłodnym (I-III, X-XII) i ciepłym (IV-IX) 2022 roku.
- * Wartości pH dobowych próbek opadów w 2022 roku, mierzonych po upływie każdej doby opadowej bezpośrednio na 22 stacjach, zestawiono w tabelach 52÷59 i zobrazowano na rysunkach 17÷25. Przedstawiono częstość występowania wartości pH w przyjętej sześcioklasowej skali zakwaszenia opadów oraz średnie ważone obliczone ze stężeń jonów wodorowych, gdzie waga to dobową sumą opadów, których wartości pH usystematyzowano w zależności od kierunków napływu mas powietrza w czasie opadów.
- * Wielkości ładunków substancji wnoszonych z opadami atmosferycznymi w poszczególnych miesiącach 2022 roku na tereny 22 stacji monitoringowych podano w tabelach 60÷71.
- * Zróżnicowanie w obciążeniu miesięcznym, wnoszonymi ładunkami poszczególnych substancji na tereny reprezentowane przez 22 stacje monitoringowe, pokazano również graficznie na rysunkach 26÷42.
- * Charakterystyczne (minimalne, maksymalne i średnie) wielkości wnoszonych ładunków substancji, jakie określono w opadach na poszczególnych 22 stacjach monitoringowych w 2022 r., zestawiono w układzie rocznym w tabeli 72 oraz w okresach chłodnym i ciepłym roku w tabeli 73.
- * Roczne ładunki jednostkowe poszczególnych substancji, wniesionych z opadami atmosferycznymi na tereny reprezentowane przez 22 stacje monitoringowe, przedstawiono w tabeli 74 i na rysunku 43.
- * Porównanie ilości deponowanych wraz z opadami substancji na tereny 22 stacji monitoringowych w latach 1999-2022, zaprezentowano w diagramach na rysunkach 44÷60, obrazujących wielkości ładunków jednostkowych badanych substancji wniesionych przez opady atmosferyczne w poszczególnych latach oraz rocznych sum opadów.
- * Porównanie ilości deponowanych wraz z opadami substancji kwasotwórczych na tereny 22 stacji monitoringowych, w latach 1999-2022, zaprezentowano na rysunku 61. W diagramach zobrazowano wielkości ładunków jednostkowych badanych substancji, wniesionych przez opady atmosferyczne w poszczególnych latach oraz roczne sumy opadów.

- * Porównanie ilości deponowanych wraz z opadami substancji biogenych, na tereny 22 stacji monitoringowych w latach 1999-2022 zaprezentowano na rysunku 62. W diagramach zobrazowano wielkości ładunków jednostkowych badanych substancji, wniesionych przez opady atmosferyczne w poszczególnych latach oraz wysokości roczne sumy opadów.
- * Porównanie ilości deponowanych wraz z opadami metali alkalicznych i ziem alkalicznych, na tereny 22 stacji monitoringowych w latach 1999-2022, zaprezentowano na rysunku 63. Na diagramach, zobrazowano wielkości ładunków jednostkowych badanych substancji, wniesionych przez opady atmosferyczne w poszczególnych latach oraz wysokości rocznych sum opadów.
- * Porównanie ilości deponowanych wraz z opadami metali ciężkich na tereny 22 stacji monitoringowych w latach 1999-2022, zaprezentowano na rysunku 64. Na diagramach, zobrazowano wielkości ładunków jednostkowych badanych substancji, wniesionych przez opady atmosferyczne w poszczególnych latach oraz wysokości roczne sumy opadów.
- * Wielkości ładunków poszczególnych substancji, wprowadzone wraz z opadami atmosferycznymi na cały obszar Polski w 2022 r., obliczone przy użyciu modelu rozkładu przestrzennego, zamieszczono w tabeli 75. Zestawiono tabelarycznie wielkości średnich ładunków jednostkowych (w kg/ha) oraz ładunki całkowite (w tonach) wprowadzone w poszczególnych miesiącach 2022 r. i sumę wniesionych ładunków w okresie całego roku.
- * Średnie ładunki jednostkowe i ładunki całkowite substancji, zdeponowane w 2022 roku na tereny: poszczególnych województw – przedstawiono w tabeli 76, wybranych zlewni rzek – w tabeli 77, a ich lokalizację, zgodną z podziałem hydrograficznym, pokazano na rysunku 87.
- * Na podstawie składu fizyko-chemicznego miesięcznych prób opadów z 22 stacji monitoringowych oraz sum miesięcznych opadów na 162 posterunkach opadowych zestawionych w tabeli 37, charakteryzujących pole średnich sum opadów dla obszaru Polski, wykonano mapy rozkładu przestrzennego wysokości opadów i stężeń substancji zawartych w opadach w poszczególnych miesiącach 2022 r., a na podstawie tych danych mapy rozkładu przestrzennego wprowadzanych z opadami miesięcznych ładunków badanych substancji, które przedstawiono na rysunkach 65÷82.
- * Rozkład przestrzenny wysokości opadów atmosferycznych oraz średnich rocznych ważonych wartości pH miesięcznych próbek opadów na obszarze Polski w 2022 r. pokazano na rysunku 83, a średnich rocznych ważonych stężeń poszczególnych substancji w opadach atmosferycznych i rocznych ładunków deponowanych wraz z opadami zobrazowano na rysunku 84. Na rysunku 85 pokazano średnie obciążenia powierzchniowe deponowanymi substancjami w 2022 r. terenów poszczególnych województw, a na rysunkach 86, 87 – średnie obciążenia wybranych zlewni rzek w Polsce.
- * W celu porównania wielkości mokrej depozycji badanych substancji na obszarze Polski, w latach 1999-2022, w tabeli 78 podano wielkości ładunków jednostkowych

tych substancji, wniesionych przez opady atmosferyczne w poszczególnych latach, a na rysunku 88 przedstawiono diagramy dla tych ładunków na tle średniorocznych sum opadów.

5.1. Stężenia substancji w opadach atmosferycznych

W roku 2022 badane parametry fizyko-chemiczne w miesięcznych próbkach opadów z 22 stacji monitoringowych (tabele 38÷51) były zgodne z tabelą 5.1.

Tabela 5.1. Zakresy parametrów fizyko-chemicznych miesięcznych próbek opadów na 22 stacjach monitoringowych

Substancja	JEDNOSTKA	Zakresy stężeń substancji w 2022 roku			Wartość średnia ważona
		MIN	-	MAX	
Chlorki	mg/l Cl	0,16	-	7,17	0,95
Siarczany	mg/l SO ₄	0,40	-	7,95	1,51
Azot (azotynowy + azotanowy)	mg/l N	0,04	-	1,46	0,34
Azot amonowy	mg/l N	0,12	-	2,51	0,58
Sód	mg/l Na	0,05	-	3,66	0,49
Potas	mg/l K	0,03	-	3,28	0,30
Wapń	mg/l Ca	0,07	-	6,95	0,68
Magnez	mg/l Mg	0,01	-	0,70	0,11
Cynk	mg/l Zn	0,0003	-	0,4060	0,0343
Miedź	mg/l Cu	0,0004	-	0,0438	0,0051
Ołów	mg/l Pb	0,00000	-	0,0324	0,00035
Kadm	mg/l Cd	0,00000	-	0,00210	0,00009
Nikiel	mg/l Ni	0,00000	-	0,0026	0,00038
Chrom og.	mg/l Cr	0,00000	-	0,00288	0,00010
Azot ogólny	mg/l N	0,26	-	5,36	1,27
Fosfor ogólny	mg/l P	0,001	-	0,832	0,046
Jon wodorowy	mg/l H ⁺	0,0000	-	0,01995	0,00155
pH	-	4,70	-	7,12	5,81
Przewodność	mS/cm	4,5	-	66,0	15,1
Średnia roczna wysokości opadu (22 stacje)		593 mm			

Skład chemiczny opadów atmosferycznych charakteryzował się zróżnicowaniem zarówno przestrzennym jak i czasowym (rysunki 65÷84, tabela 50).

Najwyższe średnie ważone stężenia analizowanych substancji w 2022 roku, w odniesieniu do stacji nizinnych, stwierdzono w próbkach opadów zebranych na stacjach:

- w Poznaniu – chlorków, fosforu ogólnego, potasu oraz miedzi;
- w Kaliszu – siarczanów, azotu amonowego, cynku oraz azotu ogólnego;

- w Legnicy – azotu azotynowego i azotanowego, ołowiu, chromu oraz wolnych jonów wodorowych;
- w Świnoujściu – wapnia i magnezu;
- w Łebie – sodu;
- w Gdańsku – niklu;
- w Lesku – kadmu.

Najniższe średnie ważone stężenia analizowanych substancji w 2022 roku, w odniesieniu do pozostałych stacji nizinnych, stwierdzono w próbkach opadów zebranych na stacjach:

- we Włodawie – siarczanów, azotu azotynowego i azotanowego, azotu ogólnego, fosforu ogólnego, wapnia i magnezu;
- w Sandomierzu – chlorków, sodu, potasu i azotu amonowego;
- w Suwałkach – ołowiu, kadmu i niklu;
- w Raciborzu – miedzi, chromu i wolnych jonów wodorowych;
- w Olsztynie – cynku (tabela 50).

Maksymalną wielkość przewodności elektrycznej właściwej 66,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, zanotowano w opadzie średniomiesięcznym w Poznaniu w marcu, a najbardziej kwaśny odczyn opadów – 4,70 pH zanotowano w listopadzie, w opadach w Legnicy (tabela 40, 48).

Minimalną wartość przewodności elektrycznej właściwej 4,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, stwierdzono w opadzie średniomiesięcznym na Śnieżce w październiku, a najwyższy, zasadowy odczyn – 7,12 pH – w opadzie średniomiesięcznym w Poznaniu w marcu (tabela 47, 40).

W rejonie wysokogórskim, tj. na Śnieżce i Kasprowym Wierchu, wykonywano pomiary i obserwacje w specyficznych warunkach, na wysokościach powstawania opadu atmosferycznego mokrego. W porównaniu ze stacjami nizinnymi, stwierdzono najwyższe stężenia fosforu ogólnego na Śnieżce, a na Kasprowym Wierchu najniższe stężenia azotu amonowego (tabela 50).

Sezonowo (tabela 51), w odniesieniu do średniej dla Polski w 2022 roku, w okresie ciepłym roku, na większości stacji monitoringowych opady charakteryzowały się wyższą koncentracją związków biogenych tj.: azotu i fosforu ogólnego, azotu amonowego i azotu azotynowego oraz siarczanów i wapnia, natomiast w okresie chłodnym na większości stacji opady miały wyższe stężenia pozostałych związków kwasotwórczych, tj.: chlorków oraz metali: sodu, potasu, magnezu, cynku, miedzi, ołowiu, kadmu, niklu, chromu oraz wolnych jonów wodorowych.

5.2. Stopień zakwaszenia opadów atmosferycznych

Wyniki pomiarów pH w średniomiesięcznych próbkach opadów

W roku 2022, zmierzono wartości pH w 261 średniomiesięcznych próbkach opadów atmosferycznych, pobranych na 22 stacji monitoringowych. Wartości pH mieściły się w zakresie od 4,70 (w listopadzie w Legnicy) do 7,12 (w marcu w Poznaniu) (tabela 48-40). Wartości pH średnio wynosiły 5,85. Średnio na stacjach monitoringowych, w 18% próbek wartości pH były niższe od naturalnego dla wód opadowych, tzn. $\text{pH} < 5,6$, wskazując na dużą zawartość w nich mocnych kwasów mineralnych. Opady o odczynie $\text{pH} < 5,6$

w największej liczbie pomiarów – 67% próbek, występowały w Legnicy. W Gorzowie Wielkopolskim opady o $\text{pH} < 5,6$ występowały w 58% próbek, a w Sandomierzu i na Śnieżce w ilości 42% pomiarów próbek. W Gdańsku opady o $\text{pH} < 5,6$ występowały w pomiarach 36% próbek. W Zielonej Górze, w Łebie i we Włodawie opady o $\text{pH} < 5,6$ występowały w pomiarach 25% próbek, natomiast w Świnoujściu, Kaliszu i w Katowicach opady o $\text{pH} < 5,6$ występowały w mniejszej liczbie próbek, wynoszącej 17% pomiarów. W Olsztynie i Toruniu opady o $\text{pH} < 5,6$ występowały w pomiarach 9% próbek, a w Chojnicach i Raciborzu opady o $\text{pH} < 5,6$ występowały w pomiarach 8% próbek.

Tabela 5.2. Zestawienie procentowe liczby próbek średniomiesięcznych o $\text{pH} < 5,6$ zebranych na stacjach monitoringowych w 2022 roku

stacje monitoringowe	próbek o $\text{pH} < 5,6$ (%)	stacje monitoringowe	próbek o $\text{pH} < 5,6$ (%)
Świnoujście	17%	Poznań	0%
Łeba	25%	Kalisz	17%
Gdańsk	36%	Włodawa	25%
Chojnice	8%	Legnica	67%
Olsztyn	9%	Śnieżka	42%
Toruń	9%	Racibórz	8%
Sulejów	0%	Katowice	17%
Suwałki	0%	Nowy Sącz	0%
Białystok	0%	Kasprowy Wierch	0%
Gorzów Wlkp.	58%	Sandomierz	42%
Zielona Góra	25%	Lesko	0%

Na pozostałych stacjach: w Sulejowie, Suwałkach, Białymstoku, Poznaniu, Nowym Sączu, Lesku i na Kasprowym Wierchu nie stwierdzono opadów o odczynie $\text{pH} < 5,6$ zgodnie z tabelą 5.2.

Opierając się na kryteriach stosowanych przez europejską klasyfikację wód opadowych i przyjmując skalę z podziałem na sześć klas wartości pH (tabela 3.1.) w ocenie stopnia zakwaszenia opadów w tabeli 5.3., zamieszczono procentowe i ilościowe zestawienie uzyskanych pomiarów w poszczególnych klasach wartości pH . W pomiarach odczynu próbek miesięcznych opadów na stacjach monitoringowych w 2022 r. stwierdzono:

- klasę I – odczyn podwyższony: 27 próbek (10,4%),
- klasę II – odczyn lekko podwyższony: 93 próbek (35,6%),
- klasę III – odczyn normalny: 136 próbek (52,1%),
- klasę IV – odczyn lekko obniżony: 5 próbek (7,2%),
- klasę V – odczyn znacznie obniżony: 0 próbek (0,0%),
- klasę VI – odczyn silnie obniżony: 0 próbek (0,0%).

Tabela 5.3. Procentowe (%) i ilościowe (ilość próbek) zestawienie uzyskanych na stacjach monitoringowych wyników miesięcznych pomiarów odczynu w poszczególnych klasach wartości pH

Klasa	I odczyn podwyższony	II odczyn lekko podwyższony	III odczyn normalny	IV odczyn lekko obniżony	V odczyn lekko obniżony	VI odczyn silnie obniżony
Nazwa stacji	pH > 6,5	6,1 ≤ pH ≤ 6,5	5,1 ≤ pH < 6,1	4,6 ≤ pH < 5,1	4,1 ≤ pH < 4,6	pH < 4,1
Świnoujście	0,0% (0)	33,3% (4)	66,7% (8)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)
Łeba	0,0% (0)	25,0% (3)	75,0% (9)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)
Gdańsk	9,1% (1)	9,1% (1)	72,7% (8)	9,1% (1)	0,0% (0)	0,0% (0)
Suwałki	25,0% (3)	41,7% (5)	33,3% (4)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)
Chojnice	0,0% (0)	16,7% (2)	83,3% (10)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)
Olsztyn	9,1% (1)	45,5% (5)	45,5% (5)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)
Gorzów Wlkp.	0,0% (0)	16,7% (2)	75,0% (9)	8,3% (1)	0,0% (0)	0,0% (0)
Toruń	36,4% (4)	36,4% (4)	27,3% (3)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)
Białystok	25,0% (3)	58,3% (7)	16,7% (2)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)
Zielona Góra	16,7% (2)	25,0% (3)	58,3% (7)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)
Poznań	8,3% (1)	50,0% (6)	41,7% (5)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)
Kalisz	0,0% (0)	0,0% (0)	100,0% (12)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)
Sulejów	25,0% (3)	50,0% (6)	25,0% (3)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)
Włodawa	8,3% (1)	33,3% (4)	58,3% (7)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)
Legnica	8,3% (1)	0,0% (0)	66,7% (8)	25,0% (3)	0,0% (0)	0,0% (0)
Śnieżka	25,0% (3)	8,3% (1)	66,7% (8)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)
Racibórz	16,7% (2)	58,3% (7)	25,0% (3)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)
Katowice	0,0% (0)	66,7% (8)	33,3% (4)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)
Nowy Sącz	8,3% (1)	66,7% (8)	25,0% (3)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)
Sandomierz	0,0% (0)	16,7% (2)	83,3% (10)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)
Kasprowy Wierch	8,3% (1)	58,3% (7)	33,3% (4)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)
Lesko	0,0% (0)	66,7% (8)	33,3% (4)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)

Wartości pH w próbkach średniomiesięcznych informują tylko o równowadze kwasowo-zasadowej i stężeniu jonów wodorowych, jakie wystąpiło w danym miesiącu średnio ze wszystkich opadów i nie charakteryzują występującego w tym okresie zróżnicowania. Zjawisko tzw. „kwaśnych deszczy”, agresywnie oddziaływujących na środowisko, lepiej charakteryzuje analiza pojedynczych opadów lub uśrednionej próbki z doby opadowej.

Wyniki pomiarów pH w dobowych próbkach opadów

W 2022 roku wykonano pomiary wartości pH w **2206 dobowych próbkach opadów** (próbek o objętości umożliwiającej wykonanie pomiaru odczynu, o wysokości ok. 1 mm opadu dobowego). Wyniki pomiarów pH kształtowały się w granicach **od 3,37** (opad 2,4 mm, 22 lutego z sektora W napływu mas powietrza na Kasprowy Wierch) **do 7,63** (opad 4,3 mm, 19 listopada, z sektora Z napływu mas powietrza w Poznaniu). Opady o wartości pH poniżej naturalnej (pH < 5,6), stwierdzono w 846 przypadkach, co stanowi ok. 38% zbioru. Największą procentowo liczbę próbek dobowych opadów o odczynie pH < 5,6 stwierdzono na stacji na Śnieżce – 100%, a następną z najwyższą liczbę próbek dobowych opadów o odczynie pH < 5,6 stwierdzono na stacji na Kasprowym Wierchu – 67%,

natomiast stwierdzono najmniejszą liczbę próbek opadów o wartości pH poniżej naturalnej – ok. 4% na stacji monitoringowej w Suwałkach zgodnie z tabelą 5.4. (tabela 52-59).

Stwierdzono występowanie opadów o wartościach $pH < 5,6$, przy cyrkulacji zachodniej – dla 477 próbek opadów, północnej – dla 353 próbek opadów, południowej – dla 126 próbek, wschodniej dla 56 próbek i miejscowej zmiennej – dla 51 próbek opadów dobowych (tabela 52).

Tabela 5.4. Zestawienie procentowe liczby próbek dobowych o $pH < 5,6$ zebranych na stacjach monitoringowych w 2022 roku

stacje monitoringowe	liczba próbek o $pH < 5,6$ (%)	stacje monitoringowe	liczba próbek o $pH < 5,6$ (%)
Świnoujście	13,0%	Poznań	10,0%
Łeba	63,4%	Kalisz	27,3%
Gdańsk	11,1%	Włodawa	30,9%
Chojnice	45,7%	Legnica	44,0%
Olsztyn	25,9%	Śnieżka	100,0%
Toruń	11,2%	Racibórz	36,4%
Sulejów	42,9%	Katowice	39,4%
Suwałki	4,0%	Nowy Sącz	38,4%
Białystok	19,6%	Kasprowy Wierch	64,5%
Gorzów Wlkp.	15,7%	Sandomierz	60,0%
Zielona Góra	35,4%	Lesko	33,9%

Obniżony odczyn opadów atmosferycznych (łącznie klasy IV-VI, $pH < 5,1$) stwierdzono w 360 dobowych próbkach opadów (16,3%) (tabela 52). Lekko obniżony odczyn (klasa IV) wystąpił w 230 dobowych próbkach opadów (10,4%), znacznie obniżony (klasa V) w 128 próbkach (5,8%) i silnie obniżony (klasa VI) w 2 próbkach opadów (0,1%) (wg klasyfikacji – tabela 3.1.).

Opady o zwiększonym stopniu zakwaszenia (klasy IV-VI), o wartościach $pH < 5,1$, występowały najczęściej przy napływie mas powietrza z sektora zachodniego (tabela 52, rysunek 17). Dla tej cyrkulacji odnotowano łącznie 190 próbek opadów o lekko, znacznie i silnie obniżonym odczynie. W dalszej kolejności stwierdzono występowanie opadów o wartościach $pH < 5,1$, przy cyrkulacji północnej (65 próbek), południowej (52 próbki), wschodniej (29 próbek) i miejscowej zmiennej (24 próbki opadów dobowych).

Znacznie obniżony (klasa V) i silnie obniżony odczyn (grupa VI), czyli o wartościach $pH < 4,6$, stwierdzono w 130 dobowych próbkach opadów (5,9% wszystkich próbek). Najwięcej opadów o odczynie znacznie i silnie obniżonym, wystąpiło przy napływie mas powietrza z sektora zachodniego (63 próbki dobowych opadów), następnie północnego (35 próbek), południowego (17 próbek), wschodniej (8 próbek) i miejscowej zmiennej (7 próbek dobowych opadów).

Ogółem największa liczba dób opadowych z pomiarem odczynu w 2022 roku, była przy napływie mas powietrza z sektora zachodniego (1278 próbek zebranych przy wysokości opadu dobowego od ok. 1 mm), a w dalszej kolejności z sektora północnego (353), południowego (295 próbek) i z cyrkulacji wschodniej (151 próbek). Najmniej zebrano

próbek pochodzących z cyrkulacji miejscowej zmiennej (129). Częstość opadów o obniżonym odczynie w stosunku do liczby opadów dobowych z danego sektora, wykazano przy cyrkulacji wschodniej (19,2%), miejscowej zmiennej (18,6%), północnej (18,4%), południowej (po 17,6%), a w dalszej kolejności zachodniej (14,9%) (tabela 52, 58).

Łącznie, wartości pH dobowych próbek opadowych dla wszystkich kierunków napływu mas powietrza, wystąpiły w 41,1% próbek w przedziale naturalnym wartości pH ($5,1 \leq \text{pH} < 6,1$) wg klasyfikacji dla wód opadowych, w 16,3% próbek w przedziale obniżonych wartości pH $< 5,1$, a w pozostałych 42,6% przypadków pH znalazły się w przedziałach: wartości lekko podwyższonego pH – 25,7% i podwyższonego pH – 16,9% (tabela 52, 58, 59, rysunek 18).

Średnie ważone wartości pH

W Suwałkach, Świnoujściu, Zielonej Górze i Poznaniu średnia ważona pH przekroczyła wartość 6,5 dla kierunku napływu mas powietrza wschodniego (E) i znalazła się w przedziale pH podwyższonym.

W Suwałkach, średnia ważona pH przekroczyła wartość 6,1 dla kierunków napływu mas powietrza północnego (N), zachodniego (W) i cyrkulacji zmiennej miejscowej (Z) i znalazła się w przedziale pH lekko podwyższonym.

W Poznaniu, średnia ważona pH przekroczyła wartość 6,1 dla kierunków napływu mas powietrza północnego (N), południowego (S) i cyrkulacji zmiennej miejscowej (Z) i znalazła się w przedziale pH lekko podwyższonym.

W Toruniu i Białymstoku, średnia ważona pH przekroczyła wartość 6,1 dla kierunku napływu mas powietrza wschodniego (E) i znalazła się w przedziale pH lekko podwyższonym.

W Świnoujściu, średnia ważona pH przekroczyła wartość 6,1 dla kierunku napływu mas powietrza północnego (N), a w Gdańsku średnia ważona pH przekroczyła wartość 6,1 dla cyrkulacji zmiennej miejscowej (Z) i znalazła się w przedziale pH lekko podwyższonym.

Wartości średnich ważonych pH w przedziale naturalnym ($5,1 \leq \text{pH} < 6,1$), stwierdzono dla wszystkich kierunków napływu mas powietrza na sześciu stacjach: Chojnicach, Olsztynie, Gorzowie Wielkopolskim, Kaliszu Włodawie, Legnicy, Raciborzu, Katowicach, Nowym Sączu i Lesku.

Na Śnieżce, średnia ważona pH dla wszystkich kierunków napływu mas powietrza znalazła się w przedziale znacznie obniżonego pH ($4,1 \leq \text{pH} < 4,6$).

Wartości średnich ważonych pH w przedziale lekko obniżonego pH ($4,6 \leq \text{pH} < 5,1$) stwierdzono: w Łebie i na Kasprowym Wierchu przy cyrkulacji północnej (N), w Zielonej Górze cyrkulacji zmiennej miejscowej (Z), w Sandomierzu przy cyrkulacji południowej (S), zachodniej (W) i miejscowej zmiennej (Z), a dla pozostałych cyrkulacji wartość średnia ważona pH wystąpiła w przedziale naturalnym ($5,1 \leq \text{pH} < 6,1$) (wg klasyfikacji – tabela 3.1.).

W Gorzowie i Białymstoku nie stwierdzono obecności próbek opadów przy cyrkulacji miejscowej zmiennej (Z) (tabela 58, rysunek 18, 20÷24).

Przestrzenny rozkład średnich ważonych wartości pH na obszarze kraju, w opadach z czterech sektorów napływu mas atmosferycznych (na pięć sektorów badanych), charakteryzuje się występowaniem, w rejonie Suwałk i Poznania, obszaru wartości pH powyżej naturalnego, w przedziale lekko podwyższonego ($6,1 \leq \text{pH} \leq 6,5$) lub podwyższonego

($\text{pH} > 6,50$), natomiast średnie ważone dla wód opadowych mieściły się na granicy przedziału normalnego pH ($5,1 \leq \text{pH} < 6,1$), tj.: w rejonie Suwałk (średnie ważone $\text{pH} = 6,09$) i Poznania (średnia ważona $\text{pH} = 6,03$). Niższe wartości średnich ważonych w przedziale wartości lekko obniżonego pH ($4,6 \leq \text{pH} < 5,1$), występowały na trzech sektorach napływu mas atmosferycznych (na pięć sektorów badanych) w rejonie Sandomierza (średnia ważona $\text{pH} = 5,10$ mieściła się na granicy przedziału normalnego pH) (tabela 58, 59, rysunek 19÷25). Najniższe wartości średnich ważonych w przedziale wartości znacznie obniżonego pH ($4,1 \leq \text{pH} < 4,6$), występowały na wszystkich pięciu badanych sektorach napływu mas atmosferycznych w rejonie Śnieżki ($\text{pH} = 4,50$) na Dolnym Śląsku.

Średnie ważone roczne wartości pH , dobowych próbek opadowych ze wszystkich sektorów napływu mas atmosferycznych łącznie, na pozostałych osiemnastu stacjach, mieściły się w zakresie wartości naturalnego pH ($5,1 \leq \text{pH} < 6,1$) (tabela 59).

Analiza przestrzennego rozkładu przebiegu średnich ważonych wartości pH , w opadach między poszczególnymi sektorami napływu mas atmosferycznych na obszarze kraju, wykazuje znaczne zróżnicowanie. W porównaniu do średniego rocznego rozkładu wartości pH (rysunek 19÷24), sumarycznego ze wszystkich sektorów napływu mas atmosferycznych, najbardziej zbliżony przebieg rozkładu średnich wartości, wykazuje sektor zachodni (rysunek 23).

5.3. Depozycja substancji do podłoża

5.3.1. Depozycja na stacje monitoringowe

W 2022 roku wielkości ładunków substancji (będących funkcją stężeń i wysokości opadów mokrych, co opisano w rozdziale 3.2), wprowadzanych miesięcznie na 1 hektar powierzchni reprezentowanych przez poszczególne stacje monitoringowe (22 stacje monitoringowe) (tabela 60÷73, rysunek 26÷42), mieściły się w zakresach przedstawionych w tabeli 5.5. Zróżnicowanie, pomiędzy największymi i najmniejszymi miesięcznymi ładunkami, wynika z istotnego wpływu ilości opadów mokrych na wielkość depozycji w opadach (tabela 72÷73). Jednak zmienność stężeń substancji powoduje, że niektóre obszary są obciążone ładunkiem nieproporcjonalnie dużym w stosunku do wysokości opadów.

W ujęciu czasowym, rozkład maksymalnych wielkości miesięcznych ładunków badanych substancji wniesionych wraz z opadami przedstawiał się następująco:

- w styczniu stwierdzono największe ładunki chlorków, sodu, magnezu i ołowiu;
- w lutym stwierdzono największe ładunki potasu oraz wolnych jonów wodorowych;
- w maju stwierdzono największe ładunki azotu ogólnego;
- w lipcu stwierdzono największe ładunki azotu azotanowego i azotanowego, azotu amonowego i cynku;
- w sierpniu stwierdzono największe ładunki siarczanów, fosforu ogólnego i wapnia;
- we wrześniu stwierdzono największe ładunki niklu i chromu;
- w grudniu stwierdzono największe ładunki miedzi i kadmu (rysunek 26÷42).

Na obszarze Polski występuje duże zróżnicowanie wysokości opadów, pomiędzy stacjami wysokogórskimi położonymi na południu Polski (w 2022 r. ok. od 1,4 do 3,8 razy

wyższe roczne sumy wysokości opadów) i większością stacji położonych głównie na terenach nizinnych. Wysokość opadów w dużej mierze decyduje o wielkościach ładunków substancji wprowadzanych z opadem mokrym. Z tego względu, można porównać wielkości średnich rocznych ładunków w tych rejonach kraju przedstawiając je oddzielnie. W 2022 roku, w przypadku dwunastu wskaźników zanieczyszczeń, maksymalne średnioroczne wielkości ładunków na stacjach wysokogórskich były wyższe niż na pozostałych stacjach.

Tabela 5.5. Zakresy depozycji substancji wprowadzanych w opadach atmosferycznych mokrych w cyklach miesięcznych na powierzchnie reprezentujące 22 stacje monitoringowe

Substancja	JEDNOSTKA	Zakresy depozycji substancji w 2022 roku		
		MIN	-	MAX
Chlorki	kg/ha Cl	0,00	-	2,86
Siarczany	kg/ha SO ₄	0,00	-	5,36
Azot (azotynowy + azotanowy)	kg/ha N	0,00	-	0,97
Azot amonowy	kg/ha N	0,00	-	2,89
Sód	kg/ha Na	0,00	-	1,69
Potas	kg/ha K	0,00	-	1,88
Wapń	kg/ha Ca	0,00	-	2,22
Magnez	kg/ha Mg	0,00	-	0,35
Cynk	kg/ha Zn	0,0000	-	0,2862
Miedź	kg/ha Cu	0,0000	-	0,0339
Ołów	kg/ha Pb	0,00000	-	0,00570
Kadm	kg/ha Cd	0,00000	-	0,00068
Nikiel	kg/ha Ni	0,00000	-	0,00295
Chrom og.	kg/ha Cr	0,00000	-	0,00083
Azot ogólny	kg/ha N	0,00	-	4,39
Fosfor ogólny	kg/ha P	0,000	-	0,839
Jon wodorowy	kg/ha H ⁺	0,00000	-	0,00814
Średnia suma roczna wysokości opadu (22 stacje)		593 mm		

W 2022 roku, **na stacjach wysokogórskich**, maksymalne średnioroczne ładunki stwierdzono:

- na Śnieżce ładunki azotu azotynowego i azotanowego, azotu amonowego, chromu, azotu ogólnego i fosforu ogólnego;
- na Kasprowym Wierchu ładunki siarczanów, chlorków, sodu, potasu, wapnia, magnezu i niklu (tabela 72).

Poza rejonem wysokogórskim, na pozostałym obszarze kraju, średnie roczne ładunki substancji w ilościach maksymalnych stwierdzono na stacjach:

- w Katowicach – siarczanów, azotu azotynowego i azotanowego, azotu amonowego (podobnie jak w Raciborzu) i chromu;
- w Legnicy – ołowiu oraz wolnych jonów wodorowych;
- w Sulejowie – niklu;

- w Świnoujściu – miedzi;
- w Kaliszu – cynku i azotu ogólnego;
- w Lesku – kadmu;
- w Łebie – chlorków i sodu;
- w Toruniu – wapnia i magnezu;
- w Poznaniu – potasu i fosforu ogólnego (tabela 72, 74).

Maksymalne wielkości średnich z miesięcznych ładunków jednostkowych większości badanych substancji, zostały wniesione z opadami głównie w styczniu (dla 4 wskaźników), a w drugiej kolejności w lipcu (dla 3 wskaźników), w sierpniu (dla 3 wskaźników) oraz w lutym, we wrześniu i w grudniu (dla 2 wskaźników w każdym z wymienionych miesięcy) i w maju (dla 1 wskaźnika).

Minimalne wielkości średnich z miesięcznych ładunków jednostkowych większości badanych substancji, zostały wniesione z opadami głównie w marcu (dla 10 wskaźników), a w drugiej kolejności w październiku (dla 4 wskaźników) i w listopadzie (dla 3 wskaźników).

Rozkład minimalnych wielkości miesięcznych ładunków badanych substancji, wniesionych wraz z opadami na stacjach przedstawiał się następująco:

- w marcu – siarczanów, chlorków, sodu, wapnia, magnezu, cynku, miedzi, niklu, chromu ogólnego oraz wolnych jonów wodorowych;
- w październiku – azotu amonowego, fosforu ogólnego, ołowiu i kadmu;
- w listopadzie – stwierdzono najmniejsze ładunki azotu azotynowego i azotanowego, azotu ogólnego oraz potasu (rysunki 26÷42, tabela 60÷71).

W 2022 roku **na stacjach wysokogórskich**, nie stwierdzono minimalnych wielkości miesięcznych ładunków. **Poza obszarem wysokogórskim**, najmniejsze wielkości średnich rocznych ładunków wystąpiły:

- w Sandomierzu – chlorków, azotu azotynowego i azotanowego (podobnie jak we Włodawie), azotu ogólnego i fosforu ogólnego (podobnie jak w Raciborzu) oraz potasu;
- w Łebie – siarczanów i azotu amonowego;
- w Legnicy – wapnia;
- w Suwałkach – ołowiu, niklu i kadmu;
- w Raciborzu – sodu, magnezu, cynku, miedzi i chromu oraz wolnych jonów wodorowych (tabela 72).

Sezonowo, w **okresie ciepłym** roku, opady wprowadziły na większości stacji większe średnie ładunki siarczanów, azotu azotynowego i azotanowego, azotu amonowego, azotu ogólnego i fosforu ogólnego, potasu, wapnia, magnezu, cynku, miedzi, niklu i chromu oraz wolnych jonów wodorowych. W **okresie chłodnym** roku, opady wprowadziły większe średnie ładunki chlorków, sodu, kadmu i ołowiu (tabela 73).

Roczne obciążenie powierzchniowe, terenów reprezentowanych przez stacje monitoringowe, badanymi substancjami deponowanymi z opadem, kształtowało się **średnio** na poziomie **31,97 kg/ha·r** (tabela 74). Depozycję poniżej średniej odnotowano na piętnastu

stacjach: w Sandomierzu – 16,80 kg/har, we Włodawie – 21,66 kg/har, w Raciborzu – 21,72 kg/har, Legnicy – 23,41 kg/har, Gdańsku – 23,51 kg/har, Zielonej Górze – 23,91 kg/har, Białymstoku – 24,54 kg/har, Gorzowie Wielkopolskim – 24,56 kg/har, Chojnicach – 25,02 kg/har, Suwałkach – 26,13 kg/har, Olsztynie – 27,29 kg/har, Sulejowie – 28,79 kg/har, Łebie i Lesku – po 29,96 kg/har oraz Nowym Sączu – 31,87 kg/har. Na pozostałych dziesięciu stacjach obciążenie było większe od średniego. Nieznacznie większe od średniego obciążenia stwierdzono na stacji w Kaliszu – 32,08 kg/har, a znacznie powyżej średniego: w Toruniu – 35,73 kg/har i Katowicach – 37,85 kg/har oraz w Świnoujściu – 41,89 kg/har i w Poznaniu – 42,97 kg/har. Najwyższe obciążenia odnotowano na Śnieżce – 64,46 kg/har i na Kasprowym Wierchu – 69,16 kg/har (tabela 74).

Największymi, rocznymi ładunkami jednostkowymi poszczególnych substancji, obciążone zostały tereny reprezentowane przez stacje:

- na Kasprowym Wierchu – chlorków, siarczanów, sodu, potasu, wapnia, magnezu i niklu;
- na Śnieżce – azotu azotynowego i azotanowego, azotu amonowego, azotu ogólnego, fosforu ogólnego i chromu ogólnego;
- w Legnicy – ładunkami ołowiu i wolnych jonów wodorowych;
- w Lesku – kadmu;
- w Świnoujściu – miedzi;
- w Kaliszu – cynku.

Najmniejsze, roczne ładunki jednostkowe zanieczyszczeń, stwierdzono na terenach reprezentowanych przez stacje (tabela 74):

- w Raciborzu – sodu, magnezu, cynku, miedzi, chromu ogólnego, fosforu ogólnego i wolnych jonów wodorowych;
- w Sandomierzu – chlorków, potasu, azotu ogólnego i fosforu ogólnego (podobnie jak w Raciborzu);
- w Suwałkach – ołowiu, kadmu i niklu;
- w Łebie – siarczanów i azotu amonowego;
- w Gdańsku – azotu azotynowego i azotanowego;
- w Legnicy – wapnia;
- w Olsztynie – cynku (podobnie jak w Raciborzu).

5.3.2. Obszar Polski według modelu rozkładu przestrzennego

W 2022 roku, tak jak w poprzednim roku, uzyskano rozkład przestrzenny substancji wprowadzanych z opadem atmosferycznym na obszar kraju, z wykorzystaniem modelu rozkładu przestrzennego w programie ArcView. Rozkład ten charakteryzował się, dużym zróżnicowaniem zarówno dla badanych składników, dla poszczególnych miesięcy jak i różnych regionów kraju. Uzyskane dane zamieszczono w tabelach (tabele 75÷77) i zaprezentowane zostały na mapach. Rozkłady badanych substancji przygotowano dla obszaru Polski (rysunki 65÷82), a także opracowano mapy z podziałem na województwa i zlewnie rzek (rysunki 86÷87).

Miesięczna depozycja z opadem na powierzchnię kraju

Miesięcznie, wielkości depozycji w opadach badanych substancji, wprowadzonych w 2022 roku na obszar kraju, według modelu rozkładu przestrzennego (tabela 75, rysunki 66-82), zaprezentowano w tabeli 5.6.

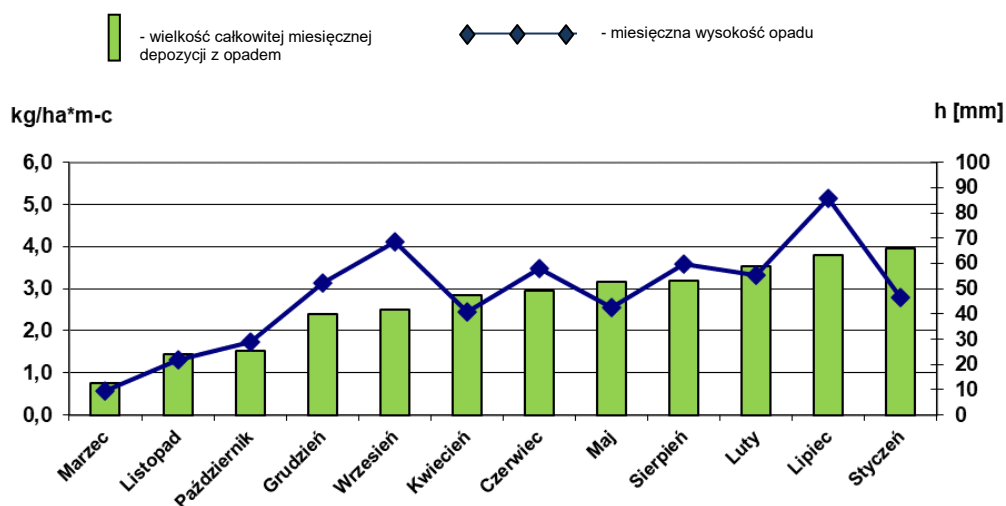
Tabela 5.6. Zakresy depozycji substancji wprowadzanych w opadach atmosferycznych mokrych w poszczególnych miesiącach na powierzchnie kraju, obliczone za pomocą modelu rozkładu przestrzennego

Substancja	Jednostka	Zakres
Aniony:		
Chlorki	kg/ha Cl	0,11 – 1,28
Siarczany	kg/ha SO ₄	0,23 – 1,16
Azot azotynowy + azotanowy	kg/ha N	0,06 – 0,27
Kationy:		
Azot amonowy	kg/ha N	0,10 – 0,48
Sód	kg/ha Na	0,06 – 0,68
Potas	kg/ha K	0,04 – 0,30
Wapń	kg/ha Ca	0,11 – 0,60
Magnez	kg/ha Mg	0,01 – 0,09
Metale ciężkie:		
Cynk	kg/ha Zn	0,0029 – 0,0290
Miedź	kg/ha Cu	0,0003 – 0,0045
Ołów	kg/ha Pb	0,00002 – 0,00062
Kadm	kg/ha Cd	0,00001 – 0,00016
Nikiel	kg/ha Ni	0,00001 – 0,00034
Chrom ogólny	kg/ha Cr	0,00001 – 0,00009
Związki biogenne:		
Azot ogólny	kg/ha N	0,18 – 1,05
Fosfor ogólny	kg/ha P	0,005 – 0,040
Jon wodorowy	kg/ha H ⁺	0,00008 – 0,00151

Wielkości sum miesięcznej depozycji badanych substancji, wniesionych w opadach w 2022 roku, kształtowały się w granicach od 0,75 kg/ha do 3,96 kg/ha (rysunek 5.1.).

Według modelu rozkładu przestrzennego w 2022 roku, **średnie dla Polski** obciążenie substancjami, **wynosiło 32,08 kg/ha*r**, natomiast **średnia wysokość opadu – 569,9 mm**.

Największa depozycja wystąpiła w styczniu, który nie był jednocześnie średnio obszarowo najbardziej wilgotnym miesiącem 2022 roku, lecz przeciętnie zasobnym w opady z miesięczną wysokością opadu, większą od wartości przeciętnej miesięcznej z wielolecia (1991-2020) zaledwie o 5% (tabela 18).



Rysunek 5.1. Wielkości całkowitej depozycji w opadach w poszczególnych miesiącach na powierzchnię kraju oraz sumy wysokości opadów w 2022 r.

Maksimum miesięcznego ładunku w **styczniu**, wystąpiło dla czterech spośród siedemnastu badanych substancji, a mianowicie dla: chlorków, sodu, magnezu i ołowiu. W **lipcu**, który charakteryzował się opadem niższym od wartości przeciętnej miesięcznej z wielolecia (1991-2020) o 11%, a jednak był najbardziej wilgotnym miesiącem w roku, pierwszym pod względem wielkości opadów, wystąpiły maksymalne ładunki siarczanów, azotu azotynowego i azotanowego, azotu amonowego, fosforu ogólnego (podobnie jak w maju i sierpniu) oraz wapnia i cynku. W **maju**, który był suchym miesiącem w roku – 64% wartości przeciętnej miesięcznej z wielolecia, wystąpiły maksymalne ładunki azotu ogólnego, fosforu ogólnego (podobnie jak w lipcu i sierpniu). W **lutym**, który charakteryzował się opadem wyższym od wartości przeciętnej miesięcznej z wielolecia (1991-2020) o 55%, wystąpiły maksymalne ładunki potasu i wolnych jonów wodorowych. W **czerwcu**, który był czwartym miesiącem pod względem wysokości opadów, a jednocześnie charakteryzował się opadem niższym od wartości przeciętnej miesięcznej z wielolecia (1991-2020) o 16%, wystąpiły maksymalne ładunki niklu. We **wrześniu**, który był drugim najbardziej wilgotnym miesiącem w roku i charakteryzował się opadem wyższym od wartości przeciętnej miesięcznej z wielolecia (1991-2020) o 27%, wystąpiły maksymalne ładunki niklu (podobnie jak w czerwcu) i chromu. W **grudniu**, który był piątym miesiącem pod względem wysokości opadów, a jednocześnie charakteryzował się opadem wyższym od wartości przeciętnej miesięcznej z wielolecia (1991-2020) o 19% (tabela 18), wystąpiły maksymalne ładunki miedzi i kadmu (tabela 75, rysunki 65÷82).

Najmniejsze ładunki badanych substancji wprowadziły opady w marcu 2022 roku, który charakteryzował się najniższą miesięczną wysokością opadów, z niedoborem 70% w stosunku do wartości średniej miesięcznej z wielolecia (tabela 18). Minimum miesięcznego ładunku, stwierdzono dla wszystkich siedemnastu badanych substancji w tym: siarczanów, chlorków, azotu azotynowego i azotanowego, azotu amonowego, azotu ogólnego, fosforu ogólnego, sodu, potasu, wapnia, magnezu, cynku, miedzi, ołowiu, niklu, kadmu (podobnie jak w **październiku**) i chromu oraz wolnych jonów wodorowych.

Sezonowo wody opadowe wprowadziły na obszar Polski większe ilości substancji w okresie ciepłym roku niż chłodnym, odpowiednio 58% i 42% ładunku rocznego.

Większe ładunki poszczególnych substancji w **okresie ciepłym**, wystąpiły w przypadku siarczanów, azotu azotynowego i azotanowego, azotu amonowego, azotu ogólnego, fosforu ogólnego, potasu, wapnia, magnezu, cynku, miedzi, niklu i chromu ogólnego oraz wolnych jonów wodorowych. W okresie chłodnym, większe ładunki wystąpiły tylko w przypadku chlorków, sodu, ołowiu i kadmu (tabele 73, 75).

Roczna depozycja z opadem na powierzchnię województw

Wielkości rocznych ładunków jednostkowych badanych substancji, wprowadzonych w 2022 r. na tereny poszczególnych województw, według modelu rozkładu przestrzennego (tabela 76, rysunek 85), mieściły się w przedziałach zestawionych w tabeli 5.7.

Tabela 5.7. Zakresy depozycji substancji wprowadzanych w opadzie atmosferycznym mokrym rocznie na powierzchnie poszczególnych województw, obliczone za pomocą modelu rozkładu przestrzennego

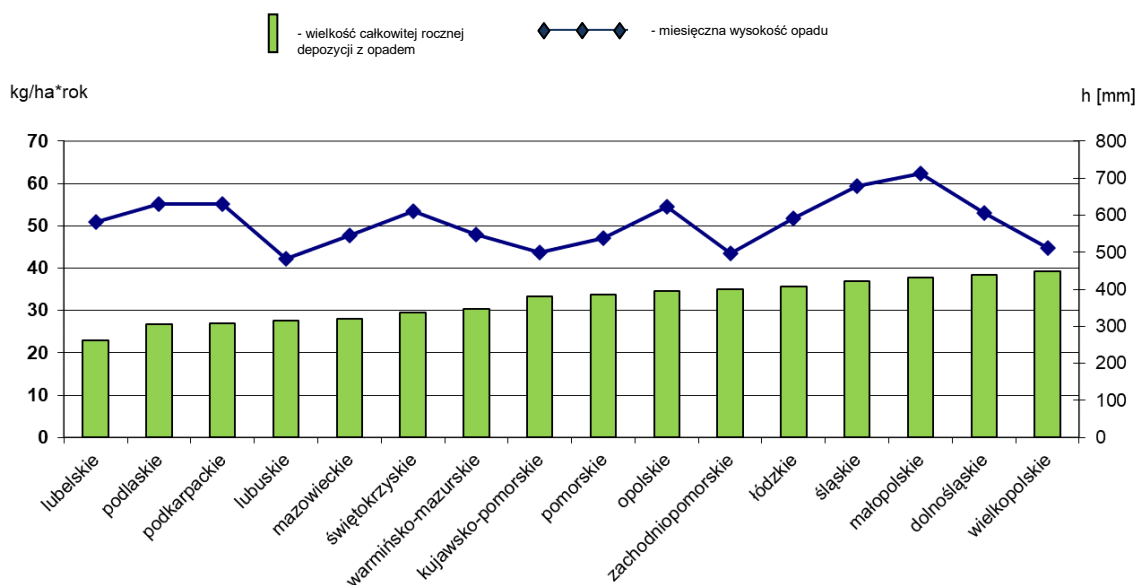
Substancja	Jednostka	Zakres
Aniony:		
Chlorki	kg/ha·r Cl	3,46 – 8,40
Siarczany	kg/ha·r SO ₄	6,89 – 11,71
Azot azotynowy + azotanowy	kg/ha·r N	1,55 – 2,81
Kationy:		
Azot amonowy	kg/ha·r N	2,69 – 4,97
Sód	kg/ha·r Na	1,76 – 4,21
Potas	kg/ha·r K	1,21 – 2,93
Wapń	kg/ha·r Ca	2,88 – 5,20
Magnez	kg/ha·r Mg	0,47 – 0,82
Metale ciężkie:		
Cynk	kg/ha·r Zn	0,0998 – 0,3931
Miedź	kg/ha·r Cu	0,0196 – 0,0574
Ołów	kg/ha·r Pb	0,00043 – 0,01184
Kadm	kg/ha·r Cd	0,00026 – 0,00135
Nikiel	kg/ha·r Ni	0,00125 – 0,00357
Chrom ogólny	kg/ha·r Cr	0,00044 – 0,00090
Związki biogenne:		
Azot ogólny	kg/ha·r N	5,74 – 10,25
Fosfor ogólny	kg/ha·r P	0,128 – 0,559
Jon wodorowy	kg/ha·r H⁺	0,00582 – 0,01716

Warunki meteorologiczne na obszarze Polski w 2022 roku, zostały przedstawione w rozdziale 4. W szczególności, omówiono rozkład na obszarze kraju rocznych sum opadowych, udział w sumach rocznych wody opadowej z poszczególnych sektorów napływu mas powietrza. Zmienne opadowe oraz stopień zanieczyszczenia atmosfery, tworzyły potencjalne warunki do zróżnicowania oraz zasadniczo wpływały na kształt przestrzennego rozkładu na badanym obszarze wielkości rocznych ładunków badanych substancji.

Wielkości rocznej całkowitej depozycji, wniesionej z opadami na powierzchnię poszczególnych województw w 2022 roku, kształtowały się w granicach od 22,91 kg/ha^r w województwie lubelskim do 39,35 kg/ha^r w województwie wielkopolskim (rysunek 5.2., rysunek 85).

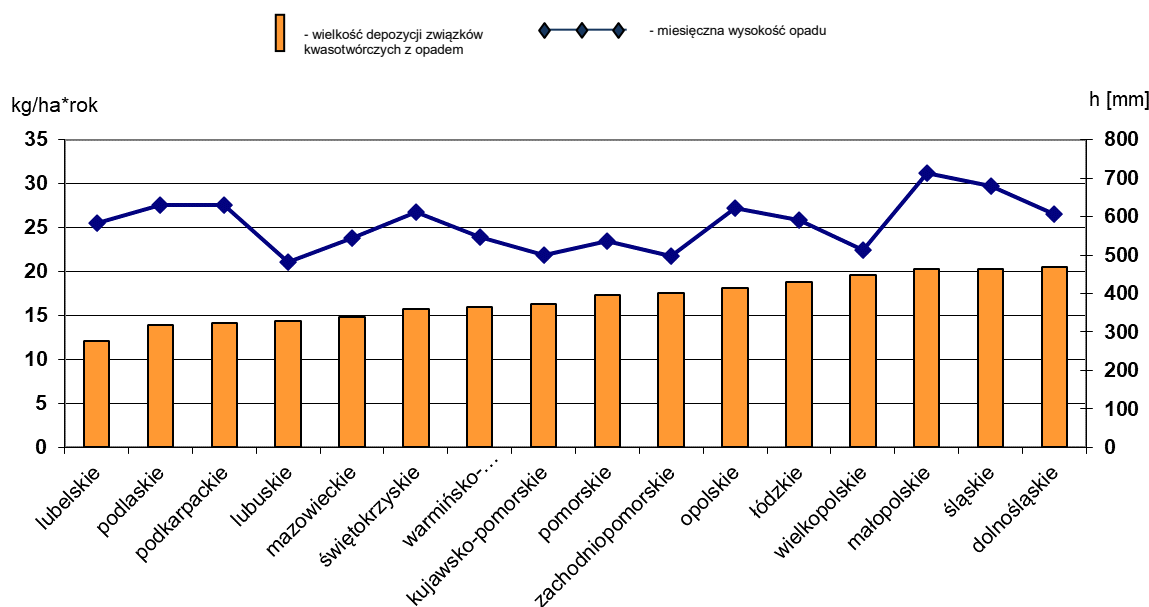
Najbardziej obciążone substancjami wprowadzonymi z opadem atmosferycznym mokrym **było** w 2022 roku **województwo wielkopolskie**, przy czym dziewięć województw (kolejno **wielkopolskie**, dolnośląskie, małopolskie, śląskie, łódzkie, zachodniopomorskie, opolskie, pomorskie i kujawsko-pomorskie) miało wyższe obciążenie substancjami niż **średnie dla Polski – 32,08 kg/ha^r**. W województwie wielkopolskim, najwyższe średnie obciążenia, stwierdzono w przypadku jednej z siedemnastu badanych substancji, tj.: potasu. W województwie dolnośląskim, w przypadku ośmiu z siedemnastu badanych substancji, stwierdzono najwyższe średnie obciążenia, w tym dla: azotu azotynowego i azotanowego, azotu amonowego, azotu ogólnego i fosforu ogólnego, miedzi, ołowiu i chromu oraz wolnych jonów wodorowych. Najwyższe obciążenia poszczególnymi substancjami, stwierdzono również w województwach: kujawsko-pomorskim – wapniem; łódzkim – niklem; małopolskim – siarczanami i magnezem; pomorskim – chlorkami i sodem; śląskim – cynkiem i kadmem (tabela 76, 78, rysunek 85).

Najmniej obciążone substancjami wprowadzonymi z opadem atmosferycznym było w 2022 roku województwo **lubelskie**, przy czym siedem województw (kolejno lubelskie, podlaskie, podkarpackie, lubuskie, mazowieckie, świętokrzyskie i warmińsko-mazurskie) miało niższe obciążenie substancjami niż **średnie dla Polski**. W województwie lubelskim stwierdzono najniższe średnie obciążenia ośmiu z siedemnastu badanych substancji, w tym: chlorków, azotem azotynowym i azotanowym, azotem ogólnym, fosforem ogólnym, sodem, potasem, wapniem i magnezem. W województwie pomorskim stwierdzono najniższe średnie obciążenia dwóch z siedemnastu badanych substancji, w tym obciążenia siarczanami i azotem amonowym, a w województwie podlaskim stwierdzono najniższe średnie obciążenia czterech z siedemnastu badanych substancji, w tym obciążenia ołowiem, kadmem, niklem oraz wolnymi jonami wodorowymi. Najniższe średnie obciążenia poszczególnymi substancjami stwierdzono również w województwach: lubuskim – cynkiem; świętokrzyskim – miedzią; warmińsko-mazurskim – chromem (tabela 76, 78, rysunek 85).



Rysunek 5.2. Wielkości całkowitej depozycji rocznej w opadach na powierzchnię poszczególnych województw oraz sumy roczne wysokości opadów w 2022 r.

Obciążenie obszaru Polski **związkami kwasotwórczymi** (SO_4 , Cl, $\text{N}_{(\text{NO}_2+\text{NO}_3)}$) wniesionymi do podłoża z opadami atmosferycznymi, było bardzo zróżnicowane przestrzennie i zależne głównie od udziału siarczanów, które występowały w większych ilościach niż pozostałe substancje kwasotwórcze (rysunek 5.3., rysunek 85).



Rysunek 5.3. Wielkości całkowitej depozycji rocznej związków kwasotwórczych w opadach na powierzchnię poszczególnych województw oraz sumy roczne wysokości opadów w 2022 r.

Największym ładunkiem **związków kwasotwórczych** w 2022 roku obciążone były województwa: dolnośląskie – 20,46 kg/ha·r, a w drugiej kolejności śląskie – 20,30 kg/ha·r, następnie małopolskie – 20,24 kg/ha·r i wielkopolskie – 19,55 kg/ha·r. Mniejszym ładunkiem, w przedziale 18,76-17,31 kg/ha·r, były obciążone kolejno województwa:

łódzkie, opolskie, zachodniopomorskie i pomorskie, a w przedziale 16,26-14,36 kg/ha·r, kolejno województwa: kujawsko-pomorskie, warmińsko-mazurskie, świętokrzyskie, mazowieckie i lubuskie. Najmniej obciążone były województwa: podkarpackie – 14,15 kg/ha·r, podlaskie – 13,93 kg/ha·r i lubelskie – z minimum 12,09 kg/ha·r.

W rozkładzie przestrzennym **siarczanów** największe wielkości średniego, rocznego ładunku jednostkowego, skoncentrowały się na południu w województwach: małopolskim – maksimum 11,71 kg/ha·r SO₄, dolnośląskim – 11,62 kg/ha·r, śląskim – 11,40 kg/ha·r, opolskim – 10,71 kg/ha·r, w centrum kraju w województwach: łódzkim – 10,62 kg/ha·r, wielkopolskim – 10,02 kg/ha·r, świętokrzyskim – 9,10 kg/ha·r, a na północy kraju w warmińsko-mazurskim – 8,51 kg/ha·r i kujawsko-pomorskim – 8,35 kg/ha·r. Natomiast mniejsze wielkości ładunku wystąpiły w województwach: mazowieckim – 8,27 kg/ha·r w centrum kraju i na południu w podkarpackim – 8,17 kg/ha·r, na wschodzie kraju w podlaskim – 8,03 kg/ha·r oraz w zachodniopomorskim – 7,88 kg/ha·r. Natomiast najmniejsze wielkości ładunku wystąpiły w województwach: lubuskim – 7,29 kg/ha·r i lubelskim – 7,08 kg/ha·r oraz pomorskim – minimum wartości 6,89 kg/ha·r (tabela 76).

Maksymalne wielkości średnich rocznych ładunków jednostkowych **chlorków** w 2022 roku, odnotowano w województwie pomorskim – maksimum 8,40 kg/ha·r Cl. Wyższe wielkości ładunków chlorków wystąpiły również w województwach: zachodniopomorskim – 7,58 kg/ha·r, wielkopolskim – 7,29 kg/ha·r, śląskim – 6,35 kg/ha·r, małopolskim – 6,33 kg/ha·r, dolnośląskim – 6,03 kg/ha·r, kujawsko-pomorskim – 5,93 kg/ha·r, łódzkim – 5,78 kg/ha·r i warmińsko-mazurskim – 5,70 kg/ha. Znaczne wielkości ładunków chlorków wystąpiły w województwach: lubuskim – 4,99 kg/ha·r, opolskim – 4,81 kg/ha·r, mazowieckim – 4,70 kg/ha·r, świętokrzyskim – 4,68 kg/ha·r i podkarpackim – 4,22 kg/ha·r. Niższe wielkości ładunku stwierdzono w województwie podlaskim – 4,13 kg/ha·r. Najniższe ładunki chlorków wystąpiły na wschodzie Polski w województwie lubelskim – minimum wartości 3,46 kg/ha·r.

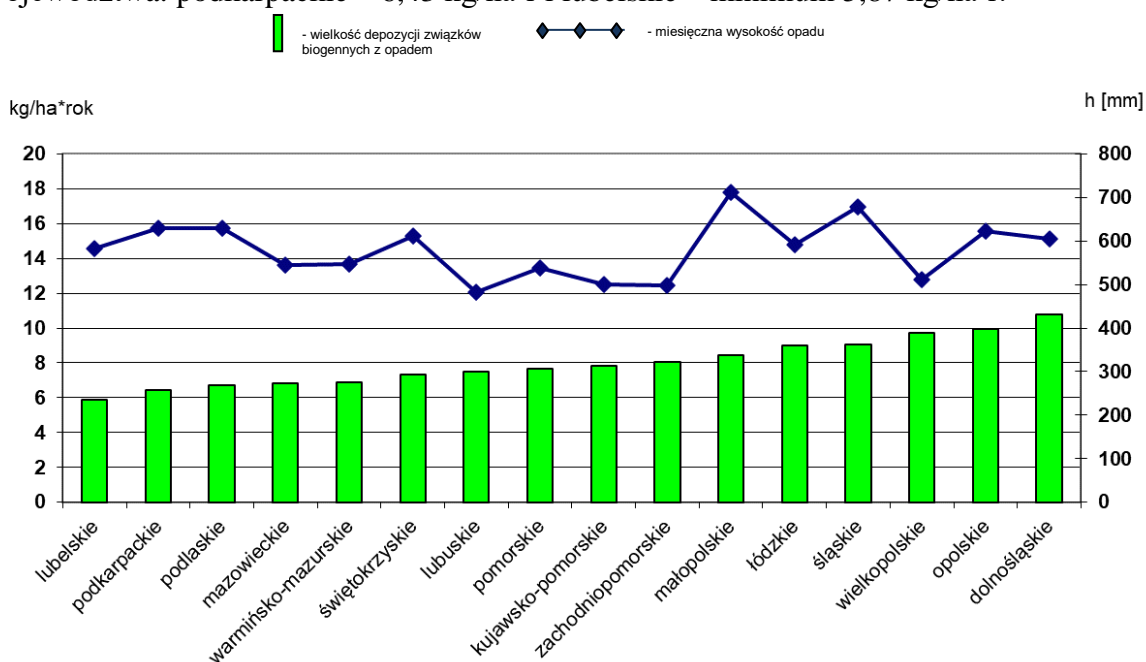
Średnie ładunki jednostkowe **azotu azotynowego i azotanowego** w roku 2022 na obszarze Polski były mało zróżnicowane. Największe obciążenie, 2,81 kg/ha·r N, wystąpiło na południu kraju w województwie dolnośląskim, a w drugiej kolejności w województwie opolskim – 2,61 kg/ha·r, a następnie w województwach: śląskim – 2,55 kg/ha·r, łódzkim – 2,36 kg/ha·r, wielkopolskim – 2,24 kg/ha·r i małopolskim – 2,20 kg/ha·r. Nieco niższe obciążenia, stwierdzono w województwach: zachodniopomorskim i lubuskim – po 2,08 kg/ha·r, pomorskim – 2,02 kg/ha·r i świętokrzyskim – 2,00 kg/ha·r. Mniejsze wielkości ładunków odnotowano w województwach: kujawsko-pomorskim – 1,98 kg/ha·r, mazowieckim – 1,82 kg/ha·r i warmińsko-mazurskim – 1,79 kg/ha·r. Najniższe obciążenia azotem azotynowym i azotanowym wystąpiły w województwach: podlaskim – 1,77 kg/ha·r i podkarpackim – 1,76 kg/ha·r, a najmniejsze w województwie lubelskim – minimum wartości – 1,55 kg/ha·r.

Największe ładunki **azotu amonowego** wystąpiły w województwach położonych głównie na południu kraju, w następującej kolejności: w województwie dolnośląskim – maksimum ładunku 4,97 kg/ha·r, opolskim – 4,92 kg/ha·r i śląskim – 4,55 kg/ha·r, a następnie w łódzkim – 4,13 kg/ha·r, a nieco mniejsze ładunki wystąpiły

w województwach: małopolskim – 3,86 kg/ha·r, wielkopolskim – 3,85 kg/ha·r, świętokrzyskim – 3,48 kg/ha·r, lubuskim – 3,27 kg/ha·r, kujawsko-pomorskim – 3,10 kg/ha·r, zachodniopomorskim – 3,08 kg/ha·r, mazowieckim – 3,07 kg/ha·r i podlaskim – 3,06 kg/ha·r. Niższe ładunki **azotu amonowego** wystąpiły kolejno w województwach: warmińsko-mazurskim – 2,92 kg/ha·r i podkarpackim – 2,91 kg/ha·r. Najniższe ładunki azotu amonowego opady wniosły w województwie lubelskim – 2,76 kg/ha·r oraz pomorskim – minimum 2,68 kg/ha·r.

Obciążenie obszaru Polski **związkami biogennymi** ($N_{og.} + P_{og.}$), wniesionymi do podłoża z opadami atmosferycznymi, było bardzo zróżnicowane przestrzennie i zależne głównie od udziału azotu ogólnego, który występował w większych ilościach niż fosfor (rysunek 5.4., rysunek 85).

Największym ładunkiem związków biogennych w 2022 roku obciążone było województwo dolnośląskie – 10,81 kg/ha·r, a w drugiej kolejności opolskie – 9,94 kg/ha·r, a następnie wielkopolskie – 9,70 kg/ha·r, śląskie – 9,06 kg/ha·r, łódzkie – 8,99 kg/ha·r i małopolskie – 8,43 kg/ha·r oraz zachodniopomorskie – 8,06 kg/ha·r. Mniej obciążone były kolejno województwa: kujawsko-pomorskie – 7,83 kg/ha·r, pomorskie – 7,65 kg/ha·r i lubuskie – 7,52 kg/ha·r. Niższe obciążenie występowało w województwach: świętokrzyskim – 7,33 kg/ha·r, warmińsko-mazurskim – 6,87 kg/ha·r, mazowieckim – 6,84 kg/ha·r i podlaskim – 6,73 kg/ha·r, a najmniej obciążone związkami biogennymi były województwa: podkarpackie – 6,43 kg/ha·r i lubelskie – minimum 5,87 kg/ha·r.



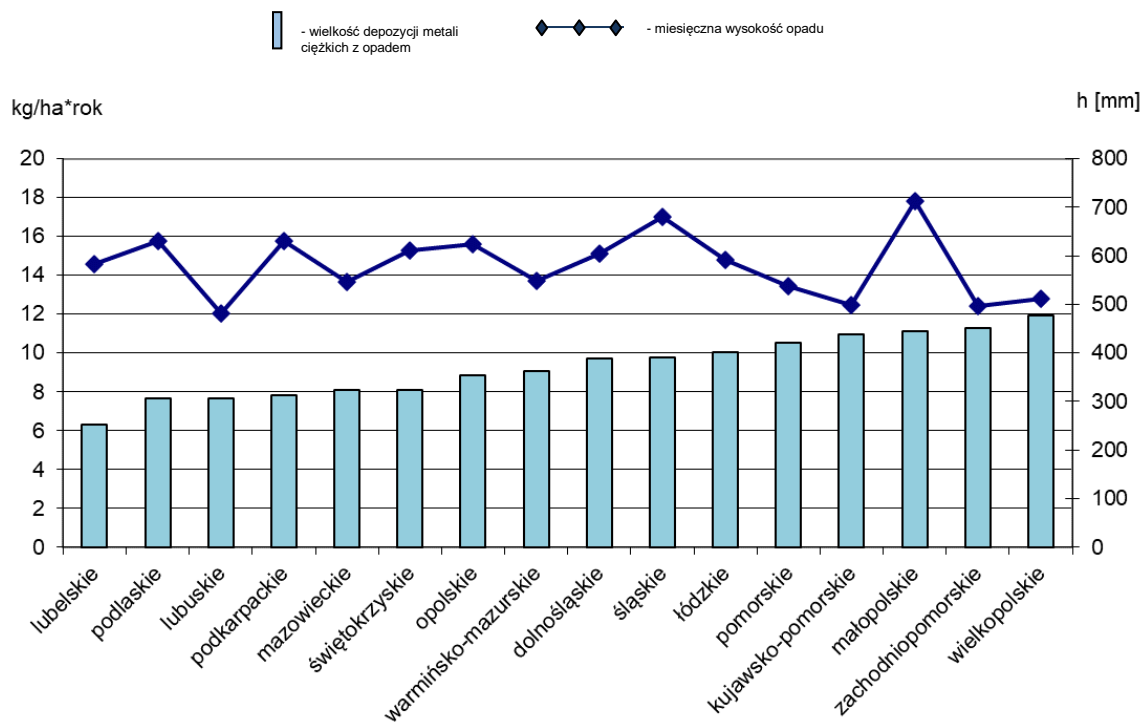
Rysunek 5.4. Wielkości całkowitej depozycji rocznej związków biogennych w opadach na powierzchnię poszczególnych województw oraz roczne wysokości opadów w 2022 r.

Rozkład przestrzenny **azotu ogólnego** w 2022 roku, wykazał największą wielkość średniego ładunku jednostkowego w województwie dolnośląskim – 10,25 kg/ha·r N, a w drugiej kolejności w województwie opolskim – 9,65 kg/ha·r i wielkopolskim – 9,32 kg/ha·r. Nieco niższe ładunki stwierdzono kolejno w województwach: śląskim – 8,84 kg/ha·r, łódzkim – 8,74 kg/ha·r i małopolskim – 8,20 kg/ha·r. Mniejsze wielkości

ładunku azotu ogólnego stwierdzono w województwach: zachodniopomorskim – 7,76 kg/ha·r, kujawsko-pomorskim – 7,59 kg/ha·r, pomorskim – 7,39 kg/ha·r, lubuskim – 7,19 kg/ha·r i świętokrzyskim – 7,16 kg/ha·r, a najmniejsze w województwach: warmińsko-mazurskim – 6,67 kg/ha·r, mazowieckim – 6,66 kg/ha·r, podlaskim – 6,54 kg/ha·r i podkarpackim – 6,27 kg/ha·r. Najniższy średni ładunek jednostkowy azotu ogólnego został wprowadzony na obszar województwa lubelskiego – 5,74 kg/ha·r.

Największe obciążenia średnimi rocznymi ładunkami jednostkowymi **fosforu ogólnego**, wystąpiły w województwie dolnośląskim – wartość maksymalna 0,559 kg/ha·r P, a w drugiej kolejności w wielkopolskim – 0,380 kg/ha·r, a następnie w województwach: lubuskim – 0,333 kg/ha·r, zachodniopomorskim – 0,303 kg/ha·r, opolskim – 0,290 kg/ha·r, pomorskim – 0,263 kg/ha·r, łódzkim – 0,250 kg/ha·r, kujawsko-pomorskim – 0,238 kg/ha·r, małopolskim – 0,230 kg/ha·r i śląskim – 0,216 kg/ha·r. Nieco mniejsze ładunki wystąpiły w województwach: warmińsko-mazurskim – 0,195 kg/ha·r, podlaskim – 0,194 kg/ha·r i mazowieckim – 0,184 kg/ha·r. Najmniejsze obciążenie stwierdzono w województwie świętokrzyskim – 0,171 kg/ha·r, podkarpackim – 0,156 kg/ha·r i lubelskim – minimum 0,128 kg/ha·r.

Obciążenie **metalami lekkimi** (metalami alkalicznymi: Na i K, metalami ziem alkalicznych: Ca, Mg) obszaru Polski, wniesionymi do podłoża z opadami atmosferycznymi było bardzo zróżnicowane przestrzennie i zależne głównie od udziału wapnia, a w drugiej kolejności sodu, tj. metali, które występowały w znacznie większych ilościach niż potas i magnez (rysunek 5.5., rysunek 85).



Rysunek 5.5. Wielkości całkowitej depozycji rocznej metalami lekkimi w opadach na powierzchnię poszczególnych województw oraz roczne wysokości opadów w 2022 r.

Największym ładunkiem metali lekkich w 2022 roku obciążone było województwo wielkopolskie – 11,95 kg/ha·r, a w drugiej kolejności zachodniopomorskie – 11,28 kg/ha·r, a następnie małopolskie – 11,11 kg/ha·r i kujawsko-pomorskie – 10,97 kg/ha·r. Mniej obciążone były kolejno województwa: pomorskie – 10,51 kg/ha·r, łódzkie – 10,02 kg/ha·r, śląskie – 9,77 kg/ha·r, dolnośląskie – 9,70 kg/ha·r i warmińsko-mazurskie – 9,05 kg/ha·r. Niższe obciążenie występowało w województwach: opolskim – 8,87 kg/ha·r, świętokrzyskim – 8,10 kg/ha·r, mazowieckim – 8,08 kg/ha·r i podkarpackim – 7,82 kg/ha·r, a najmniej obciążone metalami lekkimi były województwa: lubuskie – 7,68 kg/ha·r, podlaskie – 7,67 kg/ha·r i lubelskie – minimum 6,32 kg/ha·r.

Największą wartość średniego rocznego ładunku jednostkowego **sodu**, w 2022 roku stwierdzono na obszarze północnej Polski, w województwie pomorskim – maksimum 4,21 kg/ha·r. Duże obciążenie sodem występowało także w województwach: zachodniopomorskim – 3,67 kg/ha·r i wielkopolskim – 3,28 kg/ha·r, a nieco mniejsze, kolejno w województwach: dolnośląskim – 3,22 kg/ha·r, kujawsko-pomorskim – 3,16 kg/ha·r, małopolskim – 3,15 kg/ha·r, warmińsko-mazurskim – 2,98 kg/ha·r, łódzkim – 2,89 kg/ha·r i śląskim – 2,88 kg/ha·r. Niższe ładunki występowały kolejno w województwach: lubuskim – 2,77 kg/ha·r, mazowieckim – 2,37 kg/ha, świętokrzyskim – 2,27 kg/ha oraz opolskim – 2,18 kg/ha·r. Najniższe ładunki stwierdzono w województwach: podkarpackim – 1,98 kg/ha i podlaskim – 1,97 kg/ha·r, a najmniejszy ładunek w województwie lubelskim z minimum – 1,76 kg/ha·r.

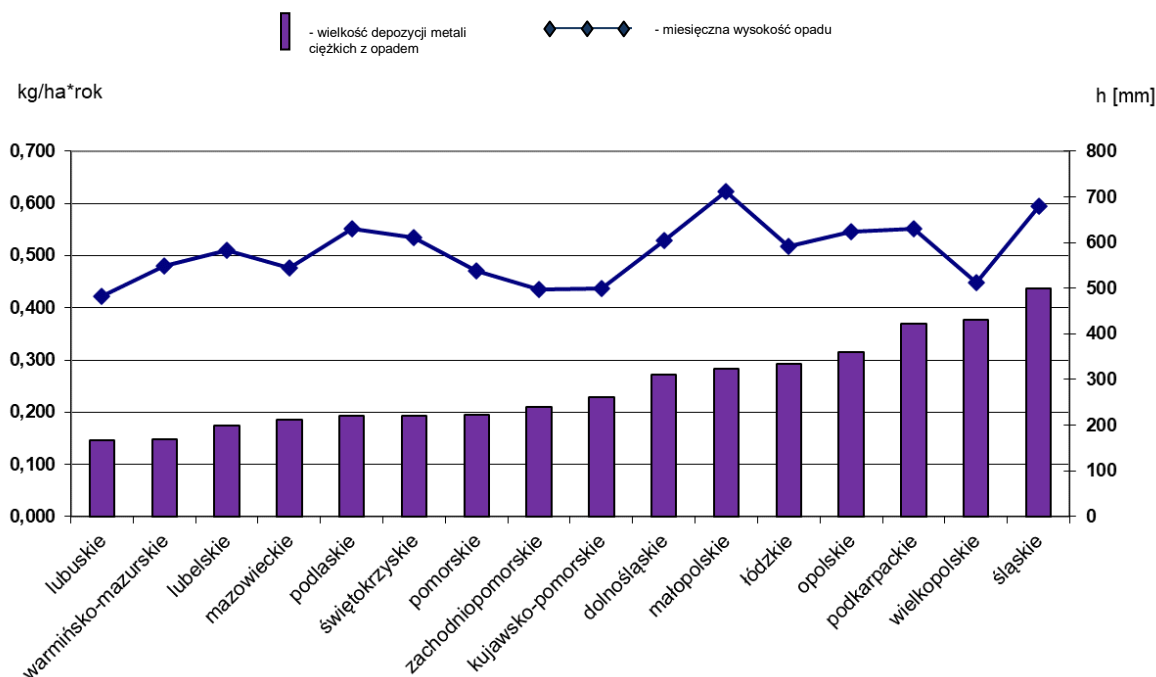
Najbardziej obciążone ładunkiem jednostkowym **potasu** były województwa: wielkopolskie – 2,93 kg/ha·r, małopolskie – 2,30 kg/ha·r i zachodniopomorskie – 2,22 kg/ha·r, a w drugiej kolejności pomorskie – 2,14 kg/ha·r, łódzkie – 1,90 kg/ha·r, dolnośląskie – 1,87 kg/ha·r i kujawsko-pomorskie – 1,85 kg/ha·r. Mniejszym ładunkiem potasu były obciążone kolejno województwa: opolskie – 1,78 kg/ha·r, śląskie – 1,77 kg/ha·r, podkarpackie – 1,61 kg/ha·r, świętokrzyskie – 1,48 kg/ha·r. Niższe ładunki potasu występowały kolejno w województwach: mazowieckim – 1,36 kg/ha·r, warmińsko-mazurskim – 1,32 kg/ha·r, lubuskim – 1,24 kg/ha·r i podlaskim – 1,23 kg/ha·r. Najmniejsze obciążenie odnotowano w województwie lubelskim z minimum – 1,21 kg/ha·r.

Średni roczny ładunek jednostkowy **wapnia** najwyższe wartości osiągnął w województwach: kujawsko-pomorskim z maksimum – 5,20 kg/ha·r i wielkopolskim – 5,05 kg/ha·r, a w drugiej kolejności małopolskim – 4,84 kg/ha·r, zachodniopomorskim – 4,71 kg/ha·r, łódzkim – 4,54 kg/ha·r, śląskim – 4,50 kg/ha·r, opolskim – 4,38 kg/ha·r i warmińsko-mazurskim – 4,07 kg/ha·r. Znacznie niższe wielkości ładunku wystąpiły kolejno w województwach: dolnośląskim – 3,98 kg/ha·r, podlaskim – 3,82 kg/ha·r, mazowieckim – 3,75 kg/ha i świętokrzyskim – 3,73 kg/ha·r. Niskie wielkości ładunku stwierdzono w województwach: podkarpackim – 3,53 kg/ha·r i pomorskim – 3,48 kg/ha·r. Najniższe średnie roczne ładunki jednostkowe wapnia miały miejsce w województwach: lubuskim – 3,19 kg/ha·r i lubelskim z minimum – 2,88 kg/ha·r.

Największym ładunkiem **magnezu** zostały obciążone województwa: małopolskie z maksimum – 0,82 kg/ha·r, a następnie kujawsko-pomorskie – 0,76 kg/ha·r, podkarpackie – 0,70 kg/ha·r. Znaczne ładunki magnezu wprowadzone zostały kolejno z opadem atmosferycznym na obszary województw: wielkopolskiego i łódzkiego – po 0,69 kg/ha·r,

warzyńsko-mazurskiego, zachodniopomorskiego i pomorskiego – po 0,68 kg/ha·r, podlaskiego – 0,65 kg/ha·r, dolnośląskiego – 0,63 kg/ha·r oraz świętokrzyskiego i śląskiego – 0,62 kg/ha·r. Znacząco mniejszymi ładunkami magnezu zostały obciążone województwa: mazowieckie – 0,60 kg/ha·r, opolskie – 0,53 kg/ha·r, lubuskie – 0,48 kg/ha·r, a najmniejszymi województwo lubelskie z minimum – 0,47 kg/ha·r.

Obciążenie obszaru Polski **metalami ciężkimi** (Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Cr), wniesionymi do podłoża w opadach atmosferycznych, było bardzo zróżnicowane przestrzennie w zależności od rodzaju metalu (rysunek 5.6., rysunek 85).



Rysunek 5.6. Wielkości całkowitej depozycji rocznej metali ciężkich w opadach na powierzchnię poszczególnych województw oraz sumy roczne wysokości opadów w 2022 r.

Największym ładunkiem metali ciężkich w 2022 roku, obciążone było województwo śląskie z maksimum – 0,43656 kg/ha·r, a w drugiej kolejności województwa: wielkopolskie – 0,3774 kg/ha·r, podkarpackie – 0,36875 kg/ha·r i opolskie – 0,31530 kg/ha·r. Mniejszym ładunkiem metali ciężkich obciążone były kolejno województwa: łódzkie – 0,29326 kg/ha·r, małopolskie – 0,28263 kg/ha·r, dolnośląskie – 0,27208 kg/ha·r, kujawsko-pomorskie – 0,22776 kg/ha·r i zachodniopomorskie – 0,20998 kg/ha·r. Mniej obciążone były województwa: pomorskie – 0,19553 kg/ha, świętokrzyskie – 0,19234 kg/ha, podlaskie – 0,19234 kg/ha, mazowieckie – 0,18575 kg/ha·r, lubelskie – 0,17361 kg/ha·r. Najmniej obciążone były województwa: warzyńsko-mazurskie – 0,14865 kg/ha·r i lubuskie z minimum – 0,14556 kg/ha·r.

Największy średni ładunek jednostkowy **cynku** stwierdzono w województwie – śląskim – 0,3931 kg/ha·r, a w drugiej kolejności w województwie podkarpackim – 0,3280 kg/ha·r. Znacznym ładunkiem obciążone były kolejno województwa: wielkopolskie – 0,3230 kg/ha·r, opolskie – 0,2773 kg/ha·r i łódzkie – 0,2634 kg/ha·r. Nieco mniejsze ładunki stwierdzono w województwach: małopolskim – 0,2493 kg/ha·r, dolnośląskim – 0,1982 kg/ha·r, kujawsko-pomorskim – 0,1944 kg/ha·r,

podlaskim – 0,1694 kg/ha·r, świętokrzyskim – 0,1685 kg/ha·r i mazowieckim – 0,1615 kg/ha·r. Mniejszym ładunkiem obciążone były kolejno województwa: zachodniopomorskie – 0,1583 kg/ha·r, pomorskie – 0,1580 kg/ha·r i lubelskie – 0,1486 kg/ha·r. Najmniejszy średni ładunek jednostkowy cynku, stwierdzono dla województw: warmińsko-mazurskiego – 0,1252 kg/ha·r i lubuskiego z minimum – 0,0998 kg/ha·r.

Najbardziej obciążone **miedzią** było województwo dolnośląskie – 0,0574 kg/ha·r, a w drugiej kolejności województwo wielkopolskie – 0,0478 kg/ha·r, zachodniopomorskie – 0,0461 kg/ha·r i lubuskie – 0,0400 kg/ha·r, a następnie podkarpackie – 0,0351 kg/ha·r, śląskie – 0,0342 kg/ha·r i pomorskie – 0,0325 kg/ha·r. Mniejszym ładunkiem, obciążone były kolejno województwa: opolskie – 0,0307 kg/ha·r, kujawsko-pomorskie – 0,0289 kg/ha·r, małopolskie – 0,0270 kg/ha·r i łódzkie – 0,0238 kg/ha·r. Najmniejsza depozycja tego metalu miała miejsce w województwach: lubelskim – 0,0209 kg/ha·r, podlaskim – 0,0205 kg/ha·r oraz warmińsko-mazurskim i mazowieckim – po 0,0200 kg/ha·r, natomiast minimalna wielkość ładunku miedzi, została wprowadzona z opadem mokrym w województwie świętokrzyskim – 0,0196 kg/ha·r.

Obciążenie **olowiem** było największe na południu Polski w województwach: dolnośląskim z maksimum wartości – 0,01184 kg/ha·r, a w drugiej kolejności śląskim – 0,00447 kg/ha·r, opolskim – 0,00360 kg/ha·r i lubuskim – 0,00312 kg/ha·r. Mniejszym ładunkiem obciążone były kolejno województwa: wielkopolskie – 0,00281 kg/ha·r, zachodniopomorskie – 0,00238 kg/ha·r, małopolskie – 0,00200 kg/ha·r, świętokrzyskie – 0,00134 kg/ha·r i łódzkie – 0,00132 kg/ha·r. Najmniejsze ładunki tego metalu odnotowano w województwach: pomorskim – 0,00123 kg/ha, lubelskim – 0,00116 kg/ha·r, podkarpackim – 0,00114 kg/ha·r, kujawsko-pomorskim – 0,00110 kg/ha·r, mazowieckim – 0,00089 kg/ha·r i warmińsko-mazurskim – 0,00062 kg/ha·r oraz minimum wartości w podlaskim – 0,00043 kg/ha·r.

Największy średni ładunek **kadmu** otrzymało województwo śląskie z maksimum wartości – 0,00135 kg/ha·r, a w drugiej kolejności województwa: podkarpackie – 0,00123 kg/ha·r, małopolskie – 0,00101 kg/ha·r i opolskie – 0,00071 kg/ha·r. Mniejszym ładunkiem, obciążone były kolejno województwa: dolnośląskie – 0,00062 kg/ha, świętokrzyskie – 0,00061 kg/ha, łódzkie – 0,00059 kg/ha, warmińsko-mazurskie – 0,00055 kg/ha, mazowieckie – 0,00051 kg/ha, lubelskie – 0,00048 kg/ha i pomorskie – 0,00047 kg/ha. Wartości najmniejsze, średnich rocznych ładunków kadmu, stwierdzono w województwach: zachodniopomorskim – 0,00044 kg/ha, wielkopolskim – 0,00042 kg/ha, kujawsko-pomorskim – 0,00035 kg/ha, lubuskim – 0,00030 kg/ha oraz minimum wartości w województwie podlaskim – 0,00026 kg/ha·r.

Nikiel obciążał największym ładunkiem województwo łódzkie z maksimum wartości – 0,00357 kg/ha·r, a następnie świętokrzyskie – 0,00334 kg/ha·r, dolnośląskie – 0,00312 kg/ha·r, wielkopolskie – 0,00302 kg/ha·r i małopolskie – 0,00277 kg/ha·r. Mniejszym ładunkiem obciążone były kolejno województwa: pomorskie – 0,00276 kg/ha·r, podkarpackie – 0,00268 kg/ha·r, śląskie – 0,00265 kg/ha·r, kujawsko-pomorskie – 0,00243 kg/ha·r, opolskie i mazowieckie – po 0,00237 kg/ha·r. Mniejszym ładunkiem obciążone były kolejno województwa: zachodniopomorskie – 0,00220 kg/ha·r, lubelskie

– 0,00194 kg/ha·r, a następnie warmińsko-mazurskie – 0,00184 kg/ha·r i lubuskie – 0,00181 kg/ha·r. Województwo podlaskie było obciążone najmniejszym ładunkiem z minimum – 0,00125 kg/ha·r.

Chrom charakteryzował się największym obciążeniem w województwach: dolnośląskim z maksimum wielkości – 0,00090 kg/ha·r i śląskim – 0,00079 kg/ha·r, a następnie wielkopolskim – 0,00069 kg/ha·r, opolskim – 0,00062 kg/ha·r, podkarpackim – 0,00060 kg/ha·r, łódzkim i kujawsko-pomorskim – po 0,00058 kg/ha·r i pomorskim – 0,00057 kg/ha·r, a niższym obciążeniem, w województwach: zachodniopomorskim – 0,00056 kg/ha·r, małopolskim – 0,00055 kg/ha·r, lubuskim i lubelskim – 0,00053 kg/ha·r. Mniejszym ładunkiem obciążone były kolejno województwa: podlaskie i świętokrzyskie – po 0,00050 kg/ha·r, a najmniejszym ładunkiem obciążone były województwa: mazowieckie – 0,00048 kg/ha·r i warmińsko-mazurskie z minimum obciążenia – 0,00044 kg/ha.

Największe, średnie roczne wielkości ładunku jednostkowego **jonu wodorowego H⁺** w 2022 roku na obszarze Polski, wystąpiły w województwach: dolnośląskim z maksimum obciążenia – 0,01716 kg/ha·r i lubuskim – 0,01291 kg/ha·r, a w drugiej kolejności w zachodniopomorskim – 0,01122 kg/ha·r, lubelskim – 0,01089 kg/ha·r, pomorskim – 0,01005 kg/ha·r, wielkopolskim – 0,00877 kg/ha·r, świętokrzyskim – 0,00875 kg/ha·r i opolskim – 0,00842 kg/ha·r, a następnie w województwach: podkarpackim – 0,00779 kg/ha·r, śląskim – 0,00750 kg/ha·r i mazowieckim – 0,00726 kg/ha·r. Niższe średnie roczne ładunki wystąpiły w województwach: łódzkim – 0,00695 kg/ha·r, małopolskim – 0,00655 kg/ha·r i kujawsko-pomorskim – 0,00600 kg/ha·r. Najniższe, średnie wielkość ładunku jonu wodorowego, odnotowano w województwach: warmińsko-mazurskim – 0,00598 kg/ha·r oraz podlaskim z minimum wartości – 0,00582 kg/ha·r (tabela 76, rysunek 85).

Reasumując, na powierzchnię szesnastu województw, spośród siedemnastu badanych substancji, wprowadzono **najmniejsze wartości średnich rocznych ładunków jednostkowych** ośmiu substancji w województwie **lubelskim**, to jest: chlorków, sodu, potasu, wapnia, magnezu, azotu azotynowego i azotanowego oraz azotu ogólnego i fosforu ogólnego. W województwie **pomorskim** stwierdzono najniższe średnie obciążenia dwóch z siedemnastu badanych substancji, w tym: siarczanów i azotu amonowego. W województwie **podlaskim** stwierdzono najniższe średnie obciążenia czterech z siedemnastu badanych substancji, w tym: ołowiu, kadmu niklu oraz wolnych jonów wodorowych. Najniższe średnie obciążenia poszczególnymi substancjami stwierdzono również w województwach: **lubuskim** – cynku; **świętokrzyskim** – miedzi; **warmińsko-mazurskim** – chromu (tabela 76, 78, rysunek 85).

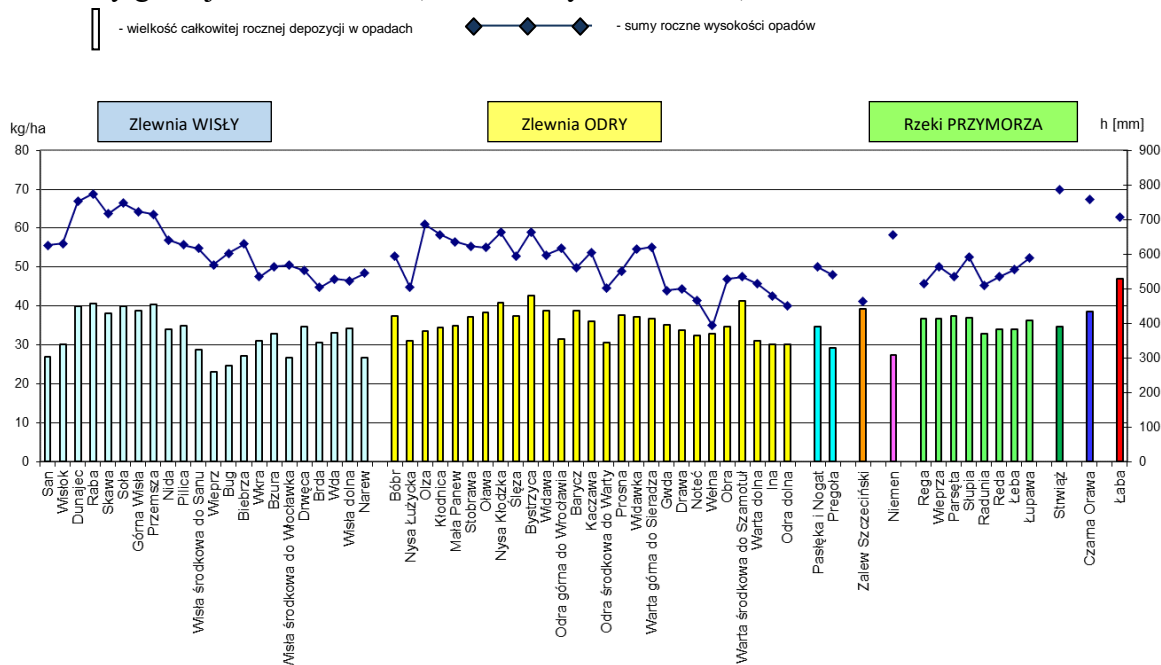
Największe wartości średnich rocznych ładunków jednostkowych dla ośmiu substancji stwierdzono w województwie **dolnośląskim**, w tym: azotu azotynowego i azotanowego, azotu amonowego i azotu ogólnego oraz fosforu ogólnego, miedzi, ołowiu i chromu oraz wolnych jonów wodorowych. W województwie **małopolskim** średnie obciążenia w przypadku dwóch z siedemnastu badanych substancji, w tym: siarczanów i magnezu były najwyższe dla całego obszaru Polski. Obciążenia najwyższe poszczególnymi substancjami stwierdzono również w województwach: **pomorskim**

– chlorkami i sodem; **śląskim** – cynkiem i kadmem; **kujawsko-pomorskim** – wapniem; **wielkopolskim** – potasem; **łódzkim** – niklem (tabela 76, rysunek 85).

Roczna depozycja z opadem na powierzchnię wybranych zlewni rzek

Wielkości rocznej całkowitej depozycji, wniesionej z opadami na powierzchnię poszczególnych wybranych zlewni rzek w 2022 roku, kształtowały się w granicach od 22,99 kg/ha na powierzchnię zlewni Wieprza do 46,93 kg/ha na powierzchnię zlewni Łaby (rysunek 5.7., rysunek 87). Konsekwentnie do powyższych ustaleń, związanych z takim rozkładem depozycji, **największe ładunki substancji** wprowadziły opady na powierzchnie zlewni: Łaby i (w kolejności malejącej) Bystrzycy, Warty środkowej do Szamotuł, Nysy Kłodzkiej, Raby, Przemszy, Dunajca, Soły, Zalewu Szczecińskiego, Baryczy, Widawy, Górnej Wisły, Czarnej Orawy, Oławy, Skawy, Proсны, Ślęzy, Bobru, Parsęty, Stobrawy, Widawki, Słupi, Warty górnej do Sieradza, Wieprzy, Regi, Łupawy, Kaczawy, Gwdy, Małej Panwi, Pilicy, Pasłęki i Nogatu, Obry, Drwęcy, Strwiąża, Kłodnicy, Wisły dolnej, Łeby, Nidy, Redy, Drawy, Olzy, Wdy, Bzury, Wełny, Raduni i Noteci. Wymienione powyżej, czterdzieści sześć zlewni przekracza średnią dla Polski depozycję w 2022 roku wynoszącą 32,08 kg/ha.

Najmniejsze ładunki substancji, poniżej średniej dla Polski, wprowadziły opady na powierzchnie osiemnastu zlewni: Wieprza i (w kolejności rosnącej) Bugu, Narwi, Wisły środkowej do Włocławka, Sanu, Biebrzy, Niemna, Wisły środkowej do Sanu, Pregoty, Odry dolnej, Wisłoka, Iny, Odry środkowej do Warty, Brdy, Nysy Łużyckiej, Warty dolnej i Wkry oraz Odry górnej do Wrocławia (tabela 77, rysunki 86, 87).



Rysunek 5.7. Wielkości całkowitej depozycji rocznej w opadach na powierzchnię poszczególnych zlewni wybranych rzek Polski oraz sumy roczne wysokości opadów w 2022 r.

Analizując wielkości ładunków substancji wniesionych przez opady atmosferyczne, w 2022 roku, na tereny poszczególnych zlewni rzek polskich, obliczone przy zastosowaniu modelu rozkładu przestrzennego (tabela 77, rysunek 86, 87), ustalono, że **wartości**

maksymalne średnich ładunków jednostkowych (kg/ha·r) wystąpiły w następujących zlewniach:

- Łaby – siarczanów, azotu azotynowego i azotanowego, azotu amonowego, azotu ogólnego oraz fosforu ogólnego;
- Bystrzycy – miedzi oraz chromu ogólnego;
- Zalewu Szczecińskiego – wapnia;
- Warty środkowej do Szamotuł – potasu;
- Strwiąży – magnezu i kadmu;
- Łupawy – chlorków sodu;
- Widawki – cynku;
- Pilicy – niklu;
- Kaczawy – ołowiu i wolnych jonów wodorowych.

Wartości **minimalne ładunków jednostkowych** badanych substancji stwierdzono w zlewniach:

- Wieprza – chlorków, azotu azotynowego i azotanowego, azotu ogólnego, fosforu ogólnego i sodu;
- Niemna – potasu, ołowiu, kadmu i niklu oraz wolnych jonów wodorowych;
- Łeby – siarczanów i azotu amonowego oraz wapnia;
- Odry górnej do Wrocławia – magnezu;
- Pregoly – miedzi i chromu ogólnego;
- Biebrzy – cynku.

Obciążenie obszaru Polski **związkami kwasotwórczymi** (SO₄, Cl, N(NO₂+NO₃)) wniesionymi do podłoża z opadami atmosferycznymi, było bardzo zróżnicowane przestrzennie i zależne głównie od udziału siarczanów, które występowały w większych ilościach niż pozostałe substancje kwasotwórcze (rysunek 5.8., rysunek 87).

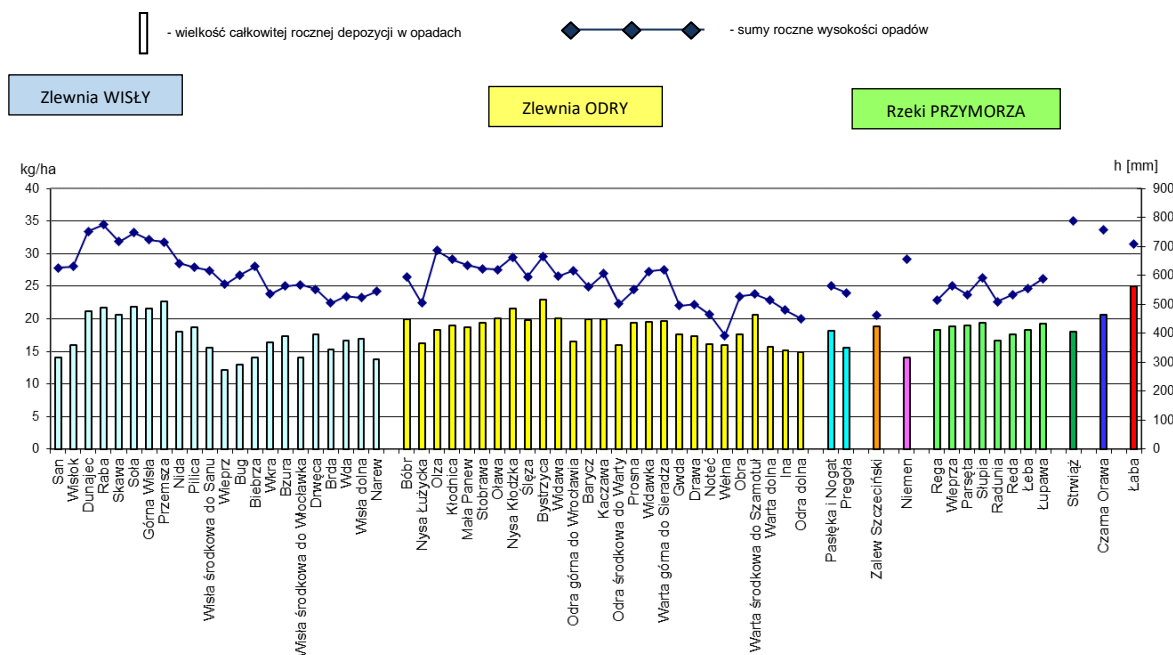
Największym ładunkiem związków kwasotwórczych w 2022 roku obciążona była zlewnia **Łaby** (24,92 kg/ha·r), a w drugiej kolejności zlewnia **dorzecza Wisły**: Przemszy (22,63 kg/ha·r), Soły (21,88 kg/ha·r), Raby (21,65 kg/ha·r), Górnej Wisły (21,62 kg/ha·r) oraz Dunajca (21,10 kg/ha·r), Skawy (20,60 kg/ha·r) i Pilicy (18,72 kg/ha·r).

Największym ładunkiem związków kwasotwórczych w **dorzeczu Odry** obciążona była zlewnia Bystrzycy (22,93 kg/ha·r), Nysy Kłodzkiej (21,51 kg/ha·r), Warty środkowej do Szamotuł (20,59 kg/ha·r), Widawy (20,07 kg/ha·r), Oławy (20,03 kg/ha·r), Kaczawy i Baryczy (po 19,88 kg/ha·r), Bobru (19,86 kg/ha·r), a w drugiej kolejności zlewnie: Ślęży (19,80 kg/ha·r), Warty górnej do Sieradza (19,68 kg/ha·r), Widawki (19,48 kg/ha·r), Prosnicy (19,39 kg/ha·r), Stobrawy (19,35 kg/ha·r), Kłodnicy (19,00 kg/ha·r), Małej Panwi (18,72 kg/ha·r) i Olzy (18,25 kg/ha·r) oraz Obry (17,67 kg/ha·r).

Znacznym ładunkiem związków kwasotwórczych obciążona była również zlewnia **Czarnej Orawy** (20,61 kg/ha·r), **Zalewu Szczecińskiego** (18,87 kg/ha·r) i rzeki **Strwiąży** (17,98 kg/ha·r).

Mniej obciążone były zlewnie **rzek Przymorza**: zlewnia Słupi (19,32 kg/ha·r), Łupawy (19,31 kg/ha·r), Parsęty (18,97 kg/ha·r), Wieprzy (18,89 kg/ha·r), Łeby (18,32 kg/ha·r), Regi (18,29 kg/ha·r), Redy (17,66 kg/ha·r) i Raduni (16,68 kg/ha·r).

Zlewnia **Niemna** była obciążona niskim ładunkiem (14,07 kg/ha·r). Zlewnie **Pasłęki i Nogatu** były obciążone przeciętnym ładunkiem (18,09 kg/ha·r), a **Pregoty** jednym z niższych ładunków (15,54 kg/ha·r).



Rysunek 5.8. Wielkości depozycji rocznej związków kwasotwórczych w opadach na powierzchnię poszczególnych zlewni wybranych rzek Polski oraz sumy wysokości opadów na tych zlewniach w 2022 r.

Najmniej obciążone (kolejno rosnąco), były położone na wschodzie i północy kraju zlewnie **dorzecza Wisły**: Wieprza (12,11 kg/ha·r), Bugu (13,00 kg/ha·r), Narwi (13,79 kg/ha·r), Sanu (14,00 kg/ha), Biebrzy (14,10 kg/ha), Wisły środkowej do Włocławka (14,12 kg/ha·r), Brdy (15,31 kg/ha·r), Wisły środkowej do Sanu (15,54 kg/ha·r), Wisłoka (15,91 kg/ha), Noteci (16,15 kg/ha·r), Wkry (16,42 kg/ha·r), Wdy (16,67 kg/ha·r), Wisły dolnej (16,89 kg/ha), Bzury (17,27 kg/ha·r) i Drwęcę (17,66 kg/ha).

Najmniej obciążone (kolejno rosnąco), były położone na północny i zachódzie zlewnie w **dorzeczu Odry**: Odry dolnej (14,91 kg/ha·r), Iny (15,21 kg/ha), Warty dolnej (15,73 kg/ha·r), Wełny (16,00 kg/ha), Odry środkowej do Warty (16,02 kg/ha·r), Nysy Łużyckiej (16,21 kg/ha), Odry górnej do Wrocławia (16,49 kg/ha·r), Drawy (17,27 kg/ha·r) i Gwdy (17,59 kg/ha) (tabela 77, rysunek 86, 87).

W rozkładzie przestrzennym ładunków **siarczanów**, (w przedziale 14,56-10,14 kg/ha·r SO₄), obszar o największych wielkościach obciążeń obejmował zlewnie rzek na południu kraju. Maksimum wielkości depozycji przypadło na zlewnie Łaby (14,56 kg/ha·r SO₄), a następnie (w porządku malejącym) na zlewnie: Bystrzycy, Raby, Nysy Kłodzkiej, Soły, Dunajca, Przemszy, Czarnej Orawy, Górnej Wisły, Skawy, Oławy, Proсны, Widawy, Ślęzy, Kaczawy, Stobrawy, Warty górnej do Sieradza, Baryczy, Bobru, Widawki, Kłodnicy, Warty środkowej do Szamotuł, Małej Panwi, Olzy, Pilicy, Nidy

i Strwiąża. Najmniejsze ładunki siarczanów (5,89-8,00 kg/ha·r SO₄) zanotowano w zlewniach: rzek Przymorza w północnej części kraju: w zlewni Łeby (minimum – 5,89 kg/ha·r SO₄) i (w porządku rosnącym) na północy kraju w zlewni Brdy, Łupawy, Redy, Raduni, Słupi, Wieprza, Odry dolnej, Wdy, Wieprzy, Iny, Gwdy, Bugu, Wełny, Narwi, Noteci Drawy, Warty Dolnej i Niemna.

Największe wartości ładunków **chlorków** (w przedziale 10,58-7,07 kg/ha·r Cl), odnotowano w 2022 roku w północnej części kraju w zlewniach rzek Przymorza dla rzeki Łupawy (maksimum – 10,58 kg/ha·r Cl), a dalej (w porządku malejącym) w zlewniach: Łeby, Słupi, Wieprzy, Redy, Parsęty, Zalewu Szczecińskiego, Gwdy, Regi, Raduni, Przemszy, Warty środkowej do Szamotuł, Wdy, Drawy, Pasłęki i Nogatu oraz Brdy. Najmniejsze wielkości ładunków (w przedziale 3,50-5,02 kg/ha·r Cl) wystąpiły na wschodzie kraju w zlewniach: Wieprza (minimum – 3,50 kg/ha·r Cl), a następnie (w porządku rosnącym) w zlewniach: Bugu, Odry górnej do Wrocławia, Wisły środkowej do Włocławka, Sanu, Biebrzy, Niemna, Narwi, Wisły środkowej do Sanu, Wisłoka i Olzy.

Z rozkładu ładunków **sumy azotu pochodzącego z azotynów i azotanów** na obszary zlewni rzek, ustalono występowanie największych ładunków rocznych (3,52-2,60 kg/ha·r N) w rejonie południowej Polski w zlewni Łaby (maksimum – 3,52 kg/ha·r N), a dalej (w porządku malejącym) w zlewniach: Bystrzycy, Nysy Kłodzkiej, Bobru, Kaczawy, Oławy, Ślęzy, Górnej Wisły, Stobrawy, Przemszy, Olzy i Widawy. Najmniejsze ładunki azotu azotynowego i azotanowego (1,55-2,00 kg/ha·r N), zostały wprowadzone na wschodnim i północnym obszarze kraju w zlewni Wieprza (minimum – 1,55 kg/ha·r N), a następnie (w porządku rosnącym) w zlewniach: Bugu, Narwi, Wełny, Pregoty, Sanu, Niemna, Biebrzy, Wisły środkowej do Włocławka, Brdy, Wkry, Wisłoka, Odry dolnej, Wisły środkowej do Sanu, Noteci, Iny i Raduni oraz Czarnej Orawy.

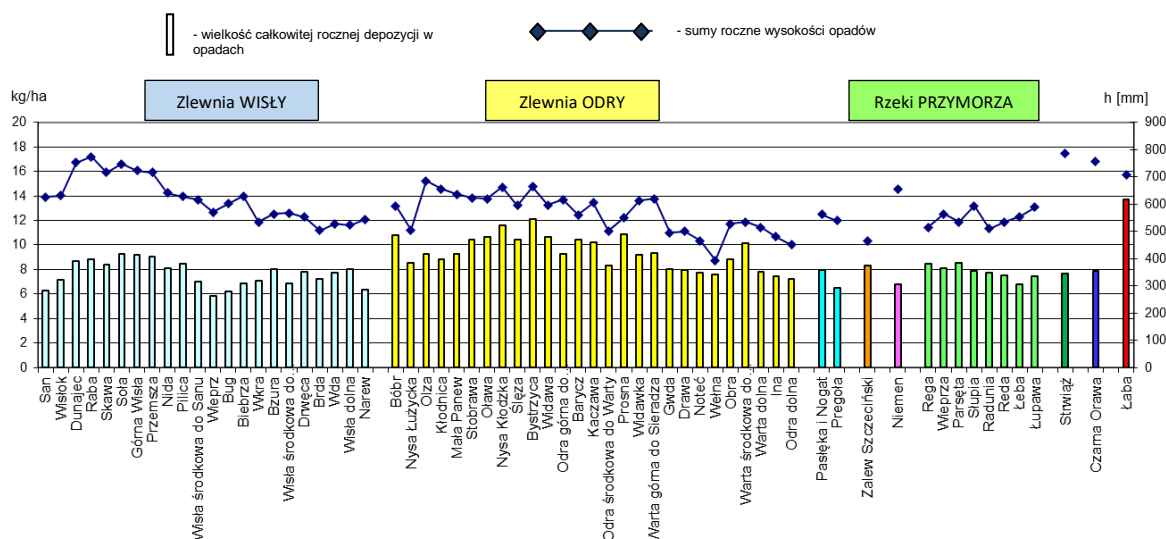
W przypadku **azotu amonowego** największe obciążenie, w przedziale 6,64-4,05 kg/ha·r N, wystąpiło na południu kraju w zlewni Łaby (maksimum – 6,64 kg/ha·r N), a dalej (w porządku malejącym) w zlewniach: Bystrzycy, Nysy Kłodzkiej, Bobru, Oławy, Olzy, Stobrawy, Odry górnej do Wrocławia, Ślęzy, Widawy, Prosnego, Kaczawy, Górnej Wisły, Małej Panwi, Kłodnicy, Soły, Przemszy, Baryczy, Warty górnej do Sieradza, Widawki i Warty środkowej do Szamotuł oraz Pilicy. Najmniejsze obciążenie (w przedziale 2,28-2,90 kg/ha·r N) wystąpiło na północy kraju w zlewni Łeby (minimum dla zlewni – 2,28 kg/ha·r N), a następnie (w porządku rosnącym) w zlewniach: Łupawy, Redy, Brdy, Raduni, Wieprza, Słupi, Wełny, Sanu, Wdy, Pregoty, Narwi, Zalewu Szczecińskiego i Bugu oraz Odry dolnej.

Obciążenie obszaru Polski **związkami biogennymi** (N_{og.} + P_{og.}), wniesionymi do podłoża z opadami atmosferycznymi, było bardzo zróżnicowane przestrzennie i zależne głównie od udziału ilościowego azotu ogólnego, który występuje w ilościach wielokrotnie przewyższających fosfor, a obciążenie związkami biogennymi kształtowało się w granicach od 5,850 kg/ha·r w zlewni Wieprza do 13,737 kg/ha·r w zlewni Łaby (rysunek 5.9., rysunek 87).

Największym ładunkiem związków biogennych w 2022 roku, obciążona była **zlewnia Łaby** – 13,737 kg/ha·r, na południu Polski, a nieco niższym w **dorzeczu Odry**

(w porządku malejącym) zlewnie: Bystrzyca – 12,117 kg/ha·r, Nysa Kłodzkiej – 11,621 kg/ha·r, Prosnia – 10,869 kg/ha·r, Bobru – 10,820 kg/ha·r, Widawy – 10,676 kg/ha·r, Oławy – 10,645 kg/ha·r, Ślęzy – 10,427 kg/ha·r, Baryczy – 10,419 kg/ha, Stobrawy – 10,406 kg/ha·r, Kaczawy – 10,200 kg/ha·r, Warta środkowej do Szamotuł – 10,119 kg/ha·r, Warta górnej do Sieradza – 9,336 kg/ha·r, Odry górnej do Wrocławia – 9,292 kg/ha·r, Olzy – 9,272 kg/ha·r, Małej Panwi – 9,262 kg/ha·r, Widawki – 9,209 kg/ha·r, Obry – 8,846 kg/ha·r, Kłodnicy – 8,839 kg/ha·r, Nysy Łużyckiej – 8,549 kg/ha·r i Odry środkowej do Warty – 8,345 kg/ha·r oraz Gwdy – 8,017 kg/ha·r. W dorzeczu Wisły wysokie obciążenie związkami biogennymi stwierdzono w zlewniach: Soły – 9,291 kg/ha·r, a dalej jednym z większych ładunków związków biogennych, została obciążona zlewnia rzeki Górnej Wisły – 9,208 kg/ha·r i (w porządku malejącym) zlewnie Przemszy – 9,055 kg/ha·r, Raby – 8,808 kg/ha·r, Dunajca – 8,712 kg/ha·r, Pilicy – 8,440 kg/ha·r, Skawy – 8,392 kg/ha·r, Nidy – 8,082 kg/ha·r i Wisły dolnej – 8,060 kg/ha·r oraz Bzury – 8,647 kg/ha·r.

Znacznie obciążona była również zlewnia **Zalewu Szczecińskiego** – 8,321 kg/ha·r, a mniejsze obciążenie stwierdzono dla zlewni: rzeki **Czarnej Orawy** – 7,902 kg/ha·r i **Strwiąża** – 7,651 kg/ha·r oraz **Pasłęka i Nugatu** – 7,927 kg/ha·r. Jedne z najmniejszych obciążeń stwierdzono dla zlewni: **Niemna** – 6,792 kg/ha·r oraz **Pregoty** – 6,492 kg/ha·r, a w zlewniach rzek **Przymorza** większy ładunek zdeponowano w zlewni Parsęty – 8,529 kg/ha·r, a następnie (w porządku malejącym) Regi – 8,456 kg/ha·r, Wieprzy – 8,102 kg/ha·r, a mniejszy w Słupi – 7,891 kg/ha·r, Raduni – 7,754 kg/ha·r, Redy – 7,502 kg/ha·r i Łupawy – 7,460 kg/ha·r oraz najmniejszy w zlewni Łeby – 6,805 kg/ha·r.



Rysunek 5.9. Wielkości depozycji rocznej związków biogennych w opadach na powierzchnię poszczególnych zlewni wybranych rzek Polski oraz sumy wysokości opadów w 2022 r.

Najmniejsze ładunki związków biogennych w 2022 roku zdeponowano w dorzeczu Wisły w zlewni Wieprza – 5,850 kg/ha·r, a następnie (w porządku rosnącym) w zlewniach: Bugu – 6,219 kg/ha·r, Sanu – 6,295 kg/ha·r, Narwi – 6,352 kg/ha·r, Biebrzy – 6,858 kg/ha·r, Wisły środkowej do Włocławka – 6,866 kg/ha·r, Wisły środkowej do Sanu – 7,038 kg/ha·r,

Wkry – 7,078 kg/ha·r, Wisłoka – 7,1129 kg/ha·r, Brdy – 7,240 kg/ha·r. W dorzeczu Wisły niskie ładunki związków biogenych otrzymały również zlewnie: Wdy – 7,771 kg/ha·r oraz Drwęcy – 7,812 kg/ha·r.

W dorzeczu Odry niskie ładunki związków biogenych (w porządku rosnącym) stwierdzono w zlewniach: Odry dolnej – 7,239 kg/ha·r, Iny – 7,453 kg/ha·r, Wełny – 7,584 kg/ha·r, Noteci – 7,745 kg/ha·r i Warty dolnej – 7,806 kg/ha·r oraz Drawy – 7,960 kg/ha·r.

Obszar o największych ładunkach **azotu ogólnego** (12,77-9,03 kg/ha·r N), obejmuje, głównie południe Polski, w tym zlewnie: Łaby (z maksimum wartości 12,77 kg/ha·r N) oraz (w porządku malejącym) w dorzeczu Odry zlewnie rzek: Bystrzycy, Nysy Kłodzkiej, Prosny, Widawy, Oławy, Bobru i Stobrawy oraz Baryczy. Ładunki poniżej 10,00 kg/ha·r N wystąpiły na obszarze zlewni Ślęzy, Warty środkowej do Szamotuł, Kaczawy, Olzy, Warty górnej do Sieradza, Odry górnej do Wrocławia i Soły oraz Małej Panwi. Najmniejsze wielkości ładunków azotu ogólnego (5,72-7,00 kg/ha·r N), wystąpiły na wschodzie i północy kraju w zlewni Wieprza (z minimum wartości 5,72 kg/ha·r N), a następnie (w porządku rosnącym) Bugu, Sanu, Narwi, Pregoły, Niemna, Łeby, Biebrzy, Wisła Środkowa do Włocławka, Wisły środkowej do Sanu, Wkry, Odry dolnej i Wisłoka oraz Brdy.

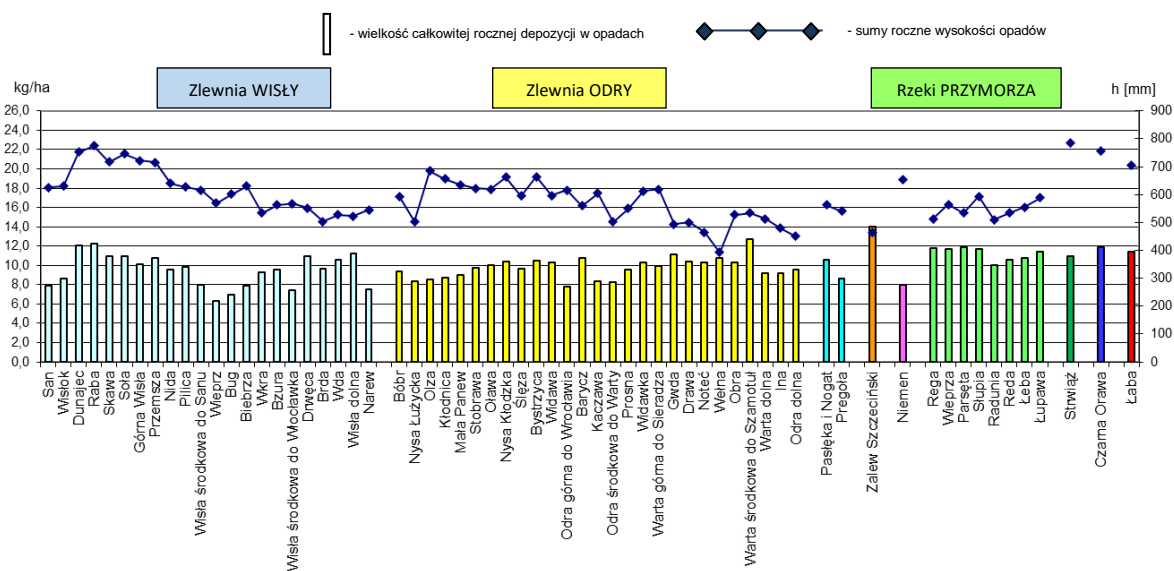
W rozkładzie przestrzennym **fosforu ogólnego** największe ładunki (0,967-0,310 kg/ha·r P) wystąpiły na południu kraju w zlewniach: Łaby (z maksimum – 0,967 kg/ha·r P) i (w porządku malejącym) Bobru, Bystrzycy, Nysy Kłodzkiej, Kaczawy, Ślęzy, Oławy, Baryczy, Nysy Łużyckiej. Ładunki poniżej 0,400 kg/ha·r P wystąpiły na obszarze zlewni Widawy, Warty środkowej do Szamotuł, Warty dolnej, Obry, Odry środkowej do Warty, Prosny, Wełny, Regi, Stobrawy, Raduni i Iny oraz Drawy. Najmniejsze wielkości (0,130-0,240 kg/ha·r P) stwierdzono we wschodniej części kraju w zlewniach Wieprza (minimum wartości 0,130 kg/ha·r P), a następnie (w porządku rosnącym) w zlewni Sanu, Łeby, Bugu, Niemna, Wisły środkowej do Włocławka, Wisły środkowej do Sanu, Pregoły, Biebrzy, Olzy, Narwi i Wisłoka oraz Łupawy, a ładunki powyżej 0,190 kg/ha·r P, Czarnej Orawy, Wkry, Kłodnicy i Nidy oraz Pilicy. Ładunki powyżej 0,210 kg/ha·r P wystąpiły na obszarze zlewni Strwiąża, Skawy, Górnej Wisły, Odry górnej do Wrocławia, Przemszy, Bzury, Soły, Słupi, Drwęcy, Małej Panwi i Raby oraz Brdy.

Obciążenie obszaru wybranych zlewni **metalami lekkimi** (metalami alkalicznymi: Na i K, metalami ziem alkalicznych: Ca, Mg), wniesionymi do podłoża z opadami atmosferycznymi, było bardzo zróżnicowane przestrzennie i zależne głównie od udziału wapnia, a w drugiej kolejności sodu, który występowały w większych ilościach niż potas i magnez, a kształtowało się w granicach od 6,35 kg/ha·r w zlewni Wieprza do 14,02 kg/ha·r w zlewni Zalewu Szczecińskiego (rysunek 5.10., rysunek 87).

Największym ładunkiem **metali lekkich** w 2022 roku, obciążona była **zlewnia** Zalewu Szczecińskiego – 14,02 kg/ha·r. W **dorzeczu Odry** wysokie obciążenie metalami lekkimi stwierdzono w zlewniach: Warty środkowej do Szamotuł – 12,71 kg/ha·r, Gwdy – 11,13 kg/ha·r, Baryczy i Wełny – po 10,73 kg/ha·r, Bystrzycy – 10,47 kg/ha·r, Drawy – 10,41 kg/ha·r, Nysy Kłodzkiej – 10,36 kg/ha·r, Widawy – 10,35 kg/ha·r, Obry

– 10,31 kg/ha·r, Widawki – 10,26 kg/ha·r, Oławy – 9,99 kg/ha·r, Warty górnej do Sieradza – 9,93 kg/ha·r, Stobrawy – 9,74 kg/ha·r i Ślezy – 9,67 kg/ha·r oraz Odry dolnej – 9,59 kg/ha·r.

W dorzeczu Wisły wysokie obciążenie metalami lekkimi stwierdzono w zlewniach: Raby – 12,22 kg/ha·r, a dalej Dunajca – 12,08 kg/ha·r, Wisły dolnej – 11,27 kg/ha·r, Drwęcy – 11,00 kg/ha·r, Skawy – 10,97 kg/ha·r, Soły – 10,93 kg/ha·r, Przemszy – 10,75 kg/ha·r, Wdy – 10,61 kg/ha·r i Noteci – 10,26 kg/ha·r oraz Górnej Wisły – 10,09 kg/ha·r.



Rysunek 5.10. Wielkości całkowitej depozycji rocznej metalami lekkimi w opadach na powierzchnię zlewni wybranych rzek Polski oraz roczne wysokości opadów w 2022 r.

Obciążenie metalami lekkimi w 2022 roku, w **zlewniach rzek Przymorza** było znaczące i wynosiło w zlewni rzeki Raduni – 10,05 kg/ha·r, Łeby – 10,73 kg/ha·r, Łupawy – 11,46 kg/ha·r, Redy – 10,56 kg/ha·r, Wieprzy – 11,65 kg/ha·r, Słupi – 11,68 kg/ha·r, Regi – 11,77 kg/ha·r, a do 11,90 kg/ha·r w zlewni Parsęty.

Znaczne obciążenie stwierdzono dla zlewni rzek: **Czarnej Orawy** – 11,88 kg/ha·r, **Łaby** – 11,40 kg/ha·r, **Strwiąży** – 10,92 kg/ha·r oraz **Pasłęki i Nogatu** – 10,580 kg/ha·r i **Pregoly** – 8,60 kg/ha·r, a ponadto **Niemna** – 8,03 kg/ha·r.

Najmniejsze ładunki w dorzeczu Wisły zdeponowano w zlewniach: Wieprza – 6,35 kg/ha·r, Bugu – 6,98 kg/ha·r, Wisły środkowej do Włocławka – 7,41 kg/ha·r, Narwi – 7,56 kg/ha·r, Sanu – 7,85 kg/ha·r, Biebrzy – 7,93 kg/ha·r, Wisły środkowej do Sanu – 7,97 kg/ha·r, Wisłoka – 8,61 kg/ha·r, Małej Panwi – 8,99 kg/ha·r, Wkry – 9,29 kg/ha·r, Nidy – 9,52 kg/ha·r, Bzury – 9,56 kg/ha·r i Brdy – 9,63 kg/ha·r oraz Pilicy – 9,81 kg/ha·r.

Najmniejsze ładunki w dorzeczu Odry, zdeponowano w zlewniach: Odry górnej do Wrocławia – 7,78 kg/ha·r, Odry środkowej do Warty – 8,22 kg/ha·r, Kaczawy – 8,32 kg/ha·r, Nysy Łużyckiej – 8,40 kg/ha·r, Olzy – 8,52 kg/ha·r, Kłodnicy – 8,77 kg/ha·r, Warty dolnej – 9,16 kg/ha·r, Iny – 9,23 kg/ha·r, a następnie Bobru – 9,40 kg/ha·r i Prosnicy – 9,57 kg/ha·r.

Największe wartości ładunków **sodu** (5,32-3,50 kg/ha·r) stwierdzono w północnej Polsce, w zlewniach rzek Przymorza: Łupawy (maksimum – 5,32 kg/ha·r), (w porządku malejącym) Łeby, Słupi, Wieprzy, Redy i na południu kraju – Łaby oraz ponownie na północy kraju Parsęty, Raduni, Gwdy i Regi, Pasłęki i Nogatu, a ponadto Zalewu Szczecińskiego, Wdy, Drawy, na południu Bobru i Czarnej Orawy oraz Raby. Obszary najmniejszych ładunków sodu (1,76-2,80 kg/ha·r) obejmują zlewnie Wieprza (minimum – 1,76 kg/ha·r) i (w porządku rosnącym) położonej na południu kraju zlewni Odry górnej do Wrocławia i położone we wschodniej części kraju zlewnie: Bugu, Sanu, Wisły środkowej do Włocławka, Biebrzy, Niemna, Wisły środkowej do Sanu, Olzy, Narwi, zlewnie Wisłoka, Proсны, Małej Panwi, Kłodnicy, Stobrawy, Widawy, Nidy i Strwiąża oraz Bzury.

Największe wielkości ładunków **potasu** (3,11-2,40 kg/ha·r), wystąpiły w centrum kraju w zlewni: Warty środkowej do Szamotuł (maksimum – 3,11 kg/ha·r), a następnie (w porządku malejącym) na północy kraju w zlewni Wełny, na południu w zlewni Dunajca i Raby oraz dalej na północy w zlewni Zalewu Szczecińskiego, Gwdy, Parsęty i Wieprzy, a ponadto na południu w zlewniach Baryczy i Czarnej Orawy oraz Strwiąża. Najmniejsze wielkości ładunków potasu (0,98-1,50 kg/ha·r) wystąpiły na wschodzie Polski w zlewniach: Niemna (minimum – 0,98 kg/ha·r), (w porządku rosnącym), Biebrzy, Pregoty, Wieprza, Narwi, Bugu, Wisły środkowej do Włocławka, Wkry, Nysy Łużyckiej, Odry środkowej do Warty i Kaczawy oraz Odry górnej do Wrocławia.

Rozkład ładunków **wapnia** na obszarze Polski, charakteryzował się wystąpieniem największych rocznych wielkości (6,82-4,61 kg/ha·r) na północy kraju w zlewni Zalewu Szczecińskiego (maksimum – 6,82 kg/ha·r), (w porządku malejącym) w centrum kraju w zlewni Warty środkowej do Szamotuł oraz Wisły dolnej, a dalej Raby i Dunajca, Drwęcy, Czarnej Orawy, Regi, Soły, Skawy, Przemszy, Baryczy, Widawy, Strwiąża, Nysy Kłodzkiej i Górnej Wisły oraz Widawki i Stobrawy. Najmniejsze wartości (2,69-3,70 kg/ha·r) stwierdzono w części północnej kraju w zlewni rzeki Łeby (minimum – 2,69 kg/ha·r), (w porządku rosnącym) Wieprza, Łupawy, Kaczawy, Bugu, Redy, Nysy Łużyckiej, Odry środkowej do Warty, Raduni, Sanu, Brdy, Bobru, Słupi, Wisły środkowej do Włocławka i Narwi oraz Wisły środkowej do Sanu.

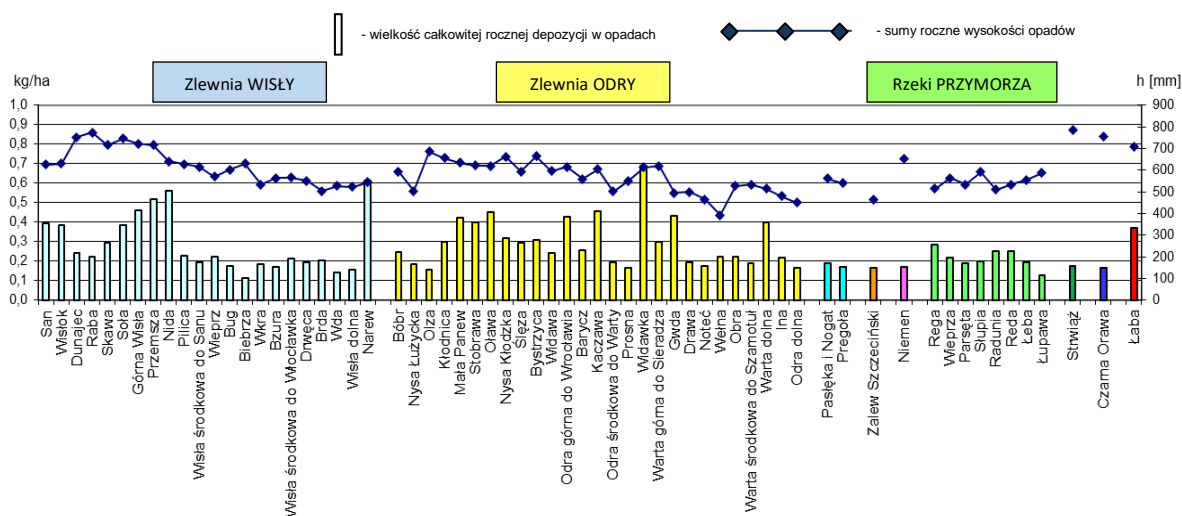
Najwyższe ładunki roczne w przypadku **magnezu** (1,07-0,73 kg/ha·r), wystąpiły w południowej Polsce w zlewni: Strwiąża (maksimum – 1,07 kg/ha·r), a następnie (w porządku malejącym) w zlewniach: Dunajca, Raby, Zalewu Szczecińskiego, Łupawy, Łaby, Łeby, Wisły dolnej, Drwęcy, Czarnej Orawy, Słupi, Wieprzy, Warty środkowej do Szamotuł, Pasłęki i Nogatu oraz Niemna i Skawy. Najmniejsze ładunki magnezu (0,45-0,60 kg/ha·r) obciążały zlewnie Odry górnej do Wrocławia (minimum – 0,45 kg/ha·r), a następnie (w porządku rosnącym) obciążały zlewnie: Wieprza, Olzy, Odry środkowej do Warty, Bugu, Kłodnicy, Nysy Łużyckiej, Warty dolnej, Małej Panwi, Wisły środkowej do Włocławka, Kaczawy, Iny, Brdy, Odry dolnej, Stobrawy, Proсны, a dalej zlewnie Wełny oraz Ślęzy i Narwi.

Obciążenie ładunkiem **metali ciężkich** (Zn, Cu, Pb, Cd, Ni, Cr) w 2022 roku, na terenach zlewni wybranych rzek, kształtowało się w granicach od 0,11395 kg/ha·r w zlewni Biebrzy do 0,69001 kg/ha·r w zlewni Widawki (rysunek 5.11., rysunek 87).

Rozkład sum metali ciężkich nie odbiega istotnie od rozkładu ładunków cynku, którego ilość w sumie metali ciężkich była przeważająca i wynosiła około 84,7%. **W dorzeczu Wisły** wysokie obciążenie metalami ciężkimi stwierdzono w zlewniach: Narwi – 0,61321 kg/ha·r, a następnie (w porządku malejącym) Nidy – 0,56055 kg/ha·r, Przemszy – 0,52023 kg/ha·r, Górnej Wisły – 0,46023 kg/ha·r, Sanu – 0,39677 kg/ha·r, Soły – 0,38754 kg/ha·r, Wisłoka – 0,38537 kg/ha·r, Skawy – 0,29262 kg/ha·r, Dunajca – 0,24126 kg/ha·r, Pilicy – 0,22766 kg/ha·r i Wieprza – 0,22286 kg/ha·r, oraz Raby – 0,22223 kg/ha·r.

W dorzeczu Odry wysokie obciążenie metalami stwierdzono w zlewniach: Widawki (z maksimum – 0,69001 kg/ha·r), Kaczawy – 0,45441 kg/ha·r, Oławy – 0,44952 kg/ha·r, Gwdy – 0,43060 kg/ha·r, Odry górnej do Wrocławia – 0,42851 kg/ha·r, Małej Panwi 0,42404 kg/ha·r, Stobrawy – 0,39882 kg/ha·r, Warty dolnej – 0,39720 kg/ha·r, Nysy Kłodzkiej – 0,31884 kg/ha·r, Bystrzycy – 0,31146 kg/ha·r, Warty górnej do Sieradza – 0,30155 kg/ha·r, Kłodnicy – 0,30106 kg/ha·r, Ślęzy – 0,29339 kg/ha·r, Baryczy – 0,25740 kg/ha·r, Bobru – 0,24844 kg/ha·r, Widawy – 0,24194 kg/ha·r i Welny – 0,22514 kg/ha·r oraz Obry – 0,22504 kg/ha·r.

Jedne z niższych ładunki sumaryczne metali ciężkich odnotowano w zlewni **Strwiąża** – 0,17445 kg/ha·r, **Niemna** – 0,16971 kg/ha·r, **Pregoly** – 0,16877 kg/ha·r, **Zalewu Szczecińskiego** – 0,16604 kg/ha·r oraz **Czarnej Orawy** – 0,16550 kg/ha·r.



Rysunek 5.11. Wielkości depozycji rocznej metali ciężkich w opadach na powierzchnię poszczególnych zlewni wybranych rzek Polski oraz sumy wysokości opadów w 2022 r.

Zróżnicowane – zarówno jedne z najmniejszych jak i wyższe wielkości ładunków metali ciężkich występowały w zlewniach rzek Przymorza na północy Polski w zlewni Łupawy – 0,12664 kg/ha·r, (w porządku rosnącym) Parsęty – 0,19094 kg/ha·r, Łeby – 0,19687 kg/ha·r, Słupi – 0,19847 kg/ha·r, Wieprzy – 0,21937 kg/ha·r, Redy – 0,25229 kg/ha·r i Raduni – 0,25353 kg/ha·r oraz Regi – 0,28333 kg/ha·r.

W dorzeczu Wisły najniższe obciążenie metalami ciężkimi stwierdzono w zlewniach: Biebrzy (z minimum – 0,11395 kg/ha·r), a następnie (w porządku rosnącym) Wdy – 0,14236 kg/ha·r, Wisły dolnej – 0,15797 kg/ha·r, Niemna – 0,16971 kg/ha·r, Bzury – 0,17084 kg/ha·r, Bugu – 0,17558 kg/ha·r, Noteci – 0,17642 kg/ha·r, Wkry

– 0,18619 kg/ha·r, Wisły środkowej do Sanu – 0,19334 kg/ha·r, Drwęcy – 0,19696 kg/ha·r i Brdy – 0,20305 kg/ha·r oraz Wisły środkowej do Włocławka – 0,21601 kg/ha·r (rysunek 5.11., rysunek 87).

W dorzeczu Odry, najniższe obciążenie metalami ciężkimi stwierdzono w zlewniach: Olzy – 0,15782 kg/ha·r, a następnie (w porządku rosnącym) Odry dolnej – 0,16746 kg/ha·r, Prosny – 0,16821 kg/ha·r, Nysy Łużyckiej – 0,18709 kg/ha·r, Warty środkowej do Szamotuł – 0,19149 kg/ha·r, Odry środkowej do Warty – 0,19361 kg/ha·r i Drawy – 0,19526 kg/ha·r oraz Iny – 0,22093 kg/ha·r.

Największe ładunki **cynku** (0,6590-0,3013 kg/ha·r) odnotowano w zlewniach: Widawki (z maksimum – 0,6590 kg/ha·r) oraz (w porządku malejącym), Narwi, na południu kraju Nidy, Przemszy, Górnej Wisły, Odry górnej do Wrocławia, Oławy, Gwdy, Małej Panwi, Kaczawy, Stobrawy, Wisłoka, Sanu, Warty dolnej i na południu Soły oraz Łaby. Najmniejsze wielkości ładunków cynku (0,0929-0,1405 kg/ha·r) występowały na północy kraju w zlewniach: Biebrzy (z minimum – 0,0929 kg/ha·r) i (w porządku rosnącym) Łupawy, Zalewu Szczecińskiego, Wdy, Strwiąża, Odry dolnej, Wisły dolnej, Olzy, Prosny, Odry środkowej do Warty, Czarnej Orawy, Noteci, Warty środkowej do Szamotuł i Nysy Łużyckiej oraz Parsęty.

Najwyższe obciążenie **miedzią** (0,0714-0,0440 kg/ha·r) stwierdzono w części południowej kraju w zlewniach rzek: Bystrzycy (z maksimum – 0,0714 kg/ha·r), a następnie (w porządku malejącym) Kaczawy, Strwiąża, Zalewu Szczecińskiego, Łaby, Ślęzy, Baryczy, Obry, Regi, Odry środkowej do Warty, Nysy Kłodzkiej, Warty środkowej do Szamotuł, Oławy, Bobru, Warty dolnej, Drawy, Widawy, Iny i Parsęty oraz Odry dolnej. Najmniejsze ładunki miedzi (0,0156-0,0210 kg/ha·r) wystąpiły we wschodniej i północnej części kraju w zlewniach: Pregoły (minimum – 0,0156 kg/ha·r) i (w porządku rosnącym) Niemna, Pilicy, Narwi, Biebrzy, Wisły środkowej do Włocławka, Wkry i Wieprza oraz Bugu.

Największe obciążenie **ołowiem** (0,01916 -0,00585 kg/ha·r) stwierdzono w części południowej kraju w zlewniach rzek: Kaczawy (z maksimum – 0,01916 kg/ha·r), a następnie (w porządku malejącym) Bystrzycy, Łaby, Ślęzy, Bobru, Nysy Kłodzkiej, Odry środkowej do Warty, Oławy, Baryczy i Przemszy oraz Górnej Wisły. Najmniejsze wielkości ładunków ołowiu (0,00023-0,00100 kg/ha·r) wystąpiły w północnej Polsce w zlewniach: Niemna (z minimum – 0,00023 kg/ha·r), a następnie (w porządku rosnącym) Biebrzy, Pregoły, Narwi, Wkry, Drwęcy, Pasłęki i Nogatu, Bzury i Bugu oraz Wisły dolnej.

Najwyższe ładunki **kadm** (0,00235-0,00090 kg/ha·r) wystąpiły głównie w południowej części kraju w zlewniach rzek: Strwiąża (z maksimum – 0,00235 kg/ha·r), a następnie (w porządku malejącym) Przemszy, Górnej Wisły, Soły, Kłodnicy, Sanu, Olzy, Skawy, Małej Panwi, Raby, Warty górnej do Sieradza i Wisłoka oraz Dunajca. Najmniejsze wielkości ładunków kadmu (0,00015- 0,00035 kg/ha·r) stwierdzono we wschodniej i północnej części kraju w zlewniach: Niemna (z minimum – 0,00015 kg/ha·r), (w porządku rosnącym) Biebrzy, Brdy, Welny, Łeby, Warty dolnej, Łupawy, Noteci, Gwdy, Słupi oraz Drawy, Obry i Wieprzy.

Obszary o najwyższych ładunkach **niklu** (0,00397-0,00315 kg/ha·r) zlokalizowane były głównie na południu i zachodzie kraju w zlewniach: Pilicy (z maksimum

– 0,00397 kg/ha·r) i (w porządku malejącym) Widawki, Bystrzycy, Kaczawy, Warty środkowej do Szamotuł i Nidy, Raduni i Baryczy, Proсны oraz Widawy. Najmniejszy ładunek niklu (0,00093-0,00200 kg/ha·r) zlokalizowano na północy i na wschodzie kraju w zlewniach: Niemna (z minimum – 0,00093 kg/ha·r), (w porządku rosnącym) Biebrzy, Pregoły, Narwi, Bugu, Brdy, Iny, Odry górnej do Wrocławia, Odry dolnej, Wieprza i Warty dolnej oraz Olzy.

Obszary najbardziej obciążone ładunkami **chromu** (0,00106-0,00081 kg/ha·r) były zlokalizowane głównie na południu w zlewniach: Bystrzycy (z maksimum – 0,00106 kg/ha·r) i (w porządku malejącym) Przemszy, Łaby, Kaczawy, Górnej Wisły, Soły, Ślęzy, Proсны, Baryczy, Nysy Kłodzkiej, Widawy, Oławy i Bobru oraz Strwiąża. Najmniejsze wielkości ładunków chromu (0,00039-0,00051 kg/ha·r) stwierdzono w położonych na północy kraju zlewniach: Pregoły (z minimum – 0,00039 kg/ha·r) oraz (w porządku rosnącym) Niemna, Biebrzy, Dunajca, Narwi, Wkry, Wisły środkowej do Włocławka, Wełny, Wieprza, Odry górnej do Wrocławia, Łeby, Wisłoka, Pilicy i Bzury oraz Iny.

Na podstawie przestrzennego rozkładu rocznych ładunków **wolnych jonów wodorowych**, na obszarze Polski stwierdzono występowanie największego obciążenia (0,02341-0,01300 kg/ha·r H⁺) na południu kraju w zlewniach: Kaczawy (z maksimum wartości – 0,02341 kg/ha·r H⁺) i (w porządku malejącym) Bystrzycy, Łaby, Bobru, Ślęzy, Odry środkowej do Warty, Nysy Kłodzkiej, Łupawy, Łeby, Warty dolnej i Nysy Łużyckiej oraz Oławy. Najmniejsze wielkości roczne ładunków jonów wodorowych (0,00498-0,00700 kg/ha·r H⁺) zostały wprowadzone, przez opady atmosferyczne w północnej i wschodniej części Polski, w zlewniach: Niemna (z minimum wartości – 0,00498 kg/ha·r H⁺) i (w porządku rosnącym) Biebrzy, Strwiąża, Wełny, Pregoły, Narwi, Dunajca, Wkry, Drwęcy, Bzury, Wisły dolnej, Olzy, Czarnej Orawy, Raby i Pilicy oraz Kłodnicy (tabela 77, rysunek 86, 87).

Podsumowanie

Roczna depozycja z opadem na powierzchnię województw i zlewni rzek

Przedstawione w tabelach i na rysunkach, wielkości średnich rocznych ładunków jednostkowych substancji dla poszczególnych województw i zlewni pozwalają stwierdzić, że w 2022 r. **największa depozycja badanych substancji** z atmosfery została wprowadzona przez opady na **tereny województw**:

- wielkopolskiego (39,35 kg/ha·r), gdzie zostały wprowadzone czwarte z największych ładunki związków kwasotwórczych i drugie metali ciężkich, trzecie związków biogennych i najwyższe ładunki metali lekkich, w tym: największe wartości średnich rocznych ładunków jednostkowych potasu,
- dolnośląskiego (38,45 kg/ha·r), gdzie zostały wprowadzone największe ładunki związków kwasotwórczych i związków biogennych, w tym: największe wartości średnich rocznych ładunków jednostkowych azotu azotynowego i azotanowego,

azotu amonowego, azotu ogólnego i fosforu ogólnego, miedzi, ołowiu i chromu oraz wolnych jonów wodorowych;

- małopolskiego (37,87 kg/ha·r), gdzie zostały wprowadzone trzecie z najwyższych ładunki związków kwasotwórczych i metali lekkich, w tym: największe wartości średnich rocznych ładunków jednostkowych siarczanów i magnezu, a ponadto wystąpiły najwyższe sumy roczne wysokości opadów;
- śląskiego (37,02 kg/ha·r), gdzie zostały wprowadzone drugie z najwyższych ładunki związków kwasotwórczych i czwarte z najwyższych ładunki związków biogennych i najwyższe ładunki metali ciężkich, w tym: największe wartości średnich rocznych ładunków jednostkowych cynku i kadmu, a ponadto wystąpiły drugie z najwyższych sumy roczne wysokości opadów;
- łódzkiego (35,71 kg/ha·r), gdzie zostały wprowadzone piąte z najwyższych ładunki związków kwasotwórczych i związków biogennych oraz szóste z najwyższych ładunki metali lekkich i czwarte metali ciężkich, w tym: największe wartości średnich rocznych ładunków jednostkowych niklu;
- zachodniopomorskiego (35,02 kg/ha·r), gdzie zostały wprowadzone siódme z najwyższych ładunki związków kwasotwórczych i drugie z najwyższych ładunki metali alkalicznych oraz ósme metali ciężkich, a ponadto wystąpiły drugie z najniższych sumy roczne wysokości opadów.

Najmniejszy depozyt badanych substancji z atmosfery został wprowadzony przez opady na tereny województw:

- lubelskiego (22,91 kg/ha·r), gdzie zostały wprowadzone najmniejsze ładunki związków kwasotwórczych, biogennych i metali alkalicznych oraz trzecie z najniższych ładunków metali ciężkich, w tym: najniższe w porównaniu z innymi województwami ładunki jednostkowe chlorków, azotu azotynowego i azotanowego, azotu ogólnego, fosforu ogólnego, sodu, potasu, wapnia i magnezu, a ponadto wystąpiły ósme z najniższych sumy roczne wysokości opadów;
- podlaskiego (26,76 kg/ha·r), gdzie zostały wprowadzone drugie z najmniejszych ładunki związków kwasotwórczych, trzecie ładunki związków biogennych, i drugie ładunki metali alkalicznych, piąte z najmniejszych ładunki metali ciężkich, w tym: najniższe w porównaniu z innymi województwami ładunki jednostkowe ołowiu, kadmu, niklu oraz wolnych jonów wodorowych, a ponadto wystąpiły trzecie z najwyższych sumy roczne wysokości opadów;
- podkarpackiego (27,01 kg/ha·r), gdzie zostały wprowadzone trzecie z najmniejszych ładunki związków kwasotwórczych, drugie z najmniejszych ładunki związków biogennych i czwarte ładunki metali alkalicznych oraz drugie z największych ładunki metali ciężkich, a ponadto wystąpiły czwarte z najwyższych sumy roczne wysokości opadów;
- lubuskiego (27,64 kg/ha·r), gdzie zostały wprowadzone czwarte z najmniejszych ładunki związków kwasotwórczych, siódme z najmniejszych ładunki związków biogennych i trzecie ładunki metali alkalicznych oraz najmniejsze ładunki metali ciężkich, w tym: najmniejsze ładunki cynku, a ponadto wystąpiły najniższe sumy roczne wysokości opadów;

- mazowieckiego (28,09 kg/ha·r), gdzie zostały wprowadzone piąte z najmniejszych ładunki związków kwasotwórczych i metali alkalicznych oraz czwarte z najmniejszych ładunki związków biogennych i czwarte z najmniejszych ładunki metali ciężkich, a ponadto wystąpiły szóste z najniższych sumy roczne wysokości opadów;
- świętokrzyskiego (29,41 kg/ha·r), gdzie zostały wprowadzone szóste z najmniejszych ładunki związków kwasotwórczych i biogennych oraz metali lekkich, piąte ładunki metali ciężkich, w tym: najniższe w porównaniu z innymi województwami ładunki jednostkowe miedzi, a ponadto wystąpiły szóste z najwyższych sumy roczne wysokości opadów.

W odniesieniu do **podziału hydrograficznego** Polski (rysunek 87) **najwyższe wielkości ładunków** wprowadziły opady **na tereny zlewni:**

- Łaby (46,93 kg/ha·r), gdzie zostały wprowadzone najwyższe średnie roczne ładunki sumaryczne wszystkich substancji oraz najwyższe średnie roczne ładunki związków kwasotwórczych i biogennych, jedenaste z najwyższych sumaryczne ładunki metali alkalicznych i szesnaste metali ciężkich, a ponadto wystąpiły dziewiąte z najwyższych sumy rocznych wysokości opadów, w tym: najwyższe w porównaniu z innymi zlewniami ładunki jednostkowe siarczanów, azotu azotynowego i azotanowego, azotu amonowego, azotu ogólnego oraz fosforu ogólnego, a ponadto szóste ładunki jednostkowe z najwyższych w porównaniu z innymi zlewniami ładunki sodu, magnezu, piąte miedzi, trzecie ołowiu, chromu i wolnych jonów wodorowych;
- Bystrzyca (42,62 kg/ha·r), gdzie zostały wprowadzone drugie z najwyższych średnie roczne wielkości ładunków sumarycznych wszystkich substancji oraz drugie z najwyższych, ładunki związków kwasotwórczych i biogennych, a ponadto wystąpiły jedenaste z najwyższych sumy rocznych wysokości opadów, w tym: drugie z największych w porównaniu z innymi zlewniami ładunki jednostkowe siarczanów, azotu azotynowego i azotanowego, azotu amonowego, azotu ogólnego i ołowiu oraz wolnych jonów wodorowych, a ponadto trzecie fosforu ogólnego i niklu;
- Warty środkowej do Szamotuł (41,30 kg/ha·r), gdzie zostały wprowadzone trzecie z najwyższych, średnie roczne ładunki sumaryczne wszystkich substancji oraz jedenaste z najwyższych ładunki związków kwasotwórczych, dwunaste z najwyższych sumaryczne ładunki związków biogennych i drugie ładunki sumaryczne metali alkalicznych, w tym: najwyższe w porównaniu z innymi zlewniami ładunki jednostkowe potasu, drugie z najwyższych ładunki wapnia, piąte niklu, a ponadto jedenaste azotu ogólnego i fosforu ogólnego, dwunaste z najwyższych ładunki chlorków i miedzi, trzynaste magnezu, siedemnaste cynku, osiemnaste azotu pochodzącego od azotynów i azotanów oraz chromu;
- Nysy Kłodzkiej (40,80 kg/ha·r), gdzie zostały wprowadzone czwarte z najwyższych, średnie roczne ładunki sumaryczne wszystkich substancji i siódme z najwyższych ładunki związków kwasotwórczych, trzecie z najwyższych związków biogennych oraz wystąpiły dwunaste z najwyższych sumy rocznych wysokości opadów, a ponadto czwarte z największych w porównaniu z innymi zlewniami ładunki jednostkowe

siarczanów, fosforu ogólnego, trzecie azotu pochodzącego od azotynów i azotanów oraz azotu amonowego i azotu ogólnego, szóste ołowiu, siódme wolnych jonów wodorowych, dziesiąte chromu, jedenaste miedzi, piętnaste wapnia i szesnaste niklu;

- Raby (40,66 kg/ha·r), gdzie zostały wprowadzone piąte najwyższe średnie roczne ładunki sumaryczne wszystkich substancji, piąte z najwyższych ładunki związków kwasotwórczych i trzecie z najwyższych sumaryczne ładunki metali alkalicznych, a ponadto wystąpiły drugie z najwyższych sumy rocznych wysokości opadów, w tym: trzecie w porównaniu z innymi zlewniami ładunki jednostkowe siarczanów i magnezu, czwarte wapnia, piąte potasu, a ponadto dziesiąte kadmu i siedemnaste sodu;
- Przemszy (40,34 kg/ha·r), gdzie zostały wprowadzone szóste z najwyższych średnie roczne ładunki sumaryczne wszystkich substancji oraz trzecie z najwyższych ładunki związków kwasotwórczych, czwarte najwyższe metali ciężkich, a ponadto wystąpiły ósme z najwyższych sumy rocznych wysokości opadów, w tym: drugie z najwyższych, w porównaniu z innymi zlewniami ładunki jednostkowe kadmu i chromu, czwarte ładunki cynku, siódme siarczany, dziesiąte z najwyższych ładunki jednostkowe azotu pochodzącego od azotynów i azotanów oraz ołów, jedenaste chlorków i wapnia, siedemnaste azotu amonowego.

Najniższe wielkości ładunków wprowadziły opady na tereny zlewni:

- Wieprza (22,99 kg/ha·r), gdzie zostały wprowadzone najniższe średnie roczne ładunki sumaryczne wszystkich substancji oraz najniższe ładunki związków kwasotwórczych, biogennych i metali alkalicznych oraz wystąpiły niższe od średniej dla kraju sumy rocznych wysokości opadów, a ponadto najniższe, w porównaniu z innymi zlewniami, ładunki jednostkowe: chlorków, azotu pochodzącego od azotynów i azotanów, azotu ogólnego, fosforu ogólnego, sodu oraz jedno z najniższych, w porównaniu z innymi zlewniami, ładunki jednostkowe: siarczanów, azotu amonowego, potasu, magnezu, miedzi, niklu i chromu;
- Bugu (24,75 kg/ha·r), gdzie zostały wprowadzone drugie z najniższych, średnie roczne ładunki sumaryczne wszystkich substancji oraz drugie z najniższych ładunki związków kwasotwórczych, biogennych i metali alkalicznych oraz czternaste z najniższych sumaryczne ładunki metali ciężkich oraz wystąpiły sumy rocznych wysokości opadów na poziomie średnich dla kraju, a ponadto stwierdzono jedno z najniższych, w porównaniu z innymi zlewniami, ładunki jednostkowe: siarczanów, chlorków, azotu pochodzącego od azotynów i azotanów, azotu amonowego, azotu ogólnego, fosforu ogólnego, sodu, magnezu, miedzi, ołowiu i niklu;
- Narwi (26,64 kg/ha·r), gdzie zostały wprowadzone trzecie z najniższych średnie roczne ładunki sumaryczne wszystkich substancji oraz trzecie z najniższych ładunki związków kwasotwórczych oraz czwarte związków biogennych i metali alkalicznych, ale drugie z najwyższych ładunków metali ciężkich oraz wystąpiły dwudzieste drugie z najniższych sumy rocznych wysokości opadów, a ponadto jedno z najniższych, w porównaniu z innymi zlewniami, ładunki jednostkowe: siarczanów, chlorków, azotu pochodzącego od azotynów i azotanów, azotu amonowego, azotu ogólnego, fosforu

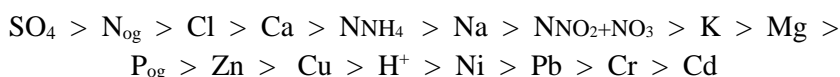
ogólnego, sodu, potasu, magnezu, miedzi, ołowiu, niklu i chromu oraz wolnych jonów wodorowych;

- Wisły środkowej do Włocławka (26,79 kg/ha·r), gdzie zostały wprowadzone czwarte z najniższych, średnie roczne ładunki sumaryczne wszystkich substancji, siódme z najniższych ładunki sumaryczne związków kwasotwórczych, dziewiąte biogennych i trzecie sumaryczne ładunki metali alkalicznych oraz wystąpiły niższe od średnich dla kraju sumy rocznych wysokości opadów, a ponadto jedno z niższych ładunki: chlorków, azotu pochodzącego od azotynów i azotanów, azotu amonowego, azotu ogólnego, fosforu ogólnego, sodu, potasu, magnezu, miedzi i chromu;
- Sanu (26,83 kg/ha·r), gdzie zostały wprowadzone piąte z najniższych, średnie roczne ładunki sumaryczne wszystkich substancji i czwarte z najniższych ładunki sumaryczne związków kwasotwórczych, trzecie związków biogennych, szóste sumaryczne ładunki metali alkalicznych i trzynaste z najwyższych sumaryczne ładunków metali ciężkich oraz wystąpiły wyższe od średnich dla kraju sumy rocznych wysokości opadów, a ponadto w porównaniu z innymi zlewniami, jedno z niższych ładunki jednostkowe: chlorków, azotu pochodzącego od azotynów i azotanów, azotu amonowego, azotu ogólnego, fosforu ogólnego i sodu.

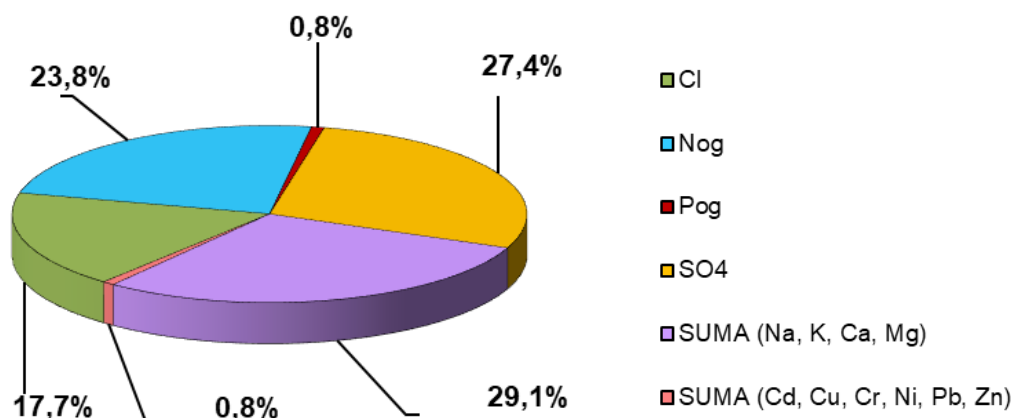
Depozycja poszczególnych składników wprowadzonych z opadem na powierzchnię kraju

Opady atmosferyczne wniosły w 2022 roku na obszar Polski, przy zróżnicowanych wielkościach w zależności od miejsca opadu, następujące ilości substancji: 279 246 ton siarczanów (8,93 kg/ha·r SO₄), 177 616 ton chlorków (5,68 kg/ha·r Cl), 63 792 tony (N) azotu azotynowego i azotanowego (2,04 kg/ha·r N), 107 571 ton (N) azotu amonowego (3,44 kg/ha·r N), 238 594 tony azotu ogólnego (7,63 kg/ha·r N), 8 005,2 tony fosforu ogólnego (0,256 kg/ha·r P), 88 496 ton sodu (2,83 kg/ha·r Na), 55 662 tony potasu (1,78 kg/ha·r K), 127 896 ton wapnia (4,09 kg/ha·r Ca), 19 700 ton magnezu (0,63 kg/ha·r Mg), 6 438,6 tony cynku (0,2059 kg/ha·r Zn), 981,89 tony miedzi (0,0314 kg/ha·r Cu), 72,23 tony ołowiu (0,00231 kg/ha·r Pb), 17,511 tony kadmu (0,00056 kg/ha·r Cd), 76,93 tony niklu (0,00246 kg/ha·r Ni), 18,450 tony chromu ogólnego (0,00059 kg/ha·r Cr) i 276,1 tony wolnych jonów wodorowych (0,00883 kg/ha·r H⁺) (tabele 75, 78, rysunki 86, 88).

Wielkości wprowadzanych substancji maleją zgodnie z szeregiem:

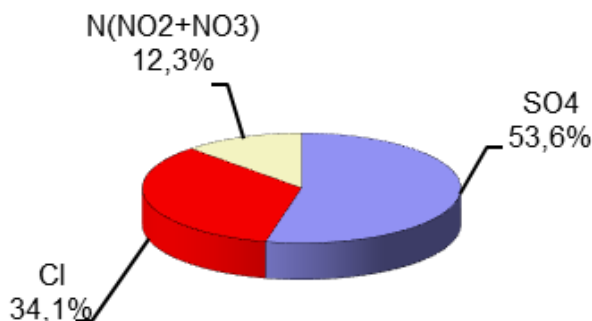


Procentowy udział poszczególnych substancji w sumarycznej depozycji przedstawiono na rysunku 5.12.



Rysunek 5.12. Udział procentowy poszczególnych komponentów wchodzących w skład depozycji rocznej w opadach w 2022 r.

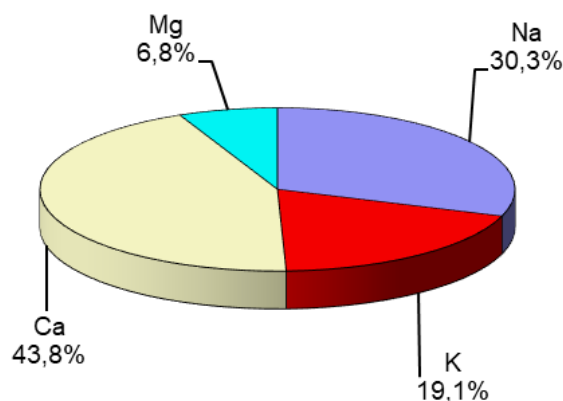
Największy udział ilościowy – 48,8%, w całkowitej depozycji z opadem w 2022 roku, stanowią związki kwasotwórcze. Najistotniejszym ilościowo elementem depozycji wśród jonów wpływających na zakwaszenie opadów, tj. siarczanów, chlorków oraz azotynów i azotanów, jest depozycja siarczanów, która w 2022 roku wystąpiła na poziomie średnio 8,93 kg/ha·r SO₄, a w drugiej kolejności depozycja chlorków – 5,68 kg/ha·r Cl, a następnie azotu azotynowego i azotanowego – 2,04 kg/ha·r N (rysunek 5.13., rysunki 66-68, 84).



Rysunek 5.13. Udział procentowy poszczególnych komponentów wchodzących w skład depozycji rocznej związków kwasotwórczych w opadach w 2022 r.

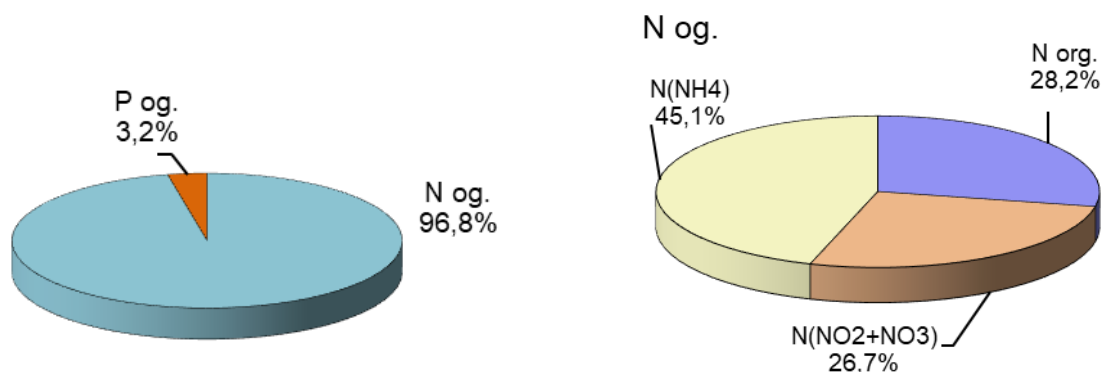
Depozycja wolnych jonów wodorowych będących miarą stopnia zakwaszenia, wyniosła średnio 8,8 g/ha·r H⁺ (rysunki 65, 82-84).

W grupie kationów zasadowych (wapń, magnez, sód, potas), stanowiących 27,3% całkowitej depozycji rocznej z opadami, powodujących neutralizację opadów względem związków kwasotwórczych, największe średnie obciążenie stwierdzono w przypadku wapnia 4,09 kg/ha·r Ca, mniejsze sodu 2,83 kg/ha·r Na i potasu 1,78 kg/ha·r K, a najmniejsze w przypadku magnezu 0,63 kg/ha·r Mg (rysunek 5.14., rysunki 72-75, 84).



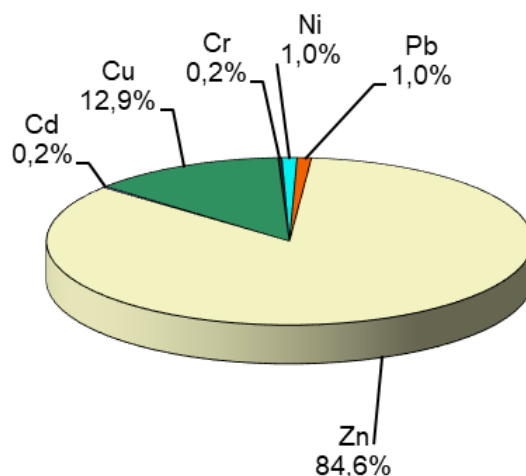
Rysunek 5.14. Udział procentowy poszczególnych komponentów wchodzących w skład depozycji rocznej metali lekkich (metali alkalicznych: Na i K i ziem alkalicznych: Ca i Mg) w opadach w 2022 r.

Depozycja związków biogennych (azotu ogólnego, w tym amonowego oraz fosforu ogólnego) w 2022 roku, stanowiła udział ilościowy 23,1% całkowitej depozycji z opadem, przyczyniając się do zmian warunków troficznych i stymulacji procesu eutrofizacji wód powierzchniowych i kształtowała się średnio na poziomie: 7,63 kg/ha·r N azotu ogólnego, w tym 3,44 kg/ha·r N azotu amonowego i 2,04 kg/ha·r N azotu azotynowego i azotanowego, natomiast depozycja fosforu ogólnego była średnio na poziomie 0,256 kg/ha·r P (rysunek 5.15., rysunki 69÷71, 84, 88).



Rysunek 5.15. Udział procentowy poszczególnych komponentów wchodzących w skład depozycji rocznej związków biogennych w opadach w 2022 r.

Spośród analizowanych metali ciężkich (cynk, miedź, ołów, nikiel, kadm, chrom), stanowiących zaledwie ok. 0,71% udziału w całkowitej depozycji, opady atmosferyczne w 2022 roku zdeponowały średnio najwięcej cynku – 205,9 g/ha·r Zn, a następnie miedzi 31,4 g/ha·r Cu, ołowiu 2,31 g/ha·r Pb, niklu 2,46 g/ha·r Ni, a najmniej kadmu 0,56 g/ha·r Cd i chromu 0,59 g/ha·r Cr (rysunek 5.16., rysunki 76÷81, 84).



Rysunek 5.16. Udział procentowy poszczególnych komponentów wchodzących w skład depozycji rocznej metali ciężkich w opadach w 2022 r.

Przedstawione wyniki badań monitoringowych, obrazują stan jakości opadów atmosferycznych i obciążenie obszaru Polski, w wyniku deponowanych wraz z opadami substancji w 2022 roku.

6. Omówienie wyników

6.1. Warunki meteorologiczne, kształtujące chemizm opadów

Warunki meteorologiczne 2022 r. charakteryzowały się zróżnicowaniem przestrzennym w zakresie temperatury powietrza i opadów atmosferycznych, jak i częstości występowania poszczególnych typów cyrkulacji i związanych z nimi opadów. Zróżnicowanie tych elementów miało istotny wpływ na wielkość deponowanych substancji z atmosfery do podłoża.

W kontekście adwekcji mas powietrza, podobnie jak w 2021 r. przeważały **napływy z W**, które stanowiły 45% odnotowanych przypadków. Była to wartość o 1% wyższa w stosunku do zeszłorocznej i o 4% przewyższająca średnią wieloletnią. Częstość występowania **cyrkulacji S** wyniosła niespełna 20% i była niższa w stosunku do roku ubiegłego i okresu wieloletniego o odpowiednio 5% i 2%. W przypadku **cyrkulacji N**, jej udział wyniósł średnio nieco ponad 16% i był o niecałe 1% niższy w porównaniu do 2021 r. oraz 2% wyższy względem wielolecia. Z kolei frekwencja **cyrkulacji E** wyniosła niecałe 11%, co było wartością o 2% wyższą względem roku ubiegłego oraz 1% niższa w stosunku do normy. Najmniejszym udziałem charakteryzowała się **cyrkulacja miejscowa Z**, która stanowiła 8% wszystkich przypadków. Pojawiała się ona ponad 2% częściej niż w 2021 r. oraz 3% rzadziej niż w roku przeciętnym.

Warunki opadowe w 2022 r. odznaczały się pewnym zróżnicowaniem, choć średnia obszarowa suma, stanowiąca 87% normy, klasyfikowała omawiany rok jako suchy. W półroczu ciepłym suma opadów kształtowała się na granicy klasy warunków suchych i normalnych, natomiast w okresie chłodnym odnotowano wyraźniejszy deficyt. Roczne sumy opadów w Polsce były zróżnicowane i wahały się od wielkości odpowiadających warunkom bardzo suchym do warunków wilgotnych. Najwyższą sumę opadów względem normy zmierzono we Włodawie, gdzie nadwyżka wyniosła 15%, odpowiadając warunkom wilgotnym. Natomiast na Pomorzu, Warmii i części Ziemi Lubuskiej zaobserwowano znaczny niedobór opadów, wynoszący 25-28%, co odpowiadało warunkom bardzo suchym lub na pograniczu suchych i bardzo suchych.

Uwzględniając klasyfikację opadów stosowaną w IMGW-PIB, jedna stacja cechowała się opadami odpowiadającymi warunkom wilgotnym, na siedmiu zanotowano warunki normalne, a na trzech sumy kształtujące się na granicy warunków suchych i normalnych. Ponadto, pięć stacji odznaczało się występowaniem warunków suchych, a na kolejnych pięciu wielkości opadów były zbliżone do wartości granicznej między warunkami bardzo suchymi i suchymi. Z kolei na jednej stacji odnotowano warunki z klasy bardzo suchych.

W zakresie sum opadów atmosferycznych w poszczególnych półroczach, stwierdzona ilość w półroczu ciepłym stanowiła 91% normy, co było zbliżone do wartości granicznej między warunkami suchymi i normalnymi. Natomiast w okresie chłodnym stwierdzone sumy, stanowiące 82% normy, klasyfikowały wspomniany okres jako suchy. W porównaniu do 2021 r., opad w półroczu ciepłym zmalał o 22%, a w okresie chłodnym zmalał o 7%.

Średnia obszarowa suma opadów w 2022 r. wyniosła 592,8 mm i była o 85 mm niższa od normy dla okresy 1991-2020. Najwyższe opady zmierzono w szczytowej strefie gór, gdzie osiągnęły one 1446 mm na Kasprowym Wierchu i 989 mm na Śnieżce. W niższych piętrach wysokościowych największe sumy odnotowano na wschodzie i południu Polski – w Lesku (701 mm), Katowicach (690 mm), Włodawie (649 mm), Suwałkach (633 mm), Nowym Sączu (617 mm) i Białymstoku (603 mm). Regiony zachodnie oraz Pomorze cechowały się wartościami najniższymi, wynoszącymi 376 mm w Gdańsku, 415 mm w Poznaniu, 434 mm w Świnoujściu, 437 mm w Kaliszu, 442 mm w Zielonej Górze i 457 mm w Chojnicach. W przebiegu rocznym najbardziej wilgotnym miesiącem był lipiec, ze średnią obszarową sumą przekraczającą 86 mm i najwyższymi sumami obserwowanymi na Kasprowym Wierchu (205 mm), Nowym Sączu (148 mm), Białymstoku (130 mm) i Raciborzu (129 mm). Zdecydowanie najbardziej suchym miesiącem był marzec, kiedy na większości obszaru Polski obserwowany był bardzo wysoki deficyt opadów. Średnia obszarowa suma wyniosła tylko 14 mm, a w Gdańsku, Olsztynie i Toruniu opady w ogóle nie wystąpiły. Śladowe ilości, nie osiągające 1 mm, zmierzono natomiast w Świnoujściu, Kaliszu i Chojnicach.

Sumy opadów atmosferycznych w 2022 r. były, w porównaniu do wielkości zmierzonych w 2021 r., zwykle wyższe w lutym, czerwcu, wrześniu i grudniu (tabela 17). Z kolei ujemne różnice odnotowano głównie w styczniu, maju, lipcu, sierpniu i listopadzie. W skali Polski, dodatnie anomalie w kontekście sum rocznych zaobserwowano w Gorzowie Wielkopolskim (78 mm), Legnicy (49 mm) i Włodawie (19 mm). Na pozostałych stacjach cechowały się one ujemnymi wartościami, a największy deficyt w stosunku do 2021 r. stwierdzono w Nowym Sączu (336 mm), Zielonej Górze (260 mm), na Śnieżce (245 mm) i w Olsztynie (190 mm). Różnice przekraczające 100 mm zmierzono ponadto w Sandomierzu (133 mm), Poznaniu (113 mm) i Sulejowie (108 mm).

W kontekście cyrkulacji atmosferycznej, sektor **zachodni** był typem przeważającym i stanowił 51% wszystkich odnotowanych przypadków napływów. Największym udziałem odznaczały się stacje położone na Pomorzu, Świnoujście i Łeba, w przypadku których stosunek opadów do wartości całkowitej wyniósł 72% i 69%. Natomiast najniższe wartości odnotowano na południu Polski (Legnica, Kasprowy Wierch, Racibórz), gdzie opady w czasie cyrkulacji zachodniej stanowiły 33-39% sumy rocznej.

Sumy opadów zmierzone w czasie adwekcji mas powietrza z **północy** stanowiły średnio 14% wielkości ogólnej i odznaczały się najwyższym udziałem w szczytowej strefie Tatr, gdzie dochodził on do 31%. Nieco niższą wartość (30%) stwierdzono w Białymstoku, natomiast wielkości opadów przy wspomnianym typie cyrkulacji w Gdańsku i Lesku kształtowały się w zakresie 22-26%. Natomiast w Świnoujściu i Toruniu opady były najniższe, a ich stosunek do sumy rocznej wyniósł 5%.

Około 15% sum opadów stwierdzonych w 2022 r. było związanych z cyrkulacją z sektora **południowego**. Największą ich ilość zmierzono na północy Polski, od Warmii i części Pomorza Gdańskiego do Kujaw (Gdańsk, Olsztyn, Toruń), a także w Beskidach (Nowy Sącz), gdzie stanowiły one 20-22% sumy rocznej. W przypadku Podlasia (Białystok), sumy były ponad dwukrotnie niższe i nie osiągały 10% wielkości całkowitej.

Wielkości opadów notowanych przy napływie mas powietrza z sektora **wschodniego**, w stosunku do ilości całkowitej, wyniosły średnio niespełna 11% i były

wysokie zwłaszcza na Śląsku, gdzie w Legnicy i Raciborzu ich udział przekraczał 25%. Z kolei na Pomorzu Gdańsku, w Łebie i Gdańsku, zmierzone sumy były zdecydowanie najniższe, a ich stosunek do wielkości rocznej nie osiągał 1%.

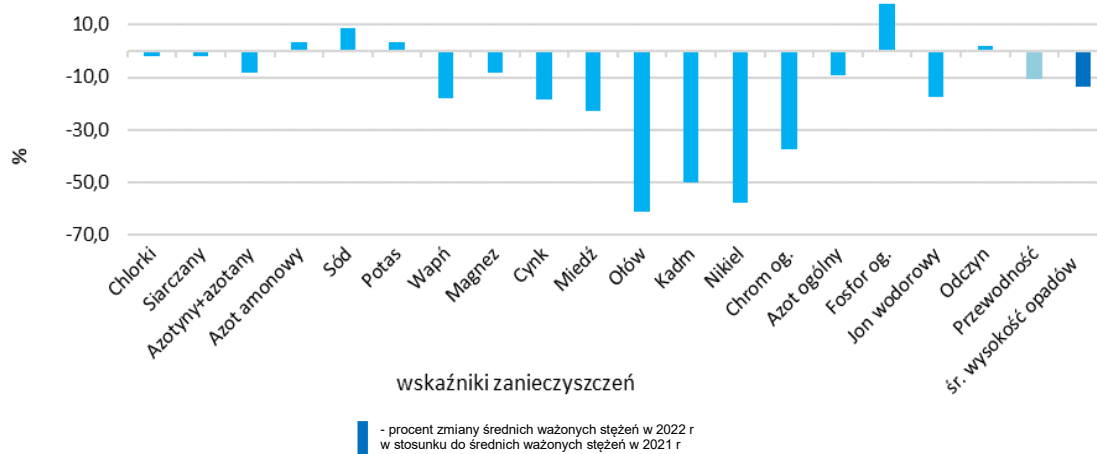
Udział opadów notowanych podczas występowania cyrkulacji **miejscowej Z** przekraczał 9% wartości ogólnej. Na zachodzie, w Poznaniu i Legnicy, był on najwyższy i osiągał 15-18%. Niewiele mniejszą wielkość, wynoszącą 15%, stwierdzono na Śnieżce i w Raciborzu. Z kolei w Gorzowie Wielkopolskim i Białymstoku zanotowano jedynie śladowe ilości opadów, kształtujące się poniżej 1% sumy rocznej.

Udział opadów atmosferycznych z poszczególnych sektorów napływu, w porównaniu do 2021 r., cechował się wzrostem udziału z sektora zachodniego o 14%, przy jednoczesnym spadku ilości notowanych dla sektorów północnego (o 4%), południowego (o 8%), wschodniego (o 1%) oraz dla cyrkulacji miejscowej Z (o 1%).

Znaczne zróżnicowanie czasowe i przestrzenne warunków meteorologicznych w 2022 r., zwłaszcza w kontekście sum opadów atmosferycznych oraz adwekcji mas powietrza z różnych sektorów, miało istotny wpływ na rozkład wielkości stężeń substancji i ładunków wnoszonych wraz z mokrym opadem nad obszar Polski.

6.2. Stężenia substancji w opadach atmosferycznych

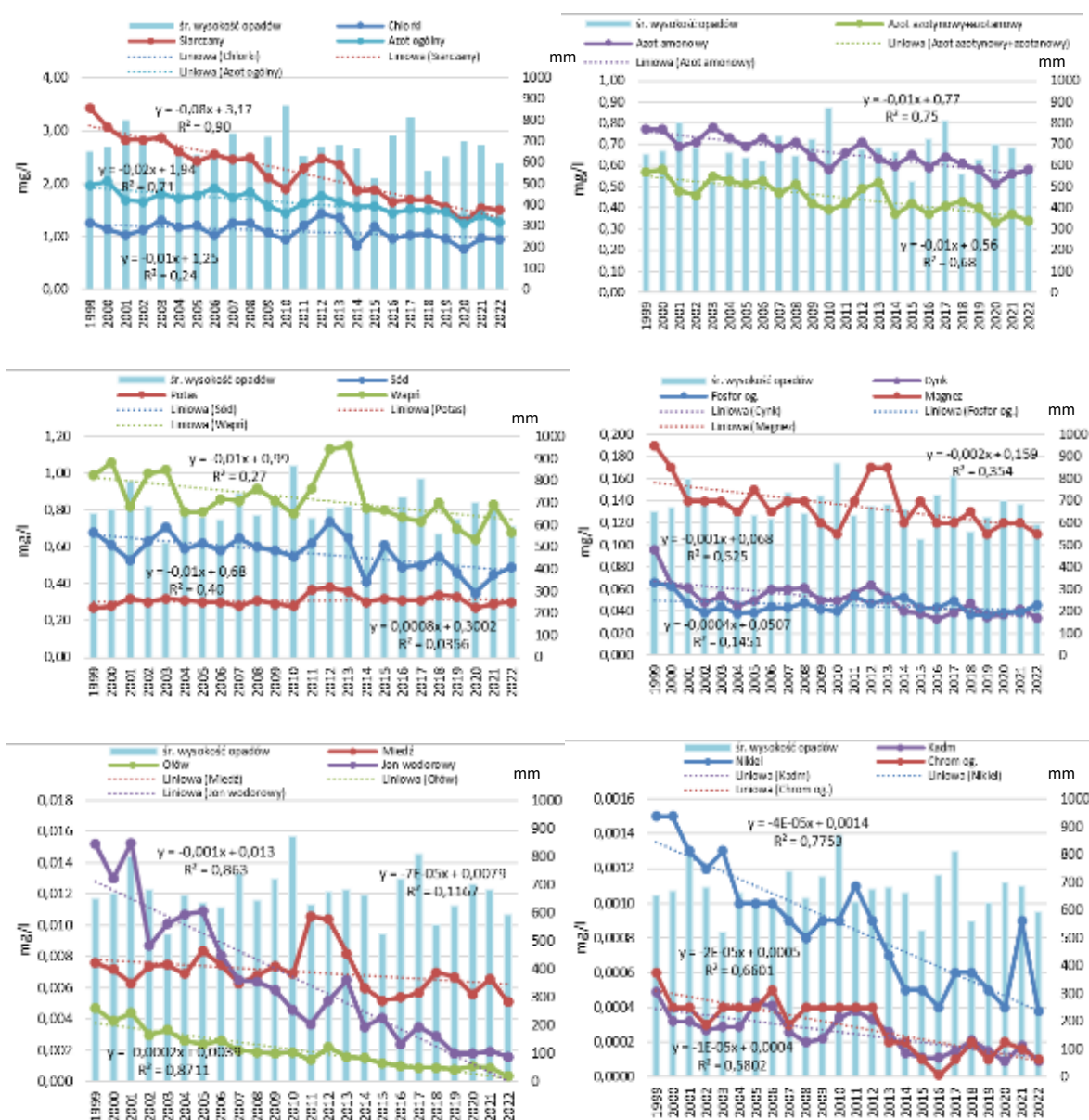
Średnie ważone stężenia, czterech z siedemnastu badanych substancji, w opadach w 2022 roku były wyższe od 3,4% do 17,9% niż w roku 2021. Wzrost stężeń odnotowano w przypadku potasu (o 3,4%), azotu amonowego (o 3,6%), sodu (o 8,9%), fosforu ogólnego (o 17,9%).



Rysunek 6.1. Procentowa zmiana stężeń średnich ważonych (waga – wysokość opadów) poszczególnych wskaźników zanieczyszczeń oraz odczynu i przewodności, w opadach zebranych w 2022 roku w stosunku do średnich ważonych w 2021 roku oraz średniej wysokości opadów

Spadek w roku 2022 w stosunku do roku 2021, odnotowano dla siarczanów (o 1,9%), chlorków (o 2,1%), azotu pochodzącego z azotynów i azotanów (o 8,1%), magnezu (o 8,3%), azotu ogólnego (o 9,3%), wolnych jonów wodorowych (o 17,5%), wapnia (o 18,1%), cynku (o 18,3%), miedzi (o 22,7%), chromu ogólnego (o 35,7%), kadmu (o 50,0%), niklu (o 57,8%) i ołowiu (o 61,1%). Odnotowano również spadek, w roku 2022 w stosunku do roku 2021, dla średniej wysokości opadów (o 13,4%) oraz wzrost średniej

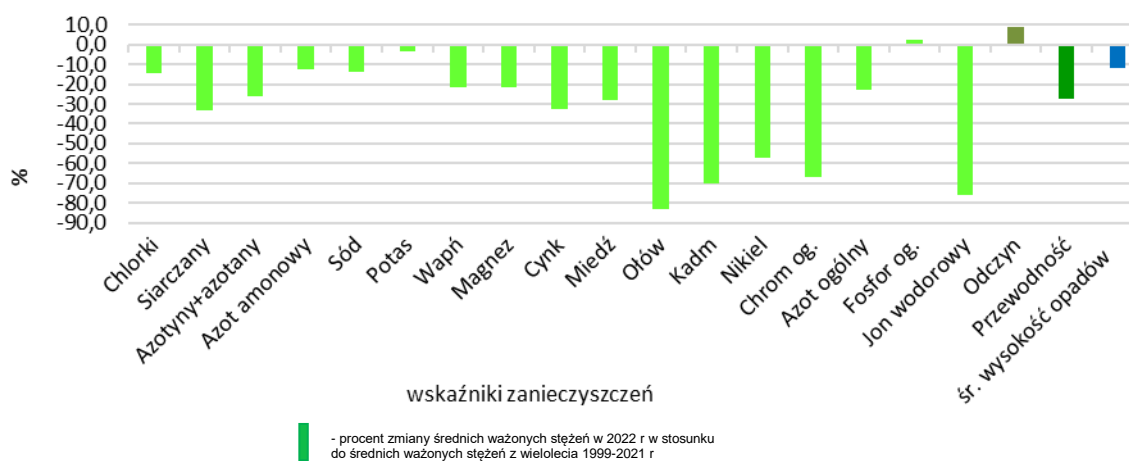
ważonej wartości, uzyskanej z pomiarów przewodności elektrycznej właściwej (o 10,7%), natomiast średnia ważona (waga – wysokość opadu) z mierzonych wartości pH kształtowała na poziomie wyższym jak w roku poprzednim (o 1,8%) (rysunek 6.1.).



Rysunek 6.2. Średnie ważone stężenia (waga – wysokość opadów) poszczególnych wskaźników zanieczyszczeń w opadach zebranych w latach badań 1999-2022 na tle średnich rocznych wysokości opadów (mm)

W okresie dwudziestu czterech lat prowadzenia badań (1999-2022), średnioroczne wartości stężeń badanych substancji w opadach wykazują tendencję malejącą dla szesnastu wskaźników, w tym dla dziesięciu wskaźników tendencja malejąca była istotna statystycznie. Dla kwasowości – tendencja malejąca, istotna statystycznie, była w przypadku średniorocznych wartości stężeń wolnych jonów wodorowych. Wyraźną tendencję malejącą, istotną statystycznie, obserwowano dla metali ciężkich w przypadku cynku, ołowiu, kadmu, niklu i chromu. Tendencję malejącą, istotną statystycznie, stwierdzono dla związków kwasotwórczych w przypadku siarczanów oraz azotu azotanowego

i azotanowego, natomiast tendencję malejącą, istotną statystycznie, dla związków biogennych stwierdzono w przypadku azotu amonowego i azotu ogólnego. Najbardziej zmalały w 2022 roku, w stosunku do wielolecia 1999-2021, średnie ważone wartości stężeń wolnych jonów wodorowych (o 75,8%), ołowiu (o 83,3%), kadmu (o 70,0%), chromu ogólnego (o 66,7%), niklu (o 57,3%), siarczanów (o 32,9%), cynku (o 32,7%), miedzi (o 28,2%), azotu azotanowego i azotanowego (o 26,1%), azotu ogólnego (o 23,0%), wapnia (o 21,8%), magnezu (o 21,4%), chlorków (o 14,4%), sodu (o 14,0%) i azotu amonowego (o 12,1%). W mniejszym stopniu zmalały stężenia potasu (o 3,2%). Odnotowano wzrost, w stosunku do wielolecia, średnich ważonych wartości stężeń fosforu ogólnego (o 2,2%). Wzrost w roku 2022, w stosunku do wielolecia 1999-2021, odnotowano dla średniej ważonej (waga – wysokość opadu) z mierzonych wartości pH (o 9,2%) oraz stwierdzono spadek średniej wysokości opadów (o 12,1%) oraz spadek (o 27,4%) średniej ważonej wartości, uzyskanej z pomiarów przewodności elektrycznej właściwej (rysunek 6.2. i 6.3.).



Rysunek 6.3. Procentowa zmiana stężeń średnich ważonych (waga – wysokość opadów) poszczególnych wskaźników zanieczyszczeń oraz odczynu i przewodności, w opadach zebranych w 2022 roku w stosunku do średnich ważonych stężeń wielolecia 1999-2021 oraz średniej wysokości opadów

Zawartość związków rozpuszczonych w opadach, wyrażona przy pomocy przewodności, kształtowała się w 2022 roku średnio na poziomie 15,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ i była wyższa od wartości minimalnej z badanego wielolecia, która wyniosła w 2020 roku 14,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Największą zawartość związków rozpuszczonych w opadach, określoną przewodnością (27,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$), stwierdzono w 1999 roku – pierwszym roku badań.

6.3. Ładunki substancji wniesione przez opady atmosferyczne

Średnia roczna depozycja substancji z opadem, na tereny 22 stacji badawczych w roku 2022, kształtowała się na poziomie 31,97 kg/ha i była niższa o 17,9% niż w roku poprzednim. Wielkość depozycji nie rozkładała się równomiernie i mieściła w przedziale od 16,80 kg/ha w Sandomierzu do 69,16 kg/ha na Kasprowym Wierchu. Obciążenie powierzchniowe obszarów, reprezentowanych przez siedem stacji monitoringowych (Kalisz (32,08 kg/ha), Toruń (35,73 kg/ha), Katowice (37,85 kg/ha), Świnoujście (41,89 kg/ha), Poznań (42,97 kg/ha), Śnieżka (64,46 kg/ha) i Kasprowy Wierch (69,16 kg/ha), było większe od średniej rocznej depozycji na 22 stacjach monitoringowych.

W porównaniu do 2021 roku, większe roczne depozycje z opadami stwierdzono na pięciu stacjach monitoringowych od 0,7% do 12,1%, w tym: w Kaliszu o 0,7%, Sulejowie o 0,8%, Legnicy o 4,4%, Chojnicach o 4,7%, Łebie o 12,1%. W 2022 roku, mniejsze średnie obciążenie powierzchniowe na tereny 22 stacji monitoringowych niż w roku 2021, miało miejsce na siedemnastu stacjach, w tym: w Gdańsku o 2,3%, Olsztynie o 1,1%, Sandomierzu o 4,3%, Katowicach o 9,8%, Świnoujściu o 14,0%, Toruniu o 16,9%, na Kasprowym Wierchu o 18,3%, we Włodawie o 19,4%, w Poznaniu o 19,8%, Gorzowie Wielkopolskim o 22,6%, Nowym Sączu o 22,8%, Lesku o 27,0%, Białymstoku o 27,5%, Raciborzu o 33,0%, Suwałkach o 34,3%, Zielonej Górze o 38,9% i na Śnieżce o 32,9%.

Wielkości średnich rocznych ładunków jednostkowych substancji, wniesionych przez opady atmosferyczne na obszary reprezentowane przez stacje monitoringowe, w okresie badań prowadzonych w latach 1999-2022 wskazują, że w 2022 roku całkowite obciążenie wszystkimi badanymi substancjami kształtowało się na dużo niższym poziomie (niższym o 31,2%), niż średnie obciążenie z lat 1999-2021. Depozycja poszczególnych wskaźników była jednak zróżnicowana, ale niższa (od 10,4% dla fosforu ogólnego do 85,9% dla ołowiu) dla wszystkich wskaźników: dla chlorków o 22,8%, siarczanów o 40,1%, azotynów i azotanów o 33,1%, azotu amonowego o 22,7%, azotu ogólnego o 31,2%, fosforu ogólnego o 10,4%, sodu o 23,4%, potasu o 14,9%, wapnia o 30,3%, magnezu o 28,0%, cynku o 41,3%, miedzi o 36,5%, ołowiu o 85,9%, kadmu o 67,8%, niklu o 62,4% i chromu ogólnego o 71,5% oraz wolnych jonów wodorowych o 80,0% (rysunki 44-60). W 2022 roku, średnia suma roczna opadów w stosunku do średniej sumy w wieloleciu była niższa tylko o 13,1%.

Zmiany spadkowe wielkości depozycji badanych substancji, na obszary reprezentowane przez poszczególne stacje badawcze, były zróżnicowane. Poniżej przedstawiono procentową zmianę depozycji poszczególnych badanych substancji z opadem w 2022 roku w stosunku do jej wielkości w wieloleciu 1999-2021.

Dla związków kwasotwórczych (siarczanów i azotu azotynowego i azotanowego) i kwasowości zmiana ta, z nielicznymi wyjątkami, miała wyraźny charakter spadkowy depozycji (rysunek 6.4.), w tym:

- dla **siarczanów**, nie odnotowano zmian wzrostowych depozycji w stosunku do przeciętnych wartości w wieloleciu 1999-2021 (obliczonych dla każdej stacji);
- **chlorków**, odnotowano zmiany wzrostowe depozycji na czterech stacjach;
- **azotu pochodzącego od azotynów i azotanów**, nie odnotowano zmian wzrostowych depozycji w stosunku do przeciętnych wartości w wieloleciu 1999-2021;
- **wolnych jonów wodorowych**, odnotowano zmiany wzrostowe depozycji na jednej stacji (rysunek 6.4.).

Na **22** stacjach, roczne depozycje **siarczanów** były mniejsze w stosunku do przeciętnych wartości depozycji w wieloleciu 1999-2021, obliczonych dla każdej stacji osobno. Wielkość spadku ładunków jednostkowych siarczanów zmieniała się od 57,4% w Gdańsku, a następnie (w kolejności malejącej wielkości spadku depozycji): w Sandomierzu, Raciborzu, Lesku, Chojnicach, Zielonej Górze, Łebie, Poznaniu, Nowym Sączu, Katowicach, Toruniu, Włodawie, Kaliszu, Świnoujściu, Gorzowie Wielkopolskim,

Białymstoku, Sulejowie, Suwałkach, Olsztynie, na Śnieżce i w Legnicy oraz najmniejszy spadek tylko o 13,9% na Kasprowym Wierchu (rysunek 6.4.).



Rysunek 6.4. Procentowa zmiana depozycji siarczanów, chlorków, azotu azotynowego i azotanowego oraz wolnych jonów wodorowych z opadem w 2022 roku w stosunku do ich średnich depozycji w wieloleciu 1999-2021

Na **18** stacjach, roczne depozycje **chlorków**, były mniejsze w stosunku do przeciętnych wartości depozycji w wieloleciu 1999-2021. Wielkość spadku ładunków jednostkowych chlorków zmieniała się od 62,4% w Raciborzu i następnie (w kolejności malejącego spadku) w Gdańsku, Sandomierzu, Gorzowie Wielkopolskim, Kaliszu, Katowicach, Lesku, Nowym Sączu, Olsztynie, Suwałkach, Świnoujściu, we Włodawie, w Zielonej Górze, Toruniu, Chojnicach, Łebie, na Śnieżce i w Białymstoku do 5,5%. Wzrost ładunków jednostkowych chlorków odnotowano na czterech stacjach: na Kasprowym Wierchu o 1,6%, w Poznaniu o 8,8%, Sulejowie o 31,0% i w Legnicy o 32,2%.

Na **22** stacjach, roczne depozycje **azotu pochodzącego od azotynów i azotanów**, były mniejsze w stosunku do przeciętnych wartości depozycji w wieloleciu 1999-2021. Wielkość spadku ładunków jednostkowych zmieniała się od 47,9% w Lesku i następnie (w kolejności malejącego spadku) w Sandomierzu, Poznaniu, Olsztynie, we Włodawie, Chojnicach, Nowym Sączu, Gdańsku, na Kasprowym Wierchu, w Łebie, Świnoujściu, Gorzowie Wielkopolskim, Białymstoku, Zielonej Górze, Sulejowie, Suwałkach, Katowicach, Legnicy, Raciborzu, Kaliszu i na Śnieżce oraz najmniejszy spadek do 21,7% w Toruniu.

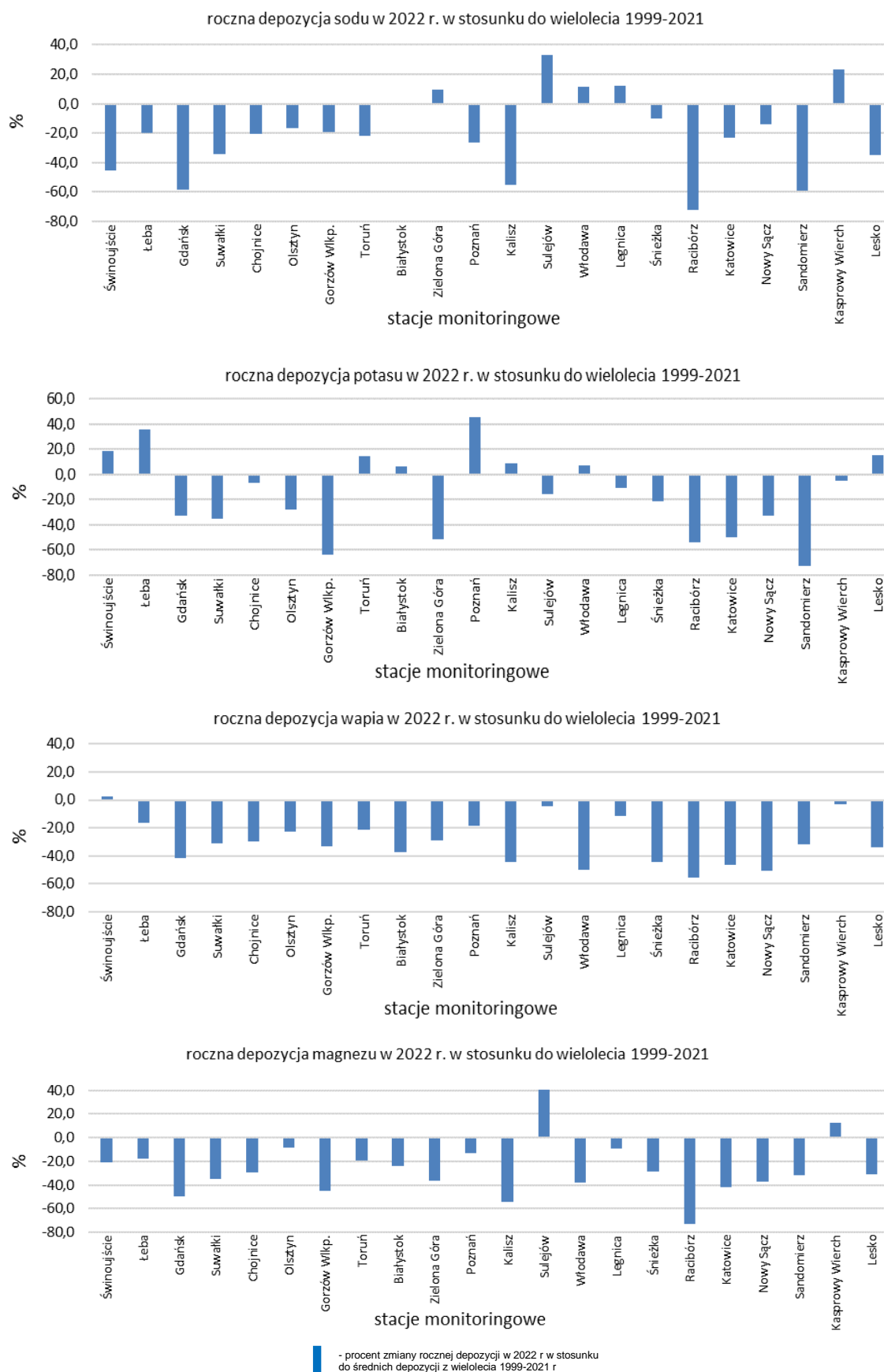
Na **21** stacjach, roczne depozycje **wolnych jonów wodorowych**, były mniejsze w stosunku do przeciętnych wartości w wieloleciu 1999-2021. Wielkość spadku ładunków jednostkowych zmieniała się od 47,9% w Poznaniu, a następnie (w kolejności malejącego spadku) w Lesku, Łebie i Olsztynie, Chojnicach, Sandomierzu, Zielonej Górze, Gdańsku, Białymstoku, Nowym Sączu, Gorzowie Wielkopolskim, we Włodawie, w Świnoujściu, Toruniu, na Kasprowym Wierchu, Suwałkach, Legnicy, Raciborzu, Kaliszu i Katowicach oraz najmniejszy spadek w Sulejowie o 2,1%. Wzrost ładunków jednostkowych sodu odnotowano na jednej stacji: na Śnieżce o 31,0%.

Dla **rocznych depozycji metali lekkich (metali alkalicznych i ziem alkalicznych) w 2022 roku**, w stosunku do przeciętnych wartości w wieloleciu 1999-2021 (obliczonych dla każdej stacji), depozycja miała wyraźny charakter spadkowy, w tym:

- dla **sodu**, odnotowano zmiany wzrostowe depozycji dla sześciu stacji;
- dla **potasu**, odnotowano zmiany wzrostowe depozycji dla ośmiu stacji;
- dla **wapnia**, stwierdzono zmiany wzrostowe depozycji dla jednej stacji;
- dla **magnezu**, stwierdzono zmiany wzrostowe depozycji na dwóch stacjach (*rysunek 6.5*).

Na **16** stacjach, roczne depozycje **sodu**, były mniejsze w stosunku do przeciętnych wartości depozycji w wieloleciu 1999-2021. Wielkość spadku ładunków jednostkowych sodu zmieniała się od 72,3% w Raciborzu i następnie (w kolejności malejącego spadku) w Sandomierzu, Gdańsku, Kaliszu, Świnoujściu, Lesku, Suwałkach, Poznaniu, Katowicach, Toruniu, Chojnicach, Łebie, Gorzowie Wielkopolskim, Olsztynie i Nowym Sączu oraz na Śnieżce o 10,2%. **Wzrost** ładunków jednostkowych sodu odnotowano na sześciu stacjach: w Białymstoku o 0,4%, Zielonej Górze o 9,4%, we Włodawie i w Legnicy po 11,8%, na Kasprowym Wierchu o 22,9% i w Sulejowie o 32,8%.

6. Omówienie wyników



Rysunek 6.5. Procentowa zmiana depozycji sodu, potasu, wapnia i magnezu w opadach w 2022 roku w stosunku do ich średnich depozycji w wieloleciu 1999-2021

Na **14** stacjach, roczne depozycje **potasu**, były mniejsze w stosunku do przeciętnych wartości depozycji w wieloleciu 1999-2021. Wielkość spadku ładunków jednostkowych potasu zmieniała się od 72,8% w Sandomierzu i następnie (w kolejności malejącego spadku) w Gorzowie Wielkopolskim, Raciborzu, Zielonej Górze, Katowicach, Suwałkach, Gdańsku i Nowym Sączu, Olsztynie, na Śnieżce, w Sulejowie, Legnicy i Chojnicach oraz na Kasprowym Wierchu o 5,3%. **Wzrost** ładunków jednostkowych potasu odnotowano na ośmiu stacjach: w Białymstoku o 6,4%, we Włodawie o 6,8%, w Kaliszu o 8,4%, Toruniu o 14,8%, Lesku o 15,4%, Świnoujściu o 18,7% i Łebie o 35,9% oraz Poznaniu o 45,1%.

Na **21** stacjach, roczne depozycje **wapnia**, były mniejsze w stosunku do przeciętnych wartości depozycji w wieloleciu 1999-2021. Wielkość spadku ładunków jednostkowych wapnia zmieniała się od 55,3% w Raciborzu i następnie (w kolejności malejącego spadku) w Nowym Sączu, we Włodawie, w Katowicach, na Śnieżce, w Kaliszu, Gdańsku, Białymstoku, Lesku, Gorzowie Wielkopolskim, Sandomierzu, Suwałkach, Chojnicach, Zielonej Górze, Olsztynie, Toruniu, Poznaniu, Łebie i Legnicy oraz najmniejsze spadki o 4,5% w Sulejowie i do 3,1% na Kasprowym Wierchu. **Wzrost** ładunków jednostkowych **wapnia** w stosunku do przeciętnych wartości depozycji w wieloleciu 1999-2021, odnotowano dla jednej stacji: o 2,4% w Świnoujściu.

Na **20** stacjach, roczne depozycje **magnezu**, były mniejsze w stosunku do przeciętnych wartości depozycji w wieloleciu 1999-2021. Wielkość spadku ładunków jednostkowych magnezu zmieniała się od 85,5% w Raciborzu, a następnie (w kolejności malejącego spadku) o 80,4% w Kaliszu, Gdańsku, Gorzowie Wielkopolskim, Katowicach, we Włodawie, w Nowym Sączu, Zielonej Górze, Suwałkach, Sandomierzu, Lesku, Chojnicach, na Śnieżce, w Białymstoku, Świnoujściu, Toruniu, Łebie, Poznaniu, a najmniejsze spadki odnotowano w Legnicy o 9,4% i Olsztynie o 8,5%. **Wzrost** ładunków jednostkowych **magnezu**, w stosunku do przeciętnych wartości depozycji w wieloleciu 1999-2021, odnotowano na dwóch stacjach: na Kasprowym Wierchu o 12,5% oraz w Sulejowie o 40,3% (*rysunek 6.5.*).

W przypadku **rocznej sumarycznej depozycji metali ciężkich**, w odniesieniu do cynku, miedzi i ołowiu, w stosunku do średniej depozycji z opadami, obliczonej dla każdej stacji w wieloleciu 1999-2021, zmiany spadkowe na większości stacji są bardzo wyraźnie zaznaczone, ale są też wyjątki. Zmiany wzrostowe odnotowano:

- dla **cynku**, odnotowano zmiany wzrostowe depozycji dla dwóch stacji;
- dla **miedzi**, odnotowano zmiany wzrostowe depozycji dla dwóch stacji;
- dla **chromu**, odnotowano zmiany wzrostowe depozycji dla jednej stacji;

Dla **ołowiu**, **kadmu** i **niklu**, nie odnotowano zmian wzrostowych depozycji w stosunku do średniej depozycji z opadami w wieloleciu 1999-2021 (*rysunek 6.6.*, *rysunek 6.7.*).

Na ładunek metali, miał wpływ lokalny wzrost depozycji **cynku**, w rejonach dwóch stacji monitoringowych: w Kaliszu, gdzie wzrost wynosił 8,7% i w Lesku ze wzrostem o 25,7%. Nieco mniejszy wpływ na ładunek metali miał również wzrost depozycji **miedzi**, lokalnie w rejonie dwóch stacji: w Świnoujściu o 18,6% i w Poznaniu o 17,8% (*rysunek 6.6.*). Depozycja **chromu** z opadem, w stosunku do średniej depozycji z opadami, obliczonej dla każdej stacji w wieloleciu 1999-2021, miała wyraźny charakter spadkowy

dla prawie wszystkich stacji monitoringowych, a niewielki wzrost odnotowano tylko na jednej stacji: w Legnicy o 0,7% (rysunek 6.7.).

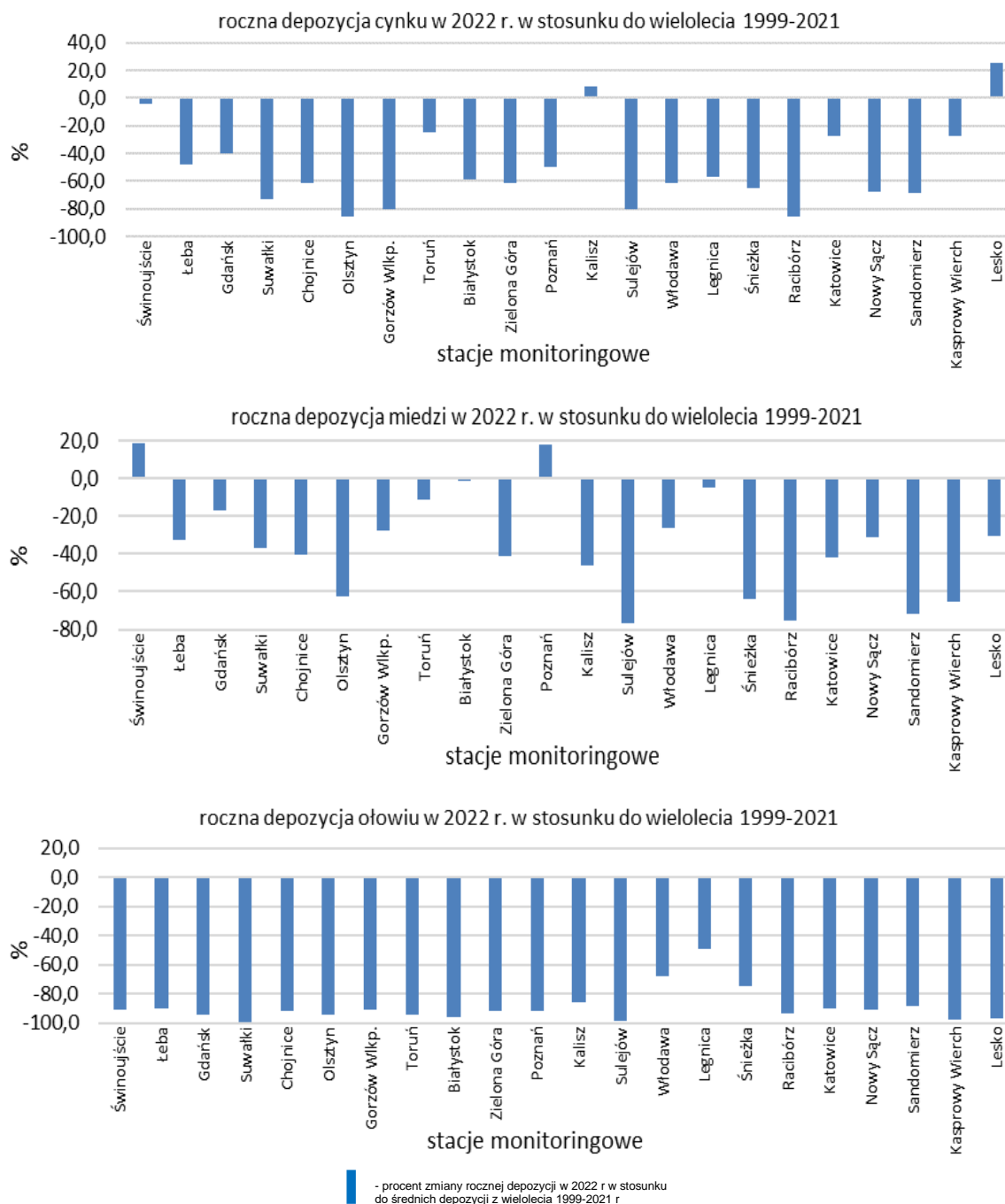
Na **20** stacjach, roczne depozycje **cynku**, były mniejsze w stosunku do przeciętnych wartości depozycji w wieloleciu 1999-2021. Wielkość spadku ładunków jednostkowych cynku zmieniała się od 85,5% w Raciborzu i Olsztynie, a następnie (w kolejności malejącego spadku) o 80,4% w Sulejowie i Gorzowie Wielkopolskim, i dalej zmniejszała się kolejno: w Suwałkach, Sandomierzu, Nowym Sączu, na Śnieżce, w Chojnicach, we Włodawie, Zielonej Górze, Białymstoku, Legnicy, Poznaniu, Łebie, Gdańsku, Katowicach, na Kasprowym Wierchu i Toruniu oraz najmniejszy spadek o 3,7% stwierdzono w Świnoujściu. Wzrost ładunków jednostkowych cynku odnotowano na dwóch stacjach: o 8,7% w Kaliszu oraz o 25,7% w Lesku.

Na **20** stacjach, roczne depozycje **miedzi**, były mniejsze w stosunku do przeciętnych wartości w wieloleciu 1999-2021. Wielkość spadku ładunków jednostkowych miedzi zmieniała się od 75,4% w Sulejowie i następnie (w kolejności malejącej): w Raciborzu, Sandomierzu, na Kasprowym Wierchu, na Śnieżce, w Olsztynie, Kaliszu, Katowicach, Zielonej Górze, Chojnicach, Suwałkach, Łebie, Nowym Sączu, Lesku, Gorzowie Wielkopolskim, we Włodawie, Gdańsku i Toruniu w Legnicy o 4,6% oraz w Białymstoku o 1,4%. Wzrost ładunków jednostkowych miedzi, odnotowano na dwóch stacjach: o 18,6% w Świnoujściu oraz w Poznaniu o 17,8%.

Na **22** stacjach, roczne depozycje **ołowiu**, były mniejsze w stosunku do przeciętnych wartości depozycji w wieloleciu 1999-2021. Wielkość spadku ładunków jednostkowych ołowiu zmieniała się od 98,8% w Suwałkach i następnie (w kolejności malejącej zmiany): Sulejowie, na Kasprowym Wierchu, w Lesku, Białymstoku, Gdańsku, Olsztynie, Toruniu, Raciborzu, Zielonej Górze, Chojnicach, Poznaniu, Nowym Sączu, Gorzowie Wielkopolskim, Świnoujściu, Katowicach, Łebie, Sandomierzu, Kaliszu, na Śnieżce i we Włodawie oraz najmniejszy spadek w Legnicy o 48,9% (rysunek 6.6.).

Na **22** stacjach, roczne depozycje **kadm** z opadem, były mniejsze w stosunku do średniej z rocznych depozycji z lat 1999-2021. Wielkość spadku ładunków **kadm** na stacjach zmieniała się o 93,2% w Suwałkach i (w kolejności malejącej zmiany): w Sandomierzu, Toruniu, Gorzowie Wielkopolskim, Łebie, Poznaniu, Chojnicach, na Kasprowym Wierchu, na Śnieżce, w Zielonej Górze, Raciborzu, Białymstoku, Sulejowie, Katowicach, we Włodawie, w Nowym Sączu, Gdańsku, Świnoujściu, Kaliszu, Legnicy i w Olsztynie oraz najniższy spadek o 19,4% w Lesku.

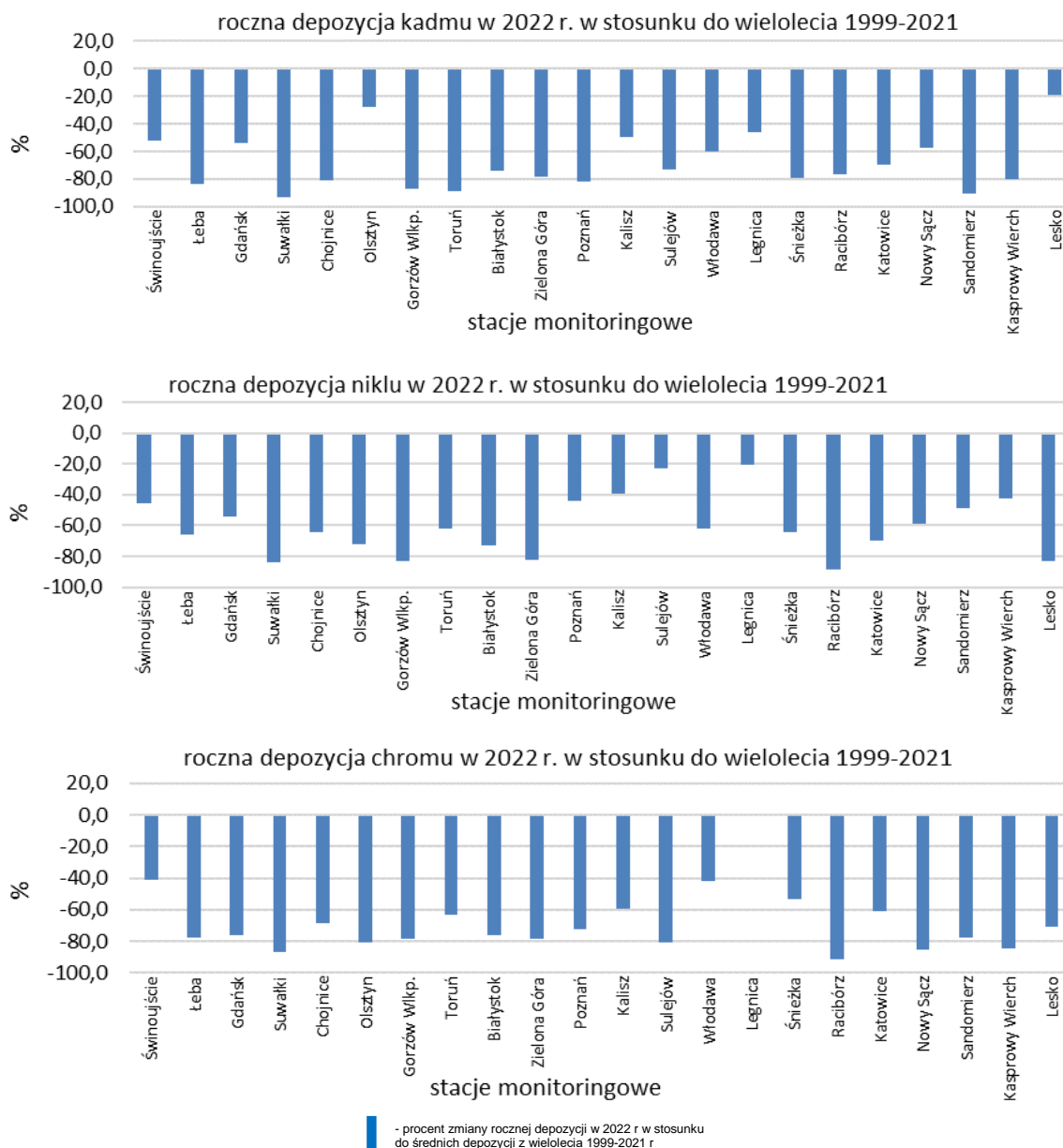
Na **22** stacjach, roczne depozycje **niklu** z opadem, były mniejsze w stosunku do średniej z rocznych depozycji z lat 1999-2021. Wielkość spadku ładunków jednostkowych niklu zmieniała się o 88,5% w Raciborzu i (w kolejności malejącej zmiany): w Suwałkach, Lesku, Gorzowie Wielkopolskim, Zielonej Górze, Białymstoku, Olsztynie, Katowicach, Łebie, Chojnicach, na Śnieżce, Toruniu, we Włodawie, w Nowym Sączu, Gdańsku, Sandomierzu, Świnoujściu, Poznaniu, na Kasprowym Wierchu, w Kaliszu i Sulejowie oraz najmniejszy spadek w Legnicy o 6,6% (rysunek 6.7.).



Rysunek 6.6. Procentowa zmiana depozycji cynku, miedzi i ołowiu w opadach w 2022 roku w stosunku do ich średnich depozycji w wieloleciu 1999-2021

Na 21 stacjach, roczne depozycje **chromu ogólnego**, były mniejsze w stosunku do średniej depozycji z lat 1999-2021. Wielkość spadku ładunków jednostkowych chromu ogólnego zmieniała się o 91,3% w Raciborzu i (w kolejności malejącej zmiany) na stacjach: w Suwałkach, Nowym Sączu, na Kasprowym Wierchu, Olsztynie, Sulejowie, Zielonej Górze, Gorzowie Wielkopolskim, Łebie, Sandomierzu, Gdańsku, Białymstoku, Poznaniu, Lesku, Chojnicach, Toruniu, Katowicach, Kaliszu, na Śnieżce i we Włodawie, oraz najmniejszy spadek w Świnoujściu o 41,1%. Wzrost ładunków jednostkowych chromu odnotowano na jednej stacji: w Legnicy o 0,7% (rysunek 6.7.).

6. Omówienie wyników



Rysunek 6.7. Procentowa zmiana depozycji kadmu, niklu i chromu w opadach w 2022 roku w stosunku do ich średnich depozycji w wieloleciu 1999-2021

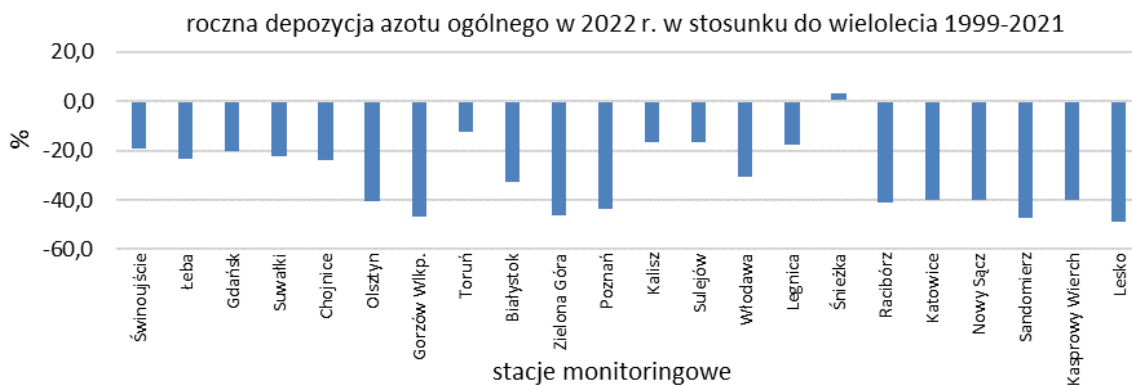
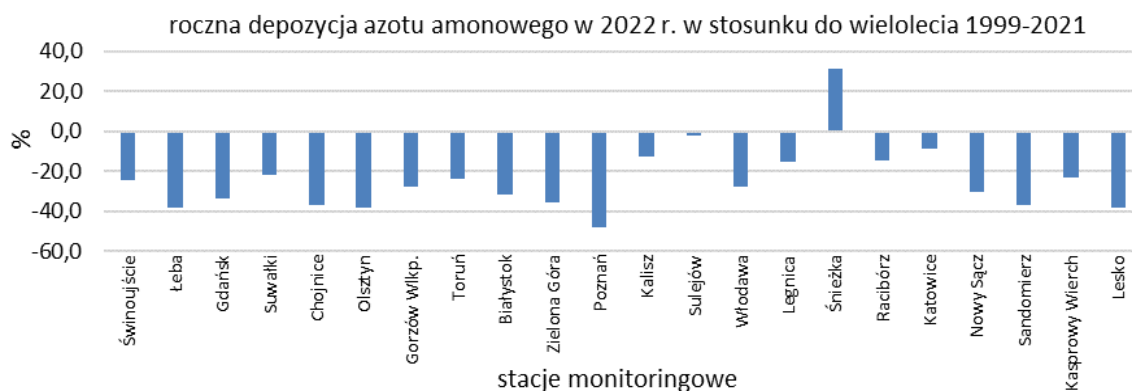
Depozycje związków biogenych w 2022 roku, w stosunku do średniej, obliczonej dla każdej stacji, z rocznych depozycji z lat 1999-2021, na większości obszarów reprezentowanych przez stacje monitoringu, wykazują zmiany spadkowe (rysunek 6.8.). Tendencję wzrostową, w stosunku do średniej z rocznych depozycji w wieloleciu 1999-2021, stwierdzono jedynie w następujących przypadkach:

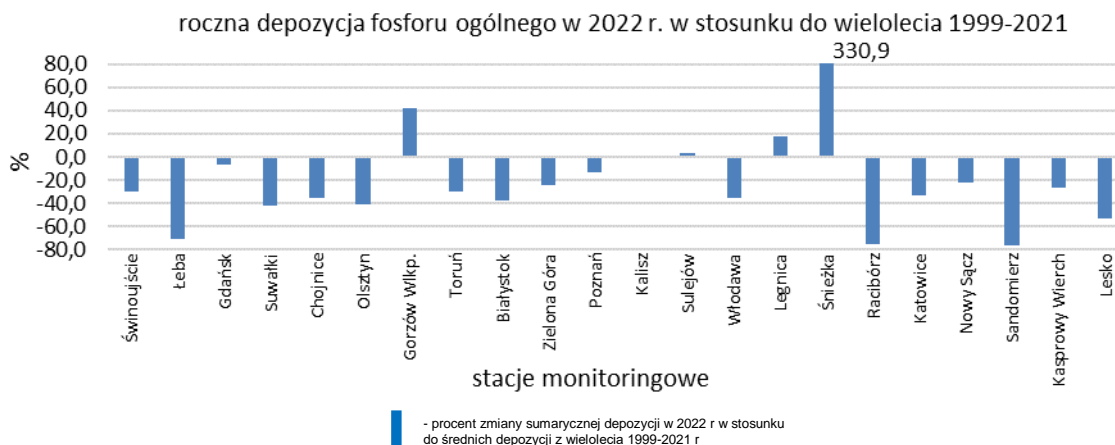
- dla azotu amonowego – zmiana wyniosła 31,0% wzrostu depozycji w rejonie stacji na Śnieżce, w stosunku do średniej dla podanej stacji z rocznych depozycji w wieloleciu 1999-2021;
- dla azotu ogólnego – zmiana wyniosła 3,3% wzrostu depozycji w rejonie stacji na Śnieżce, w stosunku do średniej dla podanej stacji z rocznych depozycji w wieloleciu 1999-2021;
- dla fosforu ogólnego – stwierdzono 3,0% wzrostu depozycji w rejonie stacji w Sulejowie, 17,3% w rejonie stacji w Legnicy, 42,2% w rejonie stacji w Gorzowie Wielkopolskim

oraz 330,9% wzrostu depozycji w rejonie stacji na Śnieżce, w stosunku do średniej dla podanej stacji z rocznych depozycji w wieloleciu 1999-2021.

Na **21** stacjach, w 2022 r. zmniejszyły się roczne depozycje **azotu amonowego**, w stosunku do średniej z rocznych depozycji w latach 1999-2021. Wielkość spadku ładunków azotu amonowego zmieniała się od 47,9% w Poznaniu i (w kolejności malejącej zmiany) na stacjach: w Lesku, Łebie i Olsztynie, Chojnicach, Sandomierzu, Zielonej Górze, Gdańsku, Białymstoku, Nowym Sączu, Gorzowie Wielkopolskim, we Włodawie, w Świnoujściu, Toruniu, na Kasprowym Wierchu, w Suwałkach, Legnicy, Raciborzu, Kaliszu i w Katowicach oraz najmniejszy spadek w Sulejowie o 2,1%. Odnotowano wzrost depozycji azotu amonowego w stosunku do poziomu średniej wieloletniej na stacji na Śnieżce o 31,0%.

Na **21** stacjach, w 2022 r. zmniejszyły się roczne depozycje **azotu ogólnego**, w stosunku do średniej z rocznych depozycji w latach 1999-2021. Wielkość spadku ładunków **azotu ogólnego** zmieniała się od 48,8% w Lesku i (w kolejności malejącej zmiany) na stacjach: w Sandomierzu, Gorzowie Wielkopolskim, Zielonej Górze, Poznaniu, Raciborzu, Olsztynie, Nowym Sączu, Katowicach, na Kasprowym Wierchu, w Białymstoku, we Włodawie, w Chojnicach, Łebie, Suwałkach, Gdańsku, Świnoujściu, Legnicy, Sulejowie i w Kaliszu oraz najmniejszy spadek w Toruniu o 12,6%. Wzrost depozycji azotu amonowego w stosunku do poziomu średniej wieloletniej stwierdzono na stacji na Śnieżce o 3,3%.





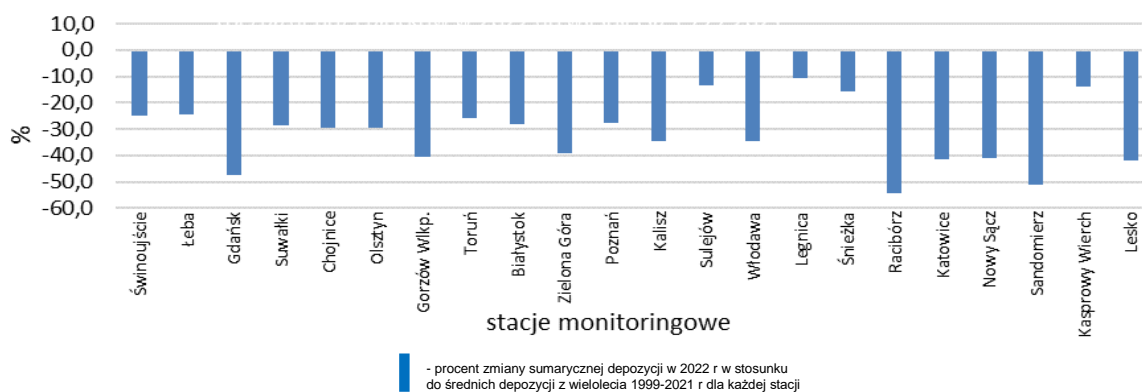
Rysunek 6.8. Procentowa zmiana depozycji związków biogennych: azotu amonowego, azotu ogólnego i fosforu ogólnego w opadach w 2022 roku w stosunku do ich średnich depozycji w wieloleciu 1999-2021

Na **18** stacjach w 2022 r., zmniejszyły się roczne depozycje **fosforu ogólnego**, w stosunku do średniej z rocznych depozycji w latach 1999-2021. Wielkość spadku ładunków jednostkowych **fosforu ogólnego** zmieniała się od 76,0% w Sandomierzu i (w kolejności malejącej zmiany) na stacjach: w Raciborzu, Lesku, Suwałkach, Olsztynie, Białymstoku, Chojnicach, we Włodawie, w Katowicach, Świnoujściu, Toruniu, na Kasprowym Wierchu, w Zielonej Górze, Nowym Sączu, Poznaniu, Gdańsku i Łebie oraz najmniejszy spadek stwierdzono w Kaliszu o 1,4%. Wzrost ładunków jednostkowych fosforu ogólnego w stosunku do średniej z rocznych depozycji w latach 1999-2021, odnotowano na czterech stacjach: w Sulejowie o 3,0%, w Legnicy o 17,3%, w Gorzowie Wielkopolskim o 17,3% i na Śnieżce o 330,9%.

6.4. Sumaryczne ładunki substancji na stacjach monitoringowych w odniesieniu do wielkości opadów atmosferycznych

Wielkość depozycji substancji z opadem, jest zależna od wielkości sum opadów atmosferycznych mokrych. Wraz ze wzrostem sum opadów, może wzrosnąć depozycja składników zanieczyszczenia.

Sumaryczna depozycja badanych substancji w 2022 r., dla wszystkich stacji była niższa od średniej depozycji z wielolecia 1999-2021 (wynoszącego 31,97 kg/ha), co przedstawiono na rysunku 6.9.



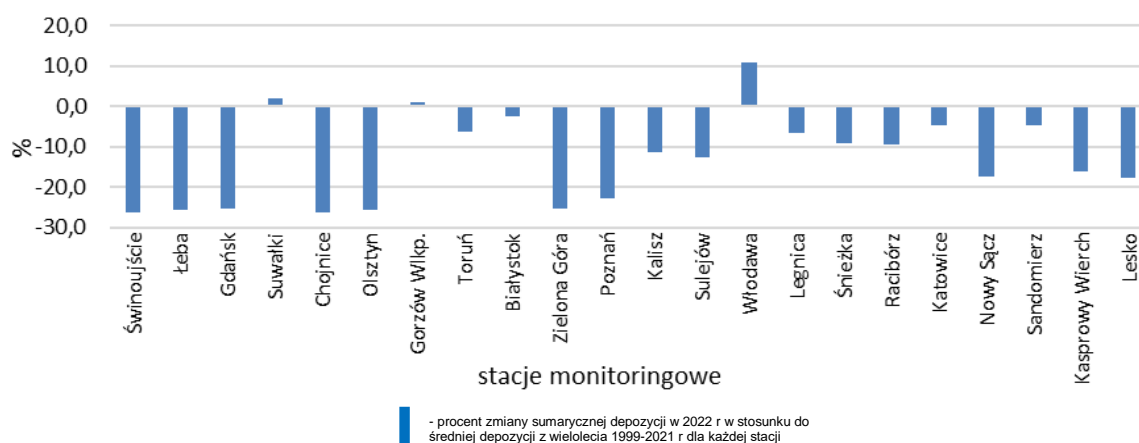
Rysunek 6.9. Procentowa zmiana rocznej sumarycznej depozycji z opadem na poszczególnych stacjach monitoringowych w 2022 roku w stosunku do średnich depozycji w wieloleciu 1999-2021

Średnia depozycja na stacjach w 2022 r. wynosiła 31,97 kg/ha i była niższa od średniej z wielolecia o 31,2%.

Wartość średnia wysokości opadu z wielolecia 1999-2021, dla 22 stacji łącznie, wynosiła 682,6 mm, natomiast średni opad roczny w 2022 roku wynosił 592,9 mm i był niższy o 13,1% od średniego z wielolecia. Mniejszą wysokość opadów od średniego z wielolecia odnotowano na 18 stacjach.

Roczna suma opadu, obliczona łącznie dla 22 stacji monitoringowych, była wyższa od średniej z wielolecia (682,6 mm) w przypadku 4 stacji, tj.: w Katowicach o 1,1%, Lesku o 2,7%, na Śnieżce o 44,9% i na Kasprowym Wierchu o 111,8%.

Rozpatrując sumy roczne opadu, na każdej stacji z osobna, w stosunku do średniej z wielolecia obliczonej indywidualnie dla każdej ze stacji uzyskamy informację o procentowej zmianie rocznej wysokości opadu, w stosunku do średniej z wielolecia, właściwej dla obszarów reprezentowanych przez każdą ze stacji monitoringowych co obrazuje rysunek 6.10.



Rysunek 6.10. Procentowa zmiana rocznej sumy opadów w 2022 roku na na każdej z poszczególnych stacji monitoringowych w stosunku do średniej sumy opadów dla każdej z poszczególnych stacji w wieloleciu 1999-2021

Na obszarach reprezentowanych przez 4 stacje (w Białymstoku, Toruniu, Legnicy, na Śnieżce), zaobserwowano spadek sumarycznej depozycji (od -10,5% do -28,1%), w stosunku do wartości średniej z wielolecia na poziomie procentowym wyższym, w porównaniu do spadku rocznej sumy opadów w rejonach tych stacji (w zakresie od -2,5% do -9,2%), w stosunku do wartości średniej z wielolecia 1999-2021.

Na obszarach reprezentowanych przez 7 stacji (w Sulejowie, na Kasprowym Wierchu, w Poznaniu, Olsztynie, Łebie, Świnoujściu i Chojnicach), zaobserwowano spadek sumarycznej depozycji w stosunku do wartości średniej z wielolecia (od -13,5% do -29,6%), na poziomie procentowym zbliżonym, nieznacznie niższym lub wyższym (w przypadku Kasprowego Wierchu, Łeby i Świnoujścia – niższym, a Sulejowa, Poznania Olsztyna i Chojnic – wyższym), w porównaniu do spadku rocznej sumy opadów w rejonach tych stacji (w zakresie od -12,6% do -26,3%), w stosunku do wartości średniej z wielolecia 1999-2021 (zestawienie w tabeli 6.1.).

Na obszarach reprezentowanych przez 3 stacje (w Gorzowie Wielkopolskim, Suwałkach i Włodawie), zaobserwowano znaczny spadek sumarycznej depozycji (od -28,5% do -40,5%) w stosunku do wartości średniej z wielolecia, na poziomie procentowym znacznie wyższym, nieadekwatnie w porównaniu do wzrostu

(od 0,9% do 10,8%) rocznej sumy opadów w stosunku do wartości średniej z wielolecia w rejonach tych stacji.

Tabela 6.1. Zmiana sumarycznej depozycji w 2022 roku na poszczególnych stacjach monitoringowych w stosunku do średniej depozycji w wieloleciu 1999-2021 w odniesieniu do zmiany sum opadów w 2022 roku w stosunku do sum opadów w wieloleciu 1999-2021

nazwa stacji	spadek sumarycznej depozycji w 2022 r. w stosunku do wielolecia 1999-2021 (%)	spadek rocznej sumy opadów w 2022 r. w stosunku do wielolecia 1999-2021 (%)
Białystok	-28,1	-2,5
Toruń	-25,9	-6,3
Legnica	-10,5	-6,7
Śnieżka	-15,5	-9,2
Sulejów	-13,5	-12,6
Kasprowy Wierch	-13,7	-16,3
Poznań	-27,4	-22,9
Olsztyn	-29,4	-25,5
Łeba	-24,2	-25,8
Świnoujście	-24,8	-26,3
Chojnice	-29,6	-26,3

nazwa stacji	spadek sumarycznej depozycji w 2022 r. w stosunku do wielolecia 1999-2021 (%)	wzrost rocznej sumy opadów w 2022 r. w stosunku do wielolecia 1999-2021 (%)
Gorzów Wielkopolski	-40,5	0,9
Suwałki	-28,5	2,1
Włodawa	-34,5	10,8

nazwa stacji	duży spadek sumarycznej depozycji w 2022 r. w stosunku do wielolecia 1999-2021 (%)	spadek rocznej sumy opadów w 2022 r. w stosunku do wielolecia 1999-2021 (%)
Katowice	-41,2	-4,7
Sandomierz	-51,3	-4,8
Racibórz	-54,2	-9,4
Kalisz	-34,6	-11,3
Nowy Sącz	-41,0	-17,5
Lesko	-42,1	-17,8
Gdańsk	-47,2	-25,4
Zielona Góra	-38,9	-25,5

Wyraźnie większy spadek depozycji w stosunku do spadku sum opadów, może wskazywać na wyraźniej zarysowany charakter malejącej depozycji całkowitej, na powyżej wymienionych stacjach monitoringowych.

Na obszarze reprezentowanym przez 8 stacji (w Katowicach, Sandomierzu, Raciborzu, Kaliszu, Nowym Sączu, Lesku, Gdańsku i Zielonej Górze), zaobserwowano znaczny spadek sumarycznej depozycji (od -34,6% do -54,2%), w stosunku do wartości średniej z wielolecia, w porównaniu do nieproporcjonalnie mniejszego spadku rocznej sumy opadów w rejonach tych stacji (w zakresie od -4,7% do -25,5%), w stosunku do wartości średniej z wielolecia 1999-2021 w rejonach tych stacji (*tabela 6.1.*).

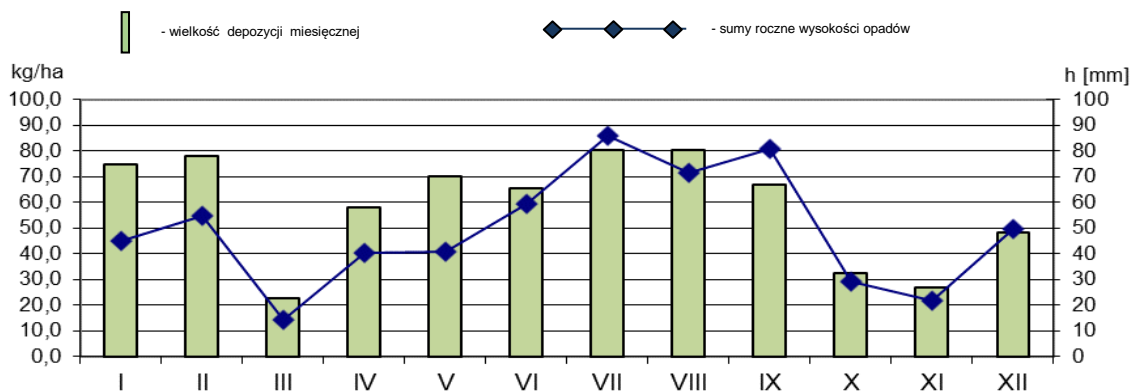
Największe miesięczne ilości substancji, zostały zdeponowane z opadem mokrym na obszar Polski w **sierpniu** i w **lipcu** (odpowiednio 80,23 kg/ha i 80,17 kg/ha), a w drugiej kolejności w **lutym** i w **styczniu**. (odpowiednio 78,08 kg/ha i 74,91 kg/ha). W przypadku **sierpnia**, średnia obszarowa suma opadów wyniosła 71,4 mm, a w **lipcu** 86,1 mm (*tabela 36*), odnotowano wówczas deficyt opadów od średniej wartości dla sierpnia o 1,5%, a dla lipca 10,8% (odpowiednio 98,5% i 89,2% wartości przeciętnej miesięcznej z wielolecia). Opady średnio obszarowo w **lutym** i **styczniu** nie były tak znaczne w porównaniu z letnimi miesiącami i wynosiły odpowiednio 54,7 mm i 44,8 mm, ale przyniosły nadmiar wody opadowej w stosunku do średniej normy wieloletniej o 52% i 7,3% (odpowiednio 152,0% i 107,3% wartości przeciętnej miesięcznej z wielolecia). Na dużym obszarze Polski opady odznaczały się dodatnimi odchyleniami od normy (na 22 stacjach), z których największe wystąpiły w Gorzowie Wielkopolskim, Łebie, Świnoujściu, Sandomierzu, w Legnicy, Chojnicach, we Włodawie, Lesku i Zielonej Górze (sumy stanowiące odpowiednio 361,6%, 248,3%, 241,0%, 239,8%, 238,8%, 229,3%, 214,1% i 204,1% oraz 200,7% średniej wieloletniej).

Najmniejszą depozycję badanych substancji na obszar Polski opady wprowadziły w **marcu**, a w drugiej kolejności w **listopadzie**. Z kolei **największy deficyt opadów** był notowany właśnie w **marcu**, a w drugiej kolejności w **listopadzie**.

W **marcu** średnia obszarowa suma opadów wyniosła 14,3 mm, co stanowiło deficyt opadów od średniej wartości o 66,3% (33,7% wartości przeciętnej miesięcznej z wielolecia). Deficyt opadów wystąpił na wszystkich 22 stacjach. Na większości obszaru Polski (15 stacji monitoringowych reprezentujące obszar kraju), opady odznaczały się dużym deficytem z odchyleniem od normy o ponad 50%, a na 7 stacjach (głównie na południu i południowym wschodzie kraju), zanotowano jedynie sumy opadów poniżej średnich wartości wieloletnich dla okresu 1991-2020.

Na większości obszaru Polski (21 stacje monitoringowe reprezentujące obszar kraju), opady odznaczały się dużym deficytem z odchyleniem od normy o ponad 50%, a na jednej stacji we Włodawie, nie występowały odchylenia od normy o ponad 50% poniżej średnich wartości wieloletnich dla okresu 1981-2010. Sumy opadów w całej Polsce stanowiły od 0,0% w Gdańsku, Olsztynie i Toruniu, gdzie nie wystąpiły opady w marcu i Chojnicach 0,5% w marcu (suma miesięczna 0,2 mm) do 361,6% średnich wartości wieloletnich dla okresu 1991-2020 w Gorzowie Wielkopolskim (przy sumie miesięcznej 164,6 mm) we wrześniu. Sumy roczne opadów w całej Polsce, stanowiły przedział od 72,1% średnich wartości wieloletnich dla okresu 1991-2020 w Gdańsku (suma roczna 376,2 mm) do 115,4% średnich wartości wieloletnich dla okresu 1991-2020 we Włodawie (suma roczna

649,1 mm), gdzie zanotowano 7 miesięcy z występowaniem sumy opadów powyżej średnich wartości wieloletnich (rysunek 6.11., tabela 15, 18, 36).



Rysunek 6.11. Sumy ładunków wprowadzanych z opadami w poszczególnych miesiącach roku oraz sumy wysokości opadów w poszczególnych miesiącach 2022 roku na 22 stacjach monitoringowych

W miesiącu listopadzie, w przypadku 15 stacji reprezentujących obszar Polski z 22 stacji monitoringowych, zanotowano sumy opadów poniżej średnich wartości wieloletnich dla okresu 1991-2020, a średnia suma obszarowa opadów listopada – 21,9 mm, stanowiła 48,3% wartości wieloletniej dla miesiąca listopada. Deficyt opadów zawierał się w przedziale od 13,4% średniej wieloletniej w Olsztynie (6,3 mm) do 93,2% średniej wieloletniej w Sandomierzu (27,4 mm). Nadmiar sumy opadów, powyżej średnich wartości wieloletnich o 141,4%, wystąpił tylko w Legnicy (40,8 mm) (rysunek 6.11., rysunek 43b, tabela 15, 18, 36).

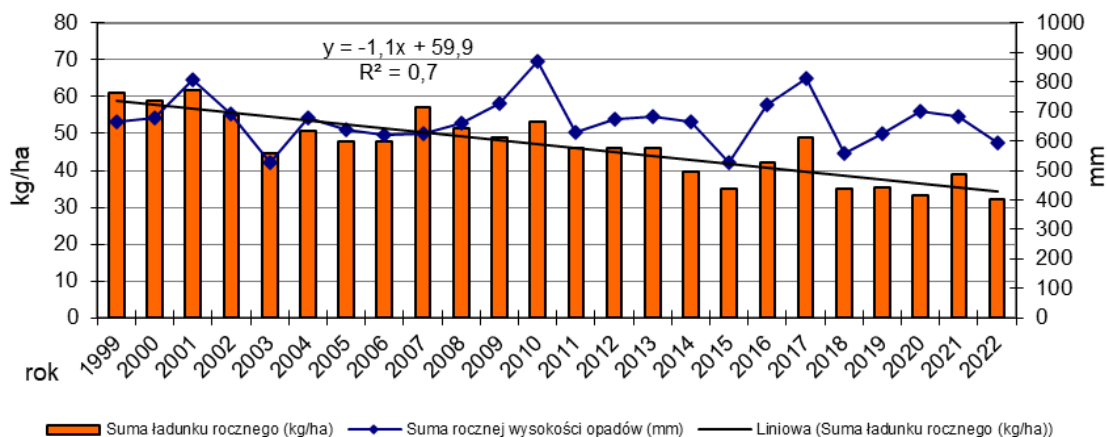
Sezonowo, wody opadowe wprowadziły na obszar Polski, większe ilości substancji w okresie ciepłym roku niż chłodnym, odpowiednio 60% i 40% ładunku rocznego, przy większym udziale wody opadowej w okresie ciepłym niż chłodnym odpowiednio 64% i 36% opadu rocznego.

Większe ładunki poszczególnych substancji w okresie ciepłym, wystąpiły w przypadku siarczanów, azotu azotynowego i azotanowego, azotu amonowego, azotu ogólnego, fosforu ogólnego, potasu, wapnia, magnezu, cynku, miedzi, niklu i chromu oraz wolnych jonów wodorowych. W okresie chłodnym, wystąpiły większe ładunki chlorków, sodu i ołowiu oraz kadmu (tabele 73, 75). Wpłynęły na to wyższe sumy opadów z okresu ciepłego (ok. 64% sumy rocznej) oraz znaczące wielkości stężeń wielu istotnych ilościowo składników w opadach w okresie ciepłym roku (tabela 15, 36).

Roczne, obciążenie powierzchniowe badanymi substancjami w 2022 roku, terenów reprezentowanych przez 22 stacje monitoringowe wynosiło średnio – **31,97 kg/ha**, przy średniej rocznej wysokości opadów **593 mm**. Średnie obciążenie w wieloleciu 1999-2021 wynosiło 48,48 kg/ha.

Na podstawie rozkładu średnich rocznych depozycji, dla 22 stacji monitoringowych, na tle opadów, prezentowanego na *rysunku 6.12.*, można stwierdzić tendencję malejącą, **istotną statystycznie**, średnich rocznych depozycji na obszarach kraju reprezentowanych przez dwadzieścia dwie stacje monitoringowe oraz zależność wielkości średniej rocznej depozycji od średniej sumy rocznej wysokości opadów na tych stacjach. Jedynie średnia roczna depozycja dla roku 2007 odbiega od tej zależności. W pierwszych latach badań,

1999-2002, średnie roczne depozycje z opadem były bardzo wysokie (w zakresie 55,0-61,7 kg/ha) i opady były również jedne z wyższych (w zakresie 666-809 mm).



Rysunek 6.12. Średnia roczna depozycja w opadach oraz średnie sumy roczne wysokości opadów na dwudziestu dwóch stacjach monitoringowych w latach badań 1999-2022

W okresie dwudziestu trzech lat prowadzonych badań, miały miejsce trzy lata bardzo suche (2003, 2015 i 2018), o niskiej (opad średnioroczny poniżej 600 mm) średniej sumie rocznej opadów na dwudziestu dwóch stacjach monitoringowych, a omawiany rok badań nie był wilgotny i ze względu na wysokość opadów na 22 stacjach monitoringowych, można go porównać do roku 2006 lub 2018. We wszystkich latach, średnie roczne depozycje były znacznie wyższe niż w 2022 roku. Zbliżoną wielkość średniej rocznej depozycji, można stwierdzić jedynie w 2020 roku (pierwszy rok pandemii), ale wtedy wystąpiły wysokie średnioroczne opady wynoszące 700 mm. W latach bardziej wilgotnych (2001, 2004, 2009, 2010, 2016, 2017 i 2020), gdy opad średnioroczny był zbliżony lub wyższy od 700 mm, średnie roczne depozycje były wysokie (tabela 6.1.).

6.5. Rozkłady przestrzenne depozycji badanych substancji w 2022 roku (według modelu rozkładu przestrzennego)

Rozkłady przestrzenne stężeń i depozycji poszczególnych substancji w opadach, zostały wykonane z wykorzystaniem modelu rozkładu IDW programu ArcView. Rozkłady przestrzenne miesięcznych stężeń substancji w opadach i rozkłady przestrzenne wysokości opadów, posłużyły dalej obliczeniu rozkładów przestrzennych miesięcznych depozycji badanych substancji, a następnie rocznych depozycji i średniorocznych ważonych stężeń (waga – wysokość opadów) dla obszaru całego kraju. Danymi wejściowymi do modelu rozkładu, były stężenia średniomiesięczne siedemnastu badanych wskaźników, na dwudziestu dwóch stacjach monitoringowych i miesięczne dane opadowe z tych stacji oraz dane opadowe ze stu sześćdziesięciu dwóch posterunków opadowych, stanowiących pole średnich sum opadów dla obszaru Polski.

Wykonane rozkłady przestrzenne wykazują duże zróżnicowanie zarówno w odniesieniu dla poszczególnych składników jak i różnych regionów kraju. Wyraźne zróżnicowanie pomiędzy najwyższymi i najniższymi ładunkami substancji wynika z istotnego wpływu ilości opadów na wielkość depozycji. Nie jest to zależność prosta i różnie rozkłada się przy poszczególnych składnikach opadów w zależności od miejsca

położenia na obszarze kraju, występowania opadów w różnych okresach, pochodzenia z różnych obszarów kształtowania się zanieczyszczeń oraz przebiegu innych czynników z kompleksu warunków meteorologicznych (rozdział 4), modelujących wielkość ładunków docierających z opadami atmosferycznymi do powierzchni terenu.

Roczny, obliczony według modelu, **rozkład przestrzenny sumarycznej depozycji** badanych składników w opadach, wykazał występowanie największego obciążenia w miesiącach: w styczniu, lipcu i lutym oraz w drugiej kolejności w sierpniu i maju, ale nie stwierdzono wyraźnego bezpośredniego związku w odniesieniu do stwierdzonych największych sum opadów, które występowały w miesiącach: w lipcu, we wrześniu i w sierpniu, a następnie w czerwcu i lutym. Najniższe depozycje badanych składników w opadach, **rozkład przestrzenny wykazał** w miesiącach: w marcu, listopadzie i październiku oraz w kwietniu i maju.

Sezonowo, wody opadowe wprowadziły na obszar Polski, większe ilości substancji w okresie ciepłym roku niż chłodnym, odpowiednio 58% i 42% rocznej depozycji, w tym: 56% związków kwasotwórczych, 66% związków biogennych oraz 55% metali lekkich i 54% metali ciężkich, przy większym udziale wody opadowej w okresie ciepłym niż chłodnym odpowiednio 62% i 38% opadu rocznego. Pomimo większej depozycji ogółem w okresie ciepłym wykazano, że w okresie chłodnym większy był udział depozycji ołowiu, kadmu, chlorków i sodu.

Roczny, obliczony według modelu, **rozkład przestrzenny sumarycznej depozycji** badanych składników w opadach, wykazał występowanie największego obciążenia na terenach województwa wielkopolskiego 39,35 kg/ha, co stanowi 123% średniego obciążenia dla obszaru Polski, wynoszącego **32,08 kg/ha**, gdzie tak duże obciążenie województwa nie mogło być częściowo wynikiem wyższych rocznych wysokości opadów, (512,4 mm), tj. tylko 90% ogólnopolskiej (według modelu), średniej rocznej wysokości opadu wynoszącej **569,9 mm** (tabela 6.2.).

Tabela 6.2. Zestawienie sumarycznej depozycji w opadach w poszczególnych województwach w 2022 roku w stosunku do depozycji w wieloleciu 1999-2021 w odniesieniu do sum rocznych opadów dla poszczególnych województw w 2022 roku w stosunku do sum opadów w wieloleciu 1999-2021

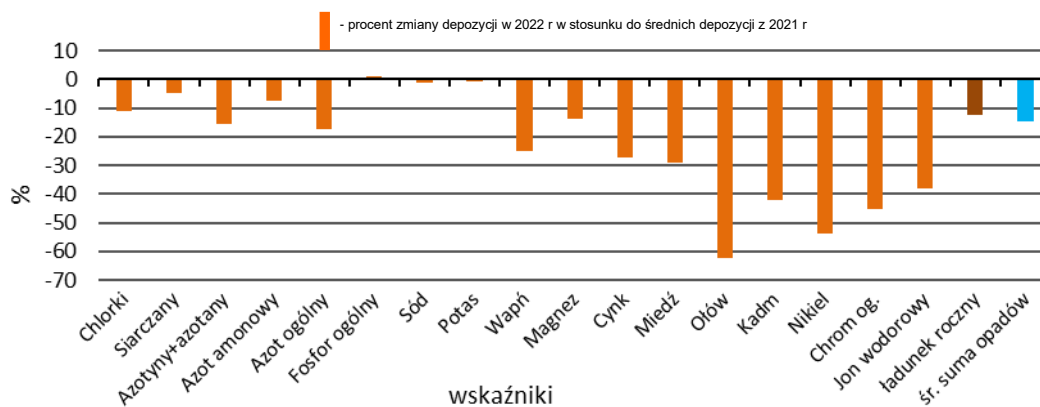
nazwa województwa	depozycja w województwie w stosunku do wielkości średniego obciążenia dla Polski w 2022 r. (%)	średnia roczna suma opadów województwa w stosunku do średniej dla Polski w 2022 r. (%)
wielkopolskie	123	90
dolnośląskie	120	106
małopolskie	118	125
śląskie	115	119
łódzkie	111	104
zachodniopomorskie	109	87
opolskie	108	109
pomorskie	105	94
kujawsko-pomorskie	105	88

nazwa województwa	depozycja w województwie w stosunku do wielkości średniego obciążenia dla Polski w 2022 r. (%)	średnia roczna suma opadów województwa w stosunku do średniej dla Polski w 2022 r. (%)
warmińsko-mazurskie	94	96
świętokrzyskie	92	107
mazowieckie	88	96
lubuskie	86	85
podkarpackie	84	111
podlaskie	83	111
lubelskie	71	102

Wyższe od średniego, obciążenia występowały również na terenach ośmiu innych województw, przy rocznej wysokości opadu na zróżnicowanym poziomie, wyższym lub niższym od przeciętnej krajowej wysokości opadu. Należy zwrócić uwagę, że ilość opadów atmosferycznych nie w każdym przypadku ma proste przełożenie na wielkość depozycji substancji wprowadzanych z opadami w województwach (tabela 6.2.).

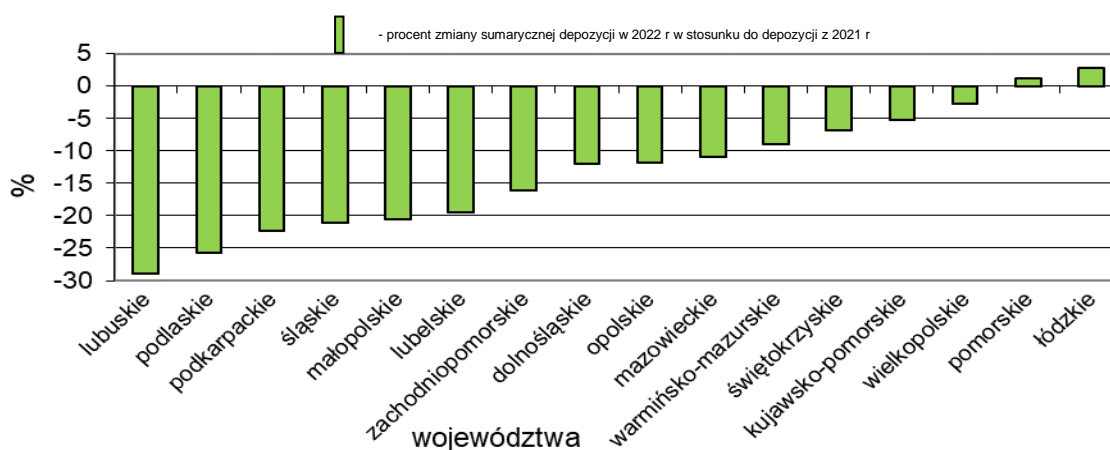
Na terenach siedmiu województw, obciążenie badanymi substancjami, kształtowało się na poziomie nieco niższym od średniego dla Polski, przy rocznej wysokości opadu na zróżnicowanym poziomie, wyższym lub niższym od przeciętnej krajowej wysokości opadu.

Obciążenie powierzchniowe obszaru Polski substancjami deponowanymi w 2022 r., w porównaniu do obciążenia w 2021 r., było wyższe o 12,5% przy niższej średniorocznej wysokości opadu o około 14,5%. Odnotowano wzrost depozycji, dla trzynastu z siedemnastu badanych substancji, przy pewnym zróżnicowaniu w zależności od rodzaju substancji (rysunek 6.13.). Depozycja siarczanów wniesionych wraz z opadami zmniejszyła się o 11,1%, chlorków o 4,9%, azotu azotynowego i azotanowego o 15,7%, azotu amonowego o 7,5%, azotu ogólnego o 17,2%, sodu o 1,0%, potasu o 0,6%, wapnia o 25,1%, magnezu o 13,7%, cynku o 27,2%, miedzi o 29,0%, ołowiu o 62,1%, kadmu o 42,3%, niklu o 53,6% i chromu o 45,4%. oraz wolnych jonów wodorowych o 37,8%. Odnotowano wzrost depozycji tylko dla fosforu ogólnego o 1,2%.



Rysunek 6.13. Procentowa zmiana depozycji poszczególnych wskaźników zanieczyszczeń oraz sumarycznej depozycji rocznej w opadach zebranych w 2022 roku w stosunku do depozycji w 2021 roku

Średnia sumaryczna depozycja badanych substancji w opadach, wniesiona w 2022 r. na powierzchnię szesnastu województw, była niższa o 12,5% od średniej w 2021 r. Spadek depozycji stwierdzono na powierzchni czternastu województw. Największy spadek depozycji odnotowano w województwie lubuskim (o 29,0%), podlaskim (o 25,7%), podkarpackim (o 22,4%), śląskim (o 21,1%), małopolskim (o 20,6%), lubelskim (o 19,5%), zachodniopomorskim (o 16,0%), dolnośląskim (o 12,0%), opolskim (o 11,7%), mazowieckim (o 10,9%), warmińsko-mazurskim (o 9,0%), świętokrzyskim (o 6,8%) i kujawsko-pomorskim (o 5,2%) oraz wielkopolskim (o 2,7%). Wzrost depozycji odnotowano w dwóch województwach: w pomorskim (o 1,3%) i w łódzkim (o 2,9%) (rysunek 6.14.).



Rysunek 6.14. Procentowa zmiana sumarycznej depozycji rocznej w opadach na powierzchnię poszczególnych województw w 2022 roku w stosunku do depozycji w 2021 roku

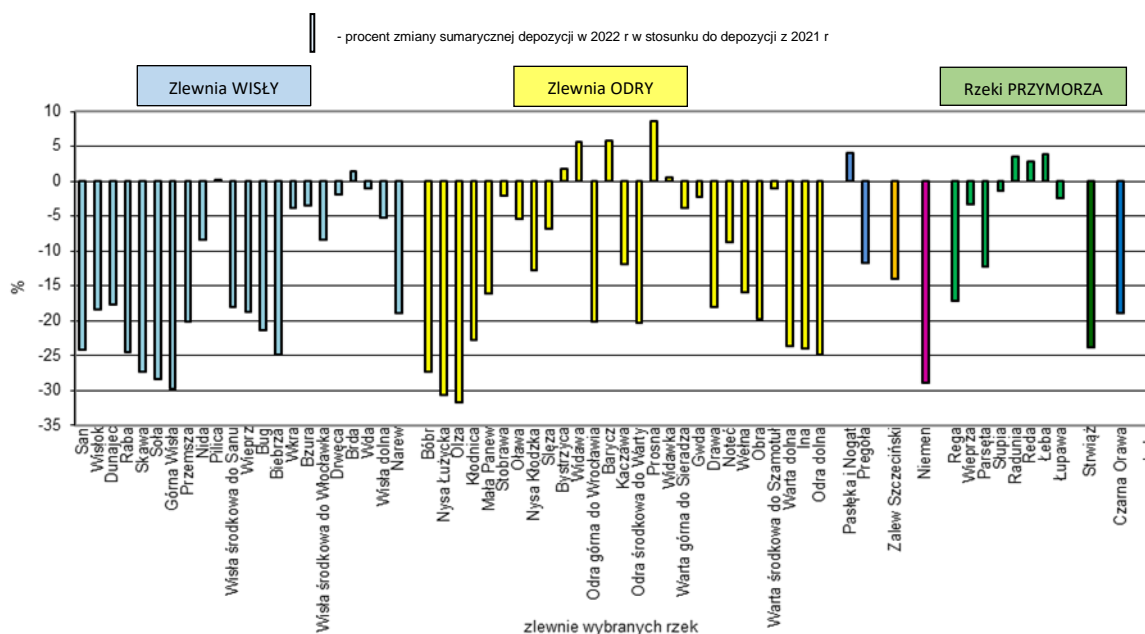
Średnia sumaryczna depozycja badanych substancji w opadach, wniesiona w 2022 r. na powierzchnię 64 zlewni wybranych rzek w Polsce, była niższa o 12,5% od średniej w 2021 r.

Sumaryczna depozycja badanych substancji w opadach, wniesiona w 2022 r. na powierzchnię 64 zlewni wybranych rzek w Polsce, była mniejsza niż w 2021 r. dla pięćdziesięciu trzech zlewni (82,8% zlewni), a procent zmiany spadkowej wykazano w zakresie od 31,7% dla zlewni Olzy do 1,1% dla zlewni Wdy i Warty środkowej do Szamotuł. Zmiany wzrostowe zaobserwowano dla jedenastu zlewni w zakresie od 0,3% dla zlewni Pilicy i kolejno dla Widawki (o 0,5%), Brdy (o 1,4%), Bystrzycy (o 1,8%), Redy (o 2,9%), Raduni (o 3,4%), Pasłęki i Nogatu oraz Łeby (po 4,0%), Widawy i Baryczy (po 5,7%) oraz Proсны (o 8,5%) (rysunek 86, 87, tabela 77).

Sumaryczna depozycja pięćdziesięciu trzech zlewni była mniejsza niż w 2021 r., a procent najwyższych zmian spadkowych wykazano w przedziale (od -31,7% do -20,1%) od 31,7% dla zlewni Olzy i w kolejności malejącego spadku, odnotowano dla zlewni Nysy Łużyckiej (o 30,6%), Górnej Wisły (29,8%), Niemna (o 28,9%), Soły (o 28,4%), Skawy (o 27,4%), Bobru (27,2%), Odry dolnej (24,9%), Biebrzy (o 24,8%), Raby (o 24,4%), Sanu i Iny (po 24,1%), Strwiąża (o 23,8%), Warty dolnej (o 23,6%), Kłodnicy (o 22,7%), Bugu (o 21,4%), Odry środkowej do Warty (o 20,3%), Odry górnej do Wrocławia (o 20,2%)

i Przemszy (o 20,1%). Mniejsze zmiany spadkowe wykazano w przedziale (od -19,8% do -11,6%) od 19,8% dla zlewni Obry i w kolejności malejącego spadku, odnotowano dla zlewni Narwi (o 18,9%), Czarnej Orawy i Wieprza (po 18,8%), Wisłoka (o 18,3%), Drawy (o 18,1%), Wisły środkowej do Sanu (o 18,0%), Łaby (o 17,8%), Dunajca (o 17,6%), Regi (o 17,1%), Małej Panwi (o 16,1%), Wełny (o 15,9%), Zalewu Szczecińskiego (o 14,0%), Nysy Kłodzkiej (o 12,7%), Parsęty (o 12,3%), Kaczawy (o 11,9%) i Pregoty (o 11,6%). Najmniejsze zmiany spadkowe wykazano w przedziale (od -8,8% do -1,1%) dla zlewni Noteci (o 8,8%) i w kolejności malejącego spadku, odnotowano dla zlewni Nidy i Wisły środkowej do Włocławka (po 8,4%), Ślęzy (o 6,9%), Oławy (o 5,3%), Wisły dolnej (o 5,2%), Wkry i Warty górnej do Sieradza (po 3,9%), Bzury (o 3,6%), Wieprzy (o 3,3%), Łupawy (o 2,5%), Gwdy (o 2,2%), Stobrawy (o 2,0%), Drwęcy (o 1,8%), Słupi (o 1,4%) i Warty środkowej do Szamotuł oraz Wdy (po 1,1%).

Zmiany procentowe sumarycznego ładunku rocznego w 2022 roku, wprowadzonego z opadem na poszczególne zlewnie, w stosunku do wartości uzyskanych w 2021 roku, przedstawiono na rysunku 6.15.

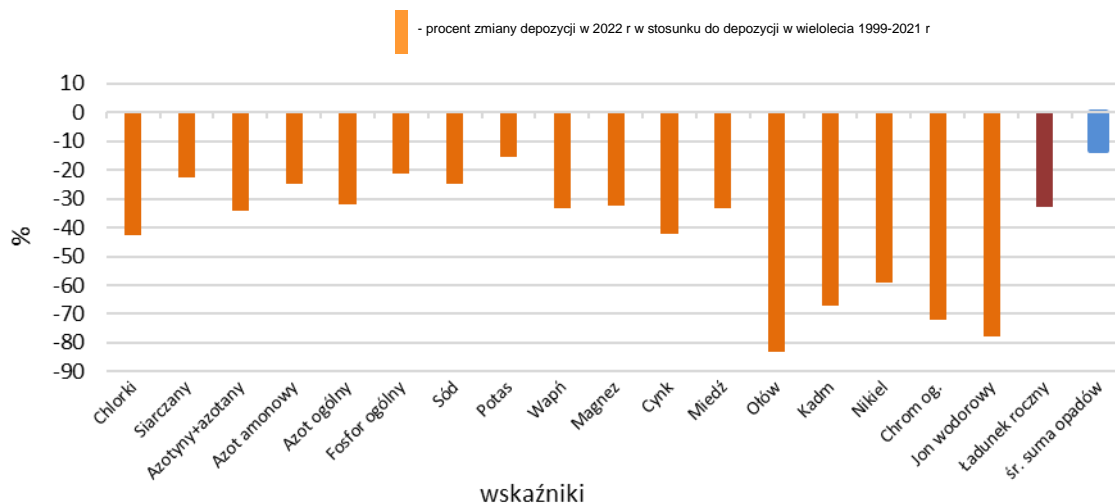


Rysunek 6.15. Procentowa zmiana sumarycznej depozycji rocznej w opadach na powierzchnię poszczególnych zlewni wybranych rzek w Polsce w 2022 roku w stosunku do depozycji w 2021 roku

6.6. Zmiany depozycji badanych substancji w latach 1999-2022 (według modelu rozkładu przestrzennego)

Badania monitoringowe chemizmu opadów atmosferycznych, prowadzone w sposób ciągły w latach 1999-2022, dały możliwość porównania obciążenia powierzchniowego badanymi substancjami obszaru Polski w poszczególnych latach (tabela 78, rysunek 89). Porównując średnie ładunki jednostkowe badanych substancji, obliczone według modelu rozkładu przestrzennego, ustalono, że w stosunku do średniego z wielolecia 1999-2021, w 2022 r. obciążenie powierzchniowe obszaru Polski badanymi substancjami było mniejsze o 32,9% (wynosiło 32,08 kg/ha rok) przy niższej o 13,2% (86,7 mm) średniorocznej wysokości opadów. Wnoszony w 2022 r. wraz z opadami ładunek był niższy w przypadku

wszystkich badanych substancji: siarczanów o 22,5%, chlorków o 42,6%, azotu azotynowego i azotanowego o 34,2%, azotu amonowego o 25,1%, azotu ogólnego o 32,0%, fosforu ogólnego o 21,2%, sodu o 24,7%, potasu o 15,6%, wapnia o 33,2%, magnezu o 32,3%, cynku o 42,3%, miedzi o 33,3%, ołowiu o 83,2%, kadmu o 67,3%, niklu o 59,2%, chromu ogólnego o 72,2% i wolnych jonów wodorowych o 67,6% (rysunek 6.16.).



Rysunek 6.16. Procentowa zmiana depozycji poszczególnych wskaźników zanieczyszczeń i sumarycznego ładunku rocznego w opadach badanych w 2022 roku w stosunku do ładunków w wieloleciu 1999-2021

7. Wpływ zanieczyszczeń z opadów atmosferycznych na stan środowiska

Na podstawie uzyskanych, w latach 1999-2022, wyników badań monitoringowych chemizmu opadów atmosferycznych i depozycji zanieczyszczeń do podłoża stwierdzono, że zdeponowane w 2022 roku ilości substancji z atmosfery są dużo niższe, niż we wszystkich dwudziestu czterech latach badań, a zatem mamy poprawę jakości opadów atmosferycznych mokrych. Stwierdzone w 2022 roku, wielkości depozycji zanieczyszczeń z opadem, nadal stanowią znaczne źródło zanieczyszczeń obszarowych i mogą negatywnie oddziaływać na środowisko. Szczególnie ujemny wpływ mogą mieć kwasotwórcze związki siarki i azotu (kwaśne deszcze), związki biogenne i metale ciężkie.

7.1. Zakwaszenie opadów atmosferycznych

Opady atmosferyczne charakteryzują się dużym stopniem zakwaszenia. Kwaśne deszcze są wynikiem zanieczyszczeń powietrza emitowanych do atmosfery, przede wszystkim kwasotwórczych związków siarki i azotu. Emitowane gazy: dwutlenek siarki, tlenki azotu, amoniak ulegają w atmosferze reakcjom chemicznym z wodą, przekształcając się w odpowiednie kwasy mineralne. Stanowią one zagrożenie nie tylko środowiska naturalnego i wywołują negatywne zmiany w strukturze oraz funkcjonowaniu ekosystemów lądowych i wodnych, ale także dla infrastruktury technicznej (np. linie energetyczne). Opisując związki kwasotwórcze w opadach atmosferycznych, wymieniamy siarczany, azotyny i azotany oraz chlorki. Depozycja tych związków w wieloleciu 1999-2022, wykazuje okresy ciągłego (większego lub mniejszego) spadku za wyjątkiem lat 2019 i 2020, gdzie stwierdzono wzrost depozycji siarczanów (rysunek 6.4., rysunek 44÷46, 61, 89).

Ładunki siarczanów, wniesione z opadami w 2022 r. na obszar Polski, reprezentowany przez 22 stacje monitoringowe, kształtowały się średnio na poziomie niższym niż w 2021 r. i wynosiła średnio 8,98 kg/ha SO₄ (w zakresie od 4,69 kg/ha SO₄ w Łebie do 21,97 kg/ha SO₄ na Kasprowym Wierchu), natomiast chlorków średnio na poziomie 5,62 kg/ha Cl (w zakresie od 2,03 kg/ha Cl w Sandomierzu do 11,40 kg/ha Cl na Kasprowym Wierchu), a w przypadku sumy azotu pochodzącego od azotynów i azotanów średnio na poziomie 2,03 kg/ha N (w zakresie od 1,37 kg/ha N w Gdańsku do 4,87 kg/ha N na Śnieżce) (tabela 74). Średnio, na 22 stacje monitoringowe, opady atmosferyczne w 2022 r. wprowadziły sumę związków kwasotwórczych równą 16,62 kg/ha – to o 15,6% mniej niż w 2021 r. W stosunku do 2021 r., mniejsza była depozycja roczna siarczanów o 14,8%, chlorków o 15,6%, a depozycja azotynów i azotanów o 19,2%. W porównaniu do danych z wielolecia 1999-2021, stwierdzono spadek depozycji siarczanów o 40,1%, chlorków o 22,8% i azotu pochodzącego od azotynów i azotanów o 33,1%.

Omawiając kwasowość opadów atmosferycznych, mówimy o stężeniu zawartych w nich wolnych jonów wodorowych. Informację tą uzyskujemy wykonując pomiar pH, będący wskaźnikiem kwasowości (wartość pH, to ujemny logarytm stężenia jonów wodorowych w badanej próbce wody opadowej). Wartość pH=5,6 oznacza naturalny dla wód opadowych poziom stężenia wolnych jonów wodorowych wg tabeli 3.1.

Z zebranych, na 22 stacjach monitoringowych, 261 analizowanych próbek średniomiesięcznych, niższe od naturalnej dla wód opadowych ($\text{pH} = 5,6$) wartości pH wystąpiły w ponad 18,4% pomiarów próbek (tabela 38-49). W porównaniu do średniej z wielolecia 1999-2021, wynoszącej 59,1% nastąpił spadek procentowy ich występowania o ok. 41,%, a porównując do pierwszego roku badań, gdzie występowało 74% próbek o $\text{pH} \leq 5,6$, nastąpił spadek o 56% (rozdział 5.2).

Najniższa odnotowana wartość pH w 2022 r., wśród próbek średniomiesięcznych, wynosiła 4,70 (w listopadzie na stacji w Legnicy), a najwyższa wynosiła 7,12 (w marcu w Poznaniu). W wodach deszczowych, przy pH poniżej 5,6, zawartość mocnych kwasów mineralnych powoduje agresywne oddziaływanie na środowisko. Niska buforowość opadów atmosferycznych i ich bardzo mała mineralizacja (przewodność elektryczna właściwa w granicach 4,5-66,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$) powoduje, że nawet minimalne ilości związków kwasotwórczych obniżają wyraźnie odczyn opadów i zwiększają koncentrację wolnych jonów wodorowych. Wielkości stężeń wolnych jonów wodorowych w próbkach miesięcznych ze stacji monitoringowych, uzyskanych w 2022 r., kształtowały się średnio na poziomie 0,00155 $\text{mg}/\text{l H}^+$ i zmieniały się w przedziale od 0,00008 $\text{mg}/\text{l H}^+$ (w Poznaniu) do 0,01995 $\text{mg}/\text{l H}^+$ (w Legnicy) (tabela 50), natomiast wielkości średniomiesięczne ładunków wolnych jonów wodorowych, wprowadzanych w 2022 r. na obszar Polski, kształtowały się średnio na poziomie 0,00078 $\text{kg}/\text{ha H}^+$ i zmieniały się w przedziale od 0,000000 $\text{kg}/\text{ha H}^+$ (w Łebie, Suwałkach, Chojnicach, Białymstoku, Zielonej Górze, Poznaniu i Kaliszu) do 0,01814 $\text{kg}/\text{ha H}^+$ (w Legnicy) (tabela 72, rysunek 42, 43, 60). Opierając się na kryteriach stosowanych przez europejską klasyfikację wód opadowych i przyjmując skalę z podziałem na sześć klas wartości pH (tabela 3.1), w ocenie stopnia zakwaszenia opadów w tabeli 5.2. zamieszczono procentowe i ilościowe zestawienie uzyskanych pomiarów, w poszczególnych klasach wartości pH , na poszczególnych stacjach monitoringowych, a łącznie na wszystkich stacjach w tabeli 7.1.

Tabela 7.1. Procentowe i ilościowe zestawienie, ogółem na wszystkich stacjach monitoringowych, ilości wyników pomiarów odczynu próbek miesięcznych w poszczególnych klasach wartości pH w 2022 r.

klasa	przedział wartości pH	odczyn	procent przypadków, (ilość)
I	$\text{pH} > 6,5$	podwyższony	10,4% (27)
II	$6,1 \leq \text{pH} \leq 6,5$	lekko podwyższony	35,6% (93)
III	$5,1 \leq \text{pH} < 6,1$	normalny	52,1% (136)
IV	$4,6 \leq \text{pH} < 5,1$	lekko obniżony	1,9% (5)
V	$4,1 \leq \text{pH} < 4,6$	znacznie obniżony	0,0% (0)
VI	$\text{pH} < 4,1$	silnie obniżony	0% (0)

Odczyn opadów w próbkach średniomiesięcznych nie oddaje nam faktycznego, pełnego obrazu zjawiska „kwaśnych deszczy”, gdyż jest on wygładzony przez fakt,

że poszczególne, rejestrowane opady w każdej dobie na dany obszar mogą znacznie różnić się odczynem. Lepiej opisują to zjawisko, wyniki badań odczynu pojedynczych próbek opadów lub uśrednionej próbki z doby opadowej. W 2022 r., wykonano pomiary wartości pH w 2206 dobowych próbkach opadów, zebranych na 22 stacjach monitoringowych. Występowanie „kwaśnych deszczy”, o wartości pH poniżej 5,6 w tabeli 7.2., stwierdzono dla 846 próbek (ponad 38% wszystkich próbek) (tabela 52). W okresie lat 2001-2022, udział kwaśnych deszczy we wszystkich opadach zmalał o 36% (74% próbek w 2001 r. miało odczyn poniżej 5,6). W 2022 r., ilość próbek opadów o znacznie i silnie obniżonym odczynie (pH<4,6), wynosiła łącznie 6 %, a ilość próbek o takim odczynie zmalała o 22% w stosunku do ich procentowego udziału w ogólnej liczbie próbek w 2001 r. (rysunek 17÷25).

Tabela 7.2. Częstość występowania [w %] wartości pH w podziale na sześć klas wielkości w dobowych opadach ze stacji monitoringowych w latach 2001-2022 oraz ilość pomiarów wartości pH<5,6

klasa	przedziały wartości dla klas	2001 (IV-XII)	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
I	pH > 6,5	10%	15%	17%	17%	15%	17%	15%	17%	16%	15%	21%
II	6,1 ≤ pH ≤ 6,5	9%	12%	14%	11%	12%	13%	16%	16%	17%	16%	18%
III	5,1 ≤ pH < 6,1	23%	27%	28%	28%	27%	27%	31%	33%	34%	35%	32%
IV	4,6 ≤ pH < 5,1	31%	26%	24%	26%	26%	20%	22%	19%	22%	19%	21%
V	4,1 ≤ pH < 4,6	25%	18%	15%	17%	19%	20%	14%	14%	11%	14%	8%
VI	pH < 4,1	3%	2%	2%	2%	2%	3%	1%	1%	0%	1%	1%
ilość pomiarów		2420	2748	2524	3163	2880	2788	3238	2948	3221	3057	2194
ilość pomiarów z pH < 5,6 (%)		1780	1663	1432	1917	1773	1614	1757	1536	1672	1590	921
		74%	61%	57%	61%	62%	58%	54%	52%	52%	52%	47%

klasa	przedziały wartości dla klas	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
I	pH > 6,5	16%	17%	20%	17%	20%	15%	20%	19%	21%	23%	17%
II	6,1 ≤ pH ≤ 6,5	19%	18%	19%	19%	21%	22%	21%	24%	27%	25%	26%
III	5,1 ≤ pH < 6,1	33%	37%	36%	37%	36%	40%	36%	38%	38%	31%	41%
IV	4,6 ≤ pH < 5,1	21%	19%	16%	17%	15%	15%	15%	13%	8%	14%	10%
V	4,1 ≤ pH < 4,6	10%	7%	9%	9%	9%	8%	7%	6%	6%	7%	6%
VI	pH < 4,1	0%	1%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ilość pomiarów		2658	2197	2313	2201	2422	2733	1972	2172	2341	2058	2206
ilość pomiarów z pH < 5,6 (%)		1392	1390	1090	1089	1057	1226	875	876	800	815	846
		52%	56%	47%	49%	44%	45%	44%	40%	43%	40%	38%

7.2. Depozycja substancji biogennych

Deponowane z opadami atmosferycznymi substancje biogenne (związki azotu i fosforu), w istotny sposób przyczyniają się do zmian warunków troficznych gleb i wód. Depozycja azotu wniesiona z opadami w 2022 r. na obszar Polski, reprezentowany przez 22 stacje monitoringowe, kształtowała się średnio na poziomie 7,54 kg/ha N (w zakresie od 4,80 kg/ha N w Sandomierzu do 18,43 kg/ha N na Śnieżce), natomiast fosforu ogólnego średnio na poziomie 0,273 kg/ha P (w zakresie od 0,075 kg/ha P w Sandomierzu i Raciborzu do 1,525 kg/ha P na Śnieżce) (tabela 74). W porównaniu do 2021 roku, odnotowano wzrost wprowadzonych z opadem ilości związków biogennych na powierzchnię kraju, reprezentowaną przez stacje średnio o 2,5%. Oddziaływanie substancji biogennych można rozpatrywać, zarówno jako pozytywne (zasilanie terenów uprawianych rolniczo), jak i negatywne (stymulacja procesu eutrofizacji wód powierzchniowych). Duża depozycja substancji biogennych mogła być szczególnie negatywna, kiedy dotyczyła obszarów

wrażliwych na eutrofizację (zlewni wodociągowych, torfowiska, łąki górskie itp.). Niekorzystne oddziaływanie wzmacniane było przez fakt, że większa część wprowadzonych ładunków substancji biogennych została wniesiona w okresie ciepłym, co przy dużym nasłonecznieniu powodowało intensyfikację zakwitów glonów. Według Vollenweidera dla zbiorników i jezior, w zależności od ich parametrów morfometrycznych, dopuszczalne roczne obciążenie powierzchniowe wynosi około $1 \text{ g/m}^2\text{r}$ dla azotu, i około $0,10\text{-}0,15 \text{ g/m}^2\text{r}$ dla fosforu, co w przeliczeniu daje 10 kg/ha azotu i $1,0\text{-}1,5 \text{ kg/ha}$ fosforu. W 2022 r., nie zaobserwowano przekroczenia dopuszczalnego obciążenia fosforem dla wszystkich 64 wybranych zlewni rzek Polski (tabela 77). W 2022 r., depozycja azotu na obszary zlewni wybranych rzek, osiągnęła lub przekroczyła dopuszczalne obciążenie w przypadku 9 zlewni (14% zlewni), zlokalizowanych głównie na południu kraju (Łaba, Bystrzyca, Nysa Kłodzka, Prosna, Widawa, Oława, Bóbr, Stobrawa i Barycz). Stwierdzono poprawę warunków biogennych dla środowiska wodnego w stosunku do 2021 roku, w którym 18 zlewni (28% zlewni) przekroczyło dopuszczalne obciążenie azotem, co jednocześnie stanowiło bardzo dużą poprawę w stosunku do wielkości depozycji z opadem w 2017 r. (w 2017 r. 98% zlewni przekroczyło dopuszczalne roczne obciążenie powierzchniowe azotem). Gdyby cały ładunek azotu, deponowany z opadami atmosferycznymi dostawał się do wód powierzchniowych, to w niektórych zlewniach, same deszcze mogłyby stanowić zagrożenie dla naturalnych zbiorników wód stojących, sztucznych akwenów oraz dla wód retencjonowanych w zbiornikach zaporowych (tabela 76, rysunek 29÷31, 43, 47÷49, 62, 86 i 87).

7.3. Depozycja metali

Sumaryczne, roczne ładunki metali ciężkich, wnoszone z opadami atmosferycznymi stanowią zaledwie około 1% ich średniej zawartości w glebie. Większość z nich to mikroelementy, które w bardzo małych ilościach są niezbędne do prawidłowego przebiegu procesów życiowych. Jednocześnie, jednak są one substancjami toksycznymi, o dużej zdolności do akumulowania się, czyli gromadzenia w organizmach żywych. Metale ciężkie stanowią zagrożenie dla produkcji rolniczej (w uprawach warzyw), przede wszystkim na terenach uprzemysłowionych. Rośliny mogą ulegać skażeniu nie tylko przez glebę, ale także przez części nadziemne, łatwo zatrzymujące na swojej powierzchni metale. Metale ciężkie stanowią również zagrożenie na obszarach zlewni wodociągowych. Zagrożenie dla zlewni wodociągowych jest największe wiosną, gdyż w sezonie zimowym metale w opadzie gromadzone są w pokrywie śnieżnej i transportowane dopiero w okresie topnienia, zwiększając ich zawartość w wodach roztopowych. W 2022 r., na tereny reprezentowane przez 22 stacje monitoringowe, zostały wprowadzone ładunki sumaryczne badanych metali ciężkich wraz z opadami atmosferycznymi (w zakresie od $0,03483 \text{ kg/ha}$ w Raciborzu do $0,78467 \text{ kg/ha}$ w Kaliszu), średnio $0,23881 \text{ kg/ha}$ – to o 31,2% mniej niż w 2021 r. (w 2021 r. średnio było $0,346955 \text{ kg/ha}$, w 2019 r. średnio było $0,26917 \text{ kg/ha}$, w 2018 r. średnio było $0,31342 \text{ kg/ha}$ metali ciężkich), w tym: miedzi, cynku, ołowiu, kadmu, niklu i chromu (rysunek 36÷41, 43, 54÷59, 64, tabela 74).

Kationy zasadowe występujące w opadach (sód, potas, wapń, magnez) są, pod względem znaczenia ekologicznego, przeciwieństwem substancji kwasotwórczych, gdyż powodują neutralizację opadów względem związków kwasotwórczych, biogennych

i metali ciężkich. Ich oddziaływanie na środowisko jest pozytywne (rysunek 32÷35, 43, 50÷53, 63). Znajomość wielkości ich depozycji, pozwala weryfikować wielkości ładunków krytycznych kwasowości dla ekosystemów wrażliwych na związki kwasotwórcze. W 2022 roku, na tereny reprezentowane przez 22 stacje monitoringowe, zostały wprowadzone ładunki sumaryczne metali alkaliczne i ziem alkalicznych wraz z opadami atmosferycznymi średnio 9,31 kg/ha (w 2021 r. średnio 11,53 kg/ha) w zakresie od 4,05 kg/ha w Sandomierzu do 22,79 kg/ha N na Kasprowym Wierchu (tabela 74).

8. Podsumowanie

Zanieczyszczenia znajdujące się w atmosferze (naturalne i antropogenne), przenikają do opadów i z cyrkulacją powietrza zostają przenoszone na obszary nieraz bardzo odległe od źródeł emisji. Cyrkulacja atmosfery sprawia, że nad badany obszar z różnych kierunków, z różną frekwencją, napływają genetycznie odmienne masy powietrza (od zwrotnikowych po arktyczne, od oceanicznych po kontynentalne) i modelują warunki meteorologiczne panujące w okresie badań. Różne źródłowo obszary, nad którymi kształtują się fizyczne właściwości mas powietrza, a następnie obszary nad którymi przemieszczają się zanim dotrą nad obszar Polski, determinują skład substancji zawartych w powietrzu, a zatem również w opadach atmosferycznych. Z tego powodu, w danym punkcie pomiarowym, w różnych latach, ale w tym samym miesiącu lub sezonie badań, notuje się znaczne różnice w wielkościach sum opadów atmosferycznych, a konsekwencją są jednocześnie istotne różnice w wielkościach mokrego depozytu wnoszonego z opadami.

Raport zawiera wyniki badań chemizmu opadów atmosferycznych i depozycji zanieczyszczeń do podłoża na obszarze Polski w 2022 r. Wyniki badań przedstawiono na tle warunków meteorologicznych. Sporządzono analizę porównawczą warunków meteorologicznych, kształtujących chemizm opadów i depozycję substancji, w stosunku do przeciętnych wartości z wielolecia. Wyniki badań chemizmu opadów mokrych i depozycji zanieczyszczeń do podłoża za 2022 r., obejmujące pełny cykl roczny od 1 stycznia do 31 grudnia, porównano z wynikami uzyskanymi w badaniach prowadzonych w latach ubiegłych (1999-2021).

Warunki meteorologiczne

W 2022 r. przeważającym sektorem w kontekście napływu mas powietrza był sektor W. Adwekcje te najczęściej były związane z masami polarno-morskimi i pojawiały się z częstością 45%. Cyrkulacja południowa występowała z frekwencją 20%, zaś w przypadku cyrkulacji z sektora północnego częstość wyniosła 16%. Adwekcje mas powietrza ze wschodu stanowiły niecałe 11% stwierdzonych przypadków, natomiast cyrkulacja miejscowa Z pojawiała się z częstością równą 8%.

Cyrkulacja zachodnia była również przeważającą w kontekście przychodu wody z opadów. W czasie adwekcji z tego sektora zanotowano 51% ogólnej sumy opadów stwierdzonej w 2022 r. W przypadku pozostałych typów cyrkulacji, ilość opadów zmierzonych w czasie ich występowania stanowiła 15% dla sektora południowego, 14% dla sektora północnego, niecałe 11% dla sektora wschodniego i 9% dla cyrkulacji miejscowej Z. Najwyższą sumę opadów zmierzono na Lubelszczyźnie (Włodawa), gdzie stwierdzona nadwyżka klasyfikowała 2022 r. jako wilgotny. Na większości obszaru Polski, obserwowane sumy opadów były zbliżone do normy lub odznaczały się deficytem. Największy niedobór zaobserwowano na Pomorzu, Warmii i części Ziemi Lubuskiej, gdzie wyniósł on 25-28%, odpowiadając warunkom bardzo suchym lub na pograniczu suchych i bardzo suchych (tabele 15-16).

Mniejsze sumy wysokości opadów w niektórych miesiącach (marzec, listopad) 2022 r., były czynnikiem determinującym niższą depozycję zanieczyszczeń w opadach atmosferycznych mokrych. Decydowały one też o wyższych stężeniach w pojedynczych próbkach opadów, co stwarzało niekorzystne warunki dla środowiska przyrodniczego i infrastruktury technicznej. Rzadziej występujące i niższe opady wpływały na gorsze warunki oczyszczania powietrza z zanieczyszczeń w postaci pyłów zawieszonych i innych składników (zanieczyszczeń gazowych i aerozoli). Mogły mieć też wpływ na wzrost depozycji suchej, ponieważ splukiwały z mniejszą częstotliwością i pobierały mniejsze ilości zanieczyszczeń znajdujących się w atmosferze.

Stężenia badanych substancji w opadach atmosferycznych mokrych na 22 stacjach monitoringowych

Zakresy stwierdzonych stężeń badanych substancji i ich średnia wielkość w próbkach miesięcznych opadów mokrych w 2022 r., na 22 stacjach monitoringowych, wskazywały na dużą rozpiętość ilości substancji w **opadzie, od stężenia 7,95 mg/l SO₄⁻² (w Kaliszu) do ilości śladowych metali ciężkich, a w przypadku średniej ważonej, najwyższe stężenia stwierdzono dla siarczanów – 1,51 mg/l SO₄, a w drugiej kolejności dla azotu ogólnego – 1,27 mg/l N i chlorków – 0,95 mg/l, natomiast niskie ilości stężeń wyznaczono dla chromu ogólnego – 0,00010 mg/l i kadmu – 0,00009 mg/l. Wartości maksymalne stężeń w przypadku potasu, cynku i fosforu ogólnego były wyższe w 2022 r. niż w 2021 r. Decydowały o tym wyższe stężenia pojedynczych próbek zebranych przy występowaniu krótko trwających i niskich opadów, o niewielkiej intensywności i po dłuższym okresie bezopadowym.**

W okresie dwudziestu czterech lat prowadzenia badań (1999-2022), średnioroczne wartości stężeń badanych substancji w opadach wykazują tendencję malejącą dla kwasowości, metali ciężkich, związków kwasotwórczych i części związków biogennych. Najbardziej zmalały w 2022 r., w stosunku do wielolecia 1999-2021, średnie ważone wartości stężeń ołowiu (o 83,3%), wolnych jonów wodorowych (o 75,58%), kadmu (o 70,0%), chromu ogólnego (o 66,7%), a następnie niklu (o 57,3%) oraz nieco mniej stężenia siarczanów (o 32,9%), cynku (o 32,7%), miedzi (o 28,2%), azotu azotynowego i azotanowego (o 26,1%), azotu ogólnego (o 23,0%), wapnia (o 21,8%) i magnezu (o 21,4%). W mniejszym stopniu zmalały średnie ważone wartości stężeń chlorków (o 14,4%), sodu (o 14,0%), azotu amonowego (o 12,1%) i potasu (o 3,2%). Wzrosły średnie ważone wartości stężeń fosforu ogólnego (o 2,2%).

W 2022 r., w stosunku do roku poprzedniego, średnia ważona stężeń dla niektórych (czterech) wskaźników była wyższa, tak jak w przypadku fosforu ogólnego (o 17,9%), sodu (o 8,9%), azotu amonowego (o 3,6%) i potasu (o 3,4%). Średnia ważona stężeń pozostałych (trzynastu) wskaźników była niższa niż w roku poprzednim dla: siarczanów (o 1,9%), chlorków (o 2,1%), azotu azotynowego i azotanowego (o 8,1%), magnezu (o 8,3%), azotu ogólnego (o 9,3%), wolnych jonów wodorowych (o 17,5%), wapnia (o 18,1%) i cynku (o 18,3%). Zdecydowanie niższa była dla: miedzi (o 22,7%), chromu (o 37,5%), kadmu (o 50,0%) i niklu (o 57,8%) oraz ołowiu (o 61,1%).

W roku 2022, zmierzono wartości pH w 261 **średniomiesięcznych próbkach opadów atmosferycznych**, pobranych na 22 stacji monitoringowych. Wartości pH mieściły się w zakresie od 4,70 (w Legnicy w listopadzie) do 7,12 (w Poznaniu w marcu), a średnia ważona (waga - wysokość opadów) wynosiła 5,81. W 18% próbek wartości pH były niższe od naturalnego dla wód opadowych, tzn. $\text{pH} < 5,6$, wskazując na dużą zawartość w nich mocnych kwasów mineralnych. Opady o odczynie $\text{pH} < 5,6$ w największej liczbie pomiarów próbek – 67%, występowały w Legnicy, a w ilości 58% pomiarów próbek występowały w Gorzowie Wielkopolskim, natomiast w ilości 42% pomiarów występowały na Śnieżce i w Sandomierzu. W mniejszej liczbie próbek – 36% pomiarów występowały w Gdańsku. W liczbie próbek stanowiącej 25% pomiarów opady o odczynie $\text{pH} < 5,6$ występowały w Łebie, Zielonej Górze i we Włodawie. W pomiarach próbek zebranych w Świnoujściu, Kaliszu i w Katowicach stwierdzono po 17% wszystkich pomiarów o odczynie $\text{pH} < 5,6$ w ogólnej liczbie zebranych próbek opadów, a tylko po 9% pomiarów o odczynie $\text{pH} < 5,6$ ustalono w próbkach zebranych w Olsztynie i Toruniu, natomiast po 8% pomiarów o odczynie $\text{pH} < 5,6$ ustalono w próbkach zebranych w Chojnicach i Raciborzu.

Nie stwierdzono próbek opadów o wartości pH poniżej naturalnej, na stacjach monitoringowych w Suwałkach, Białymstoku, Poznaniu, Sulejowie, Nowym Sączu i na Kasprowym Wierchu oraz w Lesku.

W celu pomiaru **dobowego odczynu** w 2022 r. zebrano, z dwudziestu dwóch stacji monitoringowych, **2206 dobowych próbek opadów**. Wyniki pomiarów pH kształtowały się w granicach **od 3,37** (opad 2,4 mm, 22 lutego z sektora W napływu mas powietrza na Kasprowym Wierchu) **do 7,63** (opad 4,3 mm, 19 listopada, z sektora Z napływu mas powietrza w Poznaniu). Opady o wartości pH poniżej naturalnej ($\text{pH} < 5,6$), stwierdzono w 846 przypadkach, co stanowi ok. 38% zbioru (tabela 52, 59).

Opady atmosferyczne, które występowały na obszarze Polski, w dużej liczbie wykazywały normalny odczyn próbek (tabele 52-59). Do grupy o odczynie normalnym, dla deszczy ($5,1 \leq \text{pH} < 6,1$), kwalifikowało się 41,1% dobowych próbek (10% więcej niż w 2021 r.), a odczyn obniżony ($\text{pH} < 5,1$) stwierdzono w około 16,3% próbek opadów (o 5,0% mniej niż w 2021 r.). W 42,6% próbek stwierdzono podwyższony odczyn ($\text{pH} \geq 6,1$) (o 5,1% mniej niż w 2021 r.).

Najniższe średnie ważne wartości pH ($4,1 \leq \text{pH} < 4,6$, charakteryzujące opady o znacznie obniżonym odczynie, czyli kwaśne deszcze), występowały w opadach ze wszystkich sektorów napływu mas atmosferycznych w rejonie Śnieżki na Dolnym Śląsku (średnia ważona pH – 4,50). Najwyższe średnie ważne wartości pH ($6,1 \leq \text{pH}$) – charakteryzujące opady o podwyższonym odczynie występowały w opadach w rejonie Suwałk z czterech sektorów napływu mas atmosferycznych (N, E, W, Z), a z sektora napływu S w opadach w Suwałkach osiągnęła średnią ważoną o wartości pH – 5,73, tj. opadów o normalnym odczynie, natomiast średnia ważona dla wszystkich sektorów napływu mas powietrza w Suwałkach wyniosła $\text{pH} = 6,09$. W drugiej kolejności, podobnie wysokie średnie ważne wartości pH ($6,1 \leq \text{pH}$) – charakteryzujące opady o podwyższonym odczynie, występowały w opadach w rejonie Poznania, podobnie z czterech sektorów napływu mas atmosferycznych (N, E, S, Z), a z sektora napływu W średnia ważona w opadach w Poznaniu osiągnęła wartość pH – 5,94, tj. opadów o normalnym odczynie.

Średnia ważona dla wszystkich sektorów napływu mas powietrza w Poznaniu wyniosła $pH = 6,03$ (tabela 59, rysunek 19-25). W wieloleciu 2001-2022 udział tzw. „kwaśnych deszczy”, o wartościach $pH < 5,6$ zmalał z 74% próbek zebranych w 2001 r. do poziomu 38% wszystkich zebranych próbek opadów dobowych w 2022 r. (tabela 52).

Depozycja zanieczyszczeń z opadem na 22 stacjach monitoringowych

W 2022 r. wielkości ładunków substancji wprowadzanych miesięcznie na 1 hektar powierzchni, reprezentowanych przez poszczególne 22 stacje monitoringowe, wykazywały duże zróżnicowanie depozycji zanieczyszczeń w opadach, od najwyższych ładunków miesięcznych siarczanów – 8,98 kg/ha SO_4 , a w drugiej kolejności azotu ogólnego – 7,54 kg/ha N i chlorków – 5,62 kg/ha Cl do ilości śladowych fosforu ogólnego, wszystkich metali ciężkich i niektórych metali lekkich (Na, K i Mg), a także azotu azotynowego i azotanowego. Wielkości maksymalne ładunków zanieczyszczeń, takich jak: potas, cynk i fosfor ogólny były wyższe w 2022 r. niż w 2021 r., natomiast niższe były ładunki maksymalne siarczanów, chlorków, azotu ogólnego, azotu azotynowego i azotanowego oraz azotu amonowego, sodu, wapnia, magnezu, miedzi, ołowiu, kadmu, niklu i chromu oraz wolnych jonów wodorowych. Sumy roczne depozycji łącznie na 22 stacjach w 2022 r. są wyższe, niż w 2021 r. dla fosforu ogólnego. Sumy roczne depozycji łącznie w 2022 r. są niższe, niż w 2021 r. dla chlorków, siarczanów, azotu azotynowego i azotanowego, azotu amonowego, sodu, potasu, wapnia, magnezu, cynku, miedzi, ołowiu, kadmu, niklu, chromu, azotu ogólnego i wolnych jonów wodorowych. Nie decydowało o tym, tylko występowanie niższych sum rocznych opadów w 2022 roku, lecz raczej wysoce prawdopodobny był wpływ spadku zanieczyszczeń antropogenicznych, spowodowany wzmocnieniem działalności antysmogowej i wprowadzaniem technologii niskoemisyjnych.

Średnia roczna depozycja substancji z opadem, **na tereny 22 stacji badawczych** w 2022 r., kształtowała się na poziomie **31,97 kg/ha·r** i była niższa o 17,9% niż w roku poprzednim. **Średnia roczna depozycja** została wprowadzona ze **średnią roczną wysokością opadów** na 22 stacjach monitoringowych wynoszącą **592,9 mm**. Wielkość depozycji w 2022 r. nie rozkładała się równomiernie i mieściła w przedziale od 16,80 kg/ha·r w Sandomierzu do 69,16 kg/ha·r na Kasprowym Wierchu. Obciążenie powierzchniowe obszarów reprezentowanych przez siedem stacji monitoringowych (w Świnoujściu, Toruniu, Poznaniu, Kaliszu, na Śnieżce, w Katowicach i na Kasprowym Wierchu) było wyższe od średniej rocznej depozycji na 22 stacjach monitoringowych.

W porównaniu do 2021 r., mniejsze roczne depozycje z opadami stwierdzono na siedemnastu stacjach monitoringowych w zakresie od 2,3% w Gdańsku do 38,9% w Zielonej Górze. W 2022 r. średnia depozycja z opadami na tereny 22 stacji monitoringowych, dla szesnastu z siedemnastu badanych wskaźników, była niższa niż w roku 2021 dla siarczanów o 14,8%, chlorków o 15,6%, azotu ogólnego o 21,4%, azotu azotynowego i azotanowego o 19,2%, azotu amonowego o 10,4%, sodu o 5,5%, potasu o 12,4%, wapnia o 29,2%, magnezu o 18,9%, cynku o 29,3%, miedzi o 33,2%, ołowiu o 65,7%, kadmu o 55,0%, niklu o 63,7% i chromu o 46,1% oraz wolnych jonów

wodorowych o 30,7%. Średnia depozycja z opadami była wyższa tylko dla fosforu ogólnego o 2,5%.

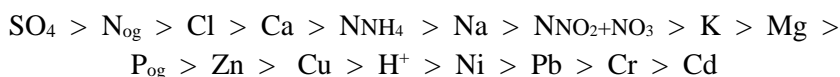
Wielkości średnich rocznych ładunków jednostkowych substancji wniesionych przez opady atmosferyczne, na obszary reprezentowane przez stacje monitoringowe w okresie badań prowadzonych w latach 1999-2022, wskazują, że w 2022 roku całkowite obciążenie wszystkimi badanymi substancjami, kształtowało się na dużo niższym poziomie jak średnie obciążenie z lat 1999-2021, a ponadto jest na najniższym poziomie w porównaniu do wszystkich wcześniejszych całkowitych obciążeń w okresie wszystkich lat prowadzonych badań. Depozycja poszczególnych wskaźników była zróżnicowana, lecz dla wszystkich siedemnastu wskaźników była mniejsza niż w wieloleciu 1999-2021.

Depozycja zanieczyszczeń według modelu rozkładu przestrzennego

Średnia roczna depozycja substancji z opadem **na obszar Polski** w 2022 r., została obliczona według modelu rozkładu przestrzennego i kształtowała się na poziomie **32,08 kg/ha·r**. Była niższa o 12,5% niż w roku poprzednim. **Średnia roczna depozycja**, została wprowadzona ze **średnią roczną wysokością opadów na obszar Polski**, obliczoną według modelu rozkładu przestrzennego i wynoszącą **569,9 mm**.

Opady atmosferyczne wniosły w 2022 roku na obszar Polski, przy zróżnicowanych wielkościach w zależności od miejsca opadu, następujące ilości substancji: 279 246 tony siarczanów (8,93 kg/ha·r SO₄), 177 616 ton chlorków (5,68 kg/ha·r Cl), 63 792 tony (N) azotu azotynowego i azotanowego (2,04 kg/ha·r N), 107 571 ton (N) azotu amonowego (3,44 kg/ha·r N), 238 594 tony azotu ogólnego (7,63 kg/ha·r N), 8 005,2 tony fosforu ogólnego (0,256 kg/ha·r P), 88 496 ton sodu (2,83 kg/ha·r Na), 55 662 tony potasu (1,78 kg/ha·r K), 127 896 ton wapnia (4,09 kg/ha·r Ca), 19 700 ton magnezu (0,63 kg/ha·r Mg), 6 438,6 tony cynku (0,2059 kg/ha·r Zn), 981,89 tony miedzi (0,0314 kg/ha·r Cu), 72,23 tony ołowiu (0,00231 kg/ha·r Pb), 17,511 tony kadmu (0,00056 kg/ha·r Cd), 76,93 tony niklu (0,00246 kg/ha·r Ni), 18,450 tony chromu ogólnego (0,00059 kg/ha·r Cr) i 276,1 tony wolnych jonów wodorowych (0,00883 kg/ha·r H⁺) (tabele 75, 78, rysunki 86, 88).

Wielkości wprowadzanych substancji maleją zgodnie z szeregiem:



Depozycja w poszczególnych miesiącach 2022 roku

Rozkłady przestrzenne wielkości poszczególnych substancji w opadach mokrych i ich depozycja w poszczególnych miesiącach oraz w roku, wykazała duże zróżnicowanie zarówno dla poszczególnych składników jak i dla różnych regionów kraju. Całkowita depozycja z opadem w poszczególnych miesiącach, mieściła się w zakresie od 0,75 kg/ha w marcu do 3,96 kg/ha w styczniu. Głównymi przyczynami zróżnicowania są: zmienna ilość wody opadowej, jej właściwości fizyczne i skład oraz czas trwania i natężenie opadu, a także częstość i miejsce jego występowania powiązane z kierunkiem napływu wilgotnych mas

powietrza. Sezonowo, w okresie ciepłym i chłodnym w roku, wody opadowe wprowadziły na obszar Polski odpowiednio 58% i 42% ładunku rocznego badanych substancji.

Depozycja na powierzchnię województw 2022 roku

Całkowita depozycja z opadem na powierzchnie poszczególnych województw, mieściła się w zakresie od 22,91 kg/ha·r w województwie lubelskim do 39,35 kg/ha·r w województwie wielkopolskim. **Najbardziej obciążone substancjami** wprowadzonymi z opadem atmosferycznym mokrym, było w 2022 roku **województwo wielkopolskie**, przy czym dziewięć województw miało wyższe obciążenie substancjami niż **średnie dla Polski – 32,08 kg/ha·r**. W województwie wielkopolskim, w przypadku jednej z siedemnastu badanych substancji, tj. potasu, stwierdzono obciążenia najwyższe ze średnich obciążeń poszczególnych substancji dla całego obszaru Polski, a ponadto wystąpiły jedne z najniższych sumy roczne wysokości opadów. Dziewięć województw miało wyższe obciążenie substancjami niż **średnie dla Polski** (w kolejności malejącej): **wielkopolskie**, dolnośląskie, małopolskie, śląskie, łódzkie, zachodniopomorskie, opolskie, pomorskie i kujawsko-pomorskie. **Najmniej obciążone substancjami** w 2022 roku, wprowadzonymi z opadem atmosferycznym było **województwo lubelskie**, gdzie stwierdzono najniższe średnie obciążenia ośmiu z siedemnastu badanych substancji, w tym: chlorków, azotu azotynowego i azotanowego, azotu ogólnego, fosforu ogólnego, sodu, potasu, wapnia i magnezu. Siedem województw (w kolejności rosnącego obciążenia): lubelskie, podlaskie, podkarpackie, lubuskie, mazowieckie, świętokrzyskie, warmińsko-mazurskie, miało niższe obciążenie substancjami niż średnie dla Polski.

Depozycja na powierzchnię zlewni wybranych rzek w 2022 roku

Całkowita depozycja, z opadem na poszczególne zlewnie wybranych rzek, mieściła się w zakresie od 22,99 kg/ha·r na powierzchnię zlewni Wieprza do 46,93 kg/ha·r na powierzchnię zlewni Łaby (*rysunek 5.7.*, rysunek 87). Konsekwentnie do powyższych ustaleń, związanych z takim rozkładem depozycji, **największe ładunki substancji** wprowadziły opady na powierzchnie zlewni: Łaby i (w kolejności malejącej) Bystrzyca, Warty środkowej do Szamotuł, Nysy Kłodzkiej, Raby, Przemszy, Dunajca, Soły, Zalewu Szczecińskiego, Baryczy, Widawy, Górnej Wisły, Czarnej Orawy, Oławy, Skawy, Prosny, Ślęzy, Bobru, Parsęty, Stobrawy, Widawki, Słupi, Warty górnej do Sieradza, Wieprzy, Regi, Łupawy, Kaczawy, Gwdy, Małej Panwi, Pilicy, Pasłęki i Nogatu, Obry, Drwęcy, Strwiąża, Kłodnicy, Wisły dolnej, Łeby, Nidy, Redy, Drawy, Olzy, Wdy, Bzury, Wełny, Raduni i Noteci. Wymienione powyżej czterdzieści sześć zlewni przekraczają średnią dla Polski depozycję w 2022 roku wynoszącą 32,08 kg/ha·r.

Najmniejsze ładunki substancji, poniżej średniej dla Polski, wprowadziły opady na powierzchnie osiemnastu zlewni: Wieprza i (w kolejności rosnącej) Bugu, Narwi, Wisły środkowej do Włocławka, Sanu, Biebrzy, Niemna, Wisły środkowej do Sanu, Pregoły, Odry dolnej, Wisłoka, Iny, Odry środkowej do Warty, Brdy, Nysy Łużyckiej, Warty dolnej i Wkry oraz Odry górnej do Wrocławia (tabela 77, rysunki 86, 87).

Obciążenie powierzchniowe obszaru Polski badanymi substancjami wniesionymi wraz z opadami atmosferycznymi w 2022 r. (średnia roczna wysokość opadów 569,9 mm),

według modelu rozkładu przestrzennego, wynosiło **32,08 kg/ha·r** i było **najniższe** w dwudziestoczteroletnim okresie prowadzonych badań, a ponadto było niższe:

- w porównaniu do obciążenia w 2021 roku o 12,5%, wynoszącego 36,68 kg/ha·r, przy niższej średniej rocznej wysokości opadów o 14,5% (o 96,4 mm),
- w porównaniu do wielolecia 1999-2021 obciążenie było mniejsze o 32,9% od wartości przeciętnej z wielolecia 1999-2021, wynoszącej 47,82 kg/ha·r, przy niższej średniej rocznej wysokości opadów o 13,2% (o 86,7 mm),
- w porównaniu do roku 1999 (pierwszego roku regularnych badań), obciążenie obszarowe kraju (wynosiło wtedy 63,1 kg/ha·r), zmalało o 49,2%, przy niższej o 22,5% (o 165,7 mm) średniej rocznej wysokości opadów (tabela 78).

Prawidłowa i pełna ocena wielkości mokrej depozycji, jest możliwa tylko w systematycznych badaniach monitoringowych, ponieważ wody opadowe mają zmienny skład chemiczny i zróżnicowane parametry fizyczne w zależności od emisji zanieczyszczeń i warunków meteorologicznych, a szczególnie od genezy powstawania opadów i kierunków napływu mas powietrza.

Depozycja substancji wprowadzanych z opadami, stanowi znaczące źródło zanieczyszczeń oddziałujące na środowisko naturalne. Szczególnie ujemny wpływ na stan środowiska mogą mieć kwaśne związki siarki i azotu, związki biogenne i metale ciężkie.

Oceniając wyniki badań monitoringowych chemizmu opadów atmosferycznych i depozycji zanieczyszczeń do podłoża, prowadzonych w sposób ciągły, w okresie 1999-2022 należy stwierdzić, że są one istotnym źródłem wiedzy o stanie jakości wód opadowych oraz umożliwiają analizę przestrzenną rozkładu mokrej depozycji zanieczyszczeń w odniesieniu do obszaru całego kraju, a także dostarczają informacji o przyczynach tego stanu i dają możliwość określenia tendencji zmian mokrej depozycji.

LITERATURA

1. Jansen W., Block A., Knaack J.: Kwaśne deszcze. Historia, powstawanie, skutki. *Aura* 4: 88, 1988, s.18-19.
2. Dąbrowski A., Szykowski A., Twarowski R.: Zastosowanie systemu GIS do analizy rozkładu przestrzennego zanieczyszczeń w badaniach monitoringowych chemizmu opadów atmosferycznych dorzecza górnej i środkowej Odry. *Maszynopis IMGW Oddz. We Wrocławiu, Wrocław 1995.*
3. Dąbrowski A., Szykowski A., Twarowski R.: Zastosowanie systemu GIS do analizy rozkładu przestrzennego zanieczyszczeń w badaniach monitoringowych chemizmu opadów atmosferycznych dorzecza górnej i środkowej Odry. *Maszynopis IMGW Oddz. We Wrocławiu, Wrocław 1995.*
4. Szykowski A.: Przestrzenny rozkład zanieczyszczeń opadów atmosferycznych. Konferencja nt. „Działalność służb obserwacyjno-pomiarowych IMGW na rzecz PMŚ”. *Maszynopis IMGW Oddz. we Wrocławiu, Wrocław 1995.*
5. Kulisz J.: Kwaśne opady i ich wpływ na środowisko. *Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa 1988.*
6. Wyrodek S.: Metody analityczne do oznaczania składu fizyko-chemicznego opadów atmosferycznych, Chemizm i oddziaływanie kwaśnych deszczy na środowisko przyrodnicze, *Wydawnictwo Uniwersytetu A. Mickiewicza, Poznań 1996.*
7. Twarowski R., Sienkiewicz R., Gendolla T., Dąbrowski A., Woźniak Z., Wyrodek S., Błachuta J., Słomska A., Nowosielski M., Liana E.: Pilotowe wdrożenie programu realizacyjnego monitoringu chemizmu opadów atmosferycznych, *IMGW Oddz. We Wrocławiu, Zakład Badania Jakości Zasobów Wodnych, Wrocław 1997 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMŚ).*
8. Twarowski R., Sienkiewicz R., Błachuta J., Gendolla T., Dąbrowski A., Liana E., Woźniak Z., Wyrodek S.: Pilotowe wdrożenie programu realizacyjnego monitoringu chemizmu opadów atmosferycznych i depozycji zanieczyszczeń do podłoża, *IMGW Oddz. We Wrocławiu, Zakład Badania Jakości Zasobów Wodnych, Wrocław 1998 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMŚ).*
9. Zwoździak J., Zwoździak A., Szczurek A.: *Meteorologia w ochronie atmosfery. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1998.*
10. Twarowski R., Sienkiewicz R., Gendolla T., Wyrodek S., Liana E., Dąbrowski A., Błachuta J., Karska L., Terlecka E., Kaczmarski St. *Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i depozycji zanieczyszczeń do podłoża (II etap wdrożenia), IMGW Oddz. we Wrocławiu, Zakład Badania Jakości Zasobów Wodnych, Wrocław 1998 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMŚ).*
11. Przewodnik ISO/IEC 43:1997.: *Badanie biegłości poprzez porównania międzylaboratoryjne. Klub Polskich Laboratoriów Badawczych POLLAB, Biuletyn informacyjny Nr 2(26)99, Warszawa 1999 r.*
12. Dobkowski Z.: *Problemy badań międzylaboratoryjnych w świetle zaleceń międzynarodowych. Klub Polskich Laboratoriów Badawczych POLLAB, Referaty i komunikaty Nr 1/3 wrzesień 1999.*
13. Wyrodek S., Marchlewska-Knych B., Terlecka E.: *Raport z badania biegłości laboratoriów WIOŚ w zakresie analizy wód opadowych dla potrzeb Monitoringu chemizmu opadów atmosferycznych i*

- depozycji zanieczyszczeń do podłoża, IMGW Oddz. we Wrocławiu, Zakład Badania Jakości Zasobów Wodnych, Wrocław 1999 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMS).
14. Hyk W., Stojek Z.: Analiza statystyczna w laboratorium analitycznym. Komitet Chemii Analitycznej PAN, Warszawa 2000
 15. Twarowski R., Sienkiewicz R., Gendolla T., Wyrodek S., Liana E., Błachuta J., Dąbrowski A., Karska L., Terlecka E., Kaczmarek St.: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i depozycji zanieczyszczeń do podłoża. Raport roczny z badań monitoringowych w 1999 roku, IMGW Oddz. we Wrocławiu, Zakład Badania Jakości Zasobów Wodnych, Wrocław 2000 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMS).
 16. Twarowski R., Błachuta J., Sienkiewicz R., Dąbrowski A., Wyrodek S., Gendolla T., Liana E., Karska L., Kaczmarek St., Wostek K., Kupczyk J.: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i depozycji zanieczyszczeń do podłoża w latach 2000-2002. Raport roczny z badań monitoringowych w 2000 roku, IMGW Oddz. we Wrocławiu, Zakład Badania Jakości Zasobów Wodnych, Wrocław 2001 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMS).
 17. Twarowski R., Liana E., Karska L., Zawisłak T.: Charakterystyka kierunków napływu mas powietrza na obszarze Polski w miesiącach styczeń-marzec 2001 i ich wpływ na wielkości deponowanych zanieczyszczeń z opadów atmosferycznych, IMGW Oddz. we Wrocławiu, Zakład Badania Jakości Zasobów Wodnych, Wrocław 2001 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMS).
 18. Twarowski R., Błachuta J., Sienkiewicz R., Dąbrowski A., Gendolla T., Wyrodek S., Liana E., Karska L., Zawisłak T., Kaczmarek St., Wostek K., Kupczyk J.: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i depozycji zanieczyszczeń do podłoża w latach 2000-2002. Raport z realizacji badań monitoringowych w I kwartale 2001 r. w zależności od cyrkulacji mas powietrza, IMGW Oddz. we Wrocławiu, Zakład Badania Jakości Zasobów Wodnych, Wrocław 2001 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMS).
 19. Wyrodek S., Marchlewska-Knych B., Terlecka E.: Raport z badania biegłości laboratoriów WIOŚ w zakresie analizy wód opadowych dla potrzeb Monitoringu chemizmu opadów atmosferycznych i depozycji zanieczyszczeń do podłoża, IMGW Oddz. we Wrocławiu, Zakład Badania Jakości Zasobów Wodnych, Wrocław 2001 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMS).
 20. Twarowski R., Błachuta J., Sienkiewicz R., Dąbrowski A., Wyrodek S., Gendolla T., Liana E., Karska L., Zawisłak T., Kaczmarek St., Wostek K., Kupczyk J.: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i depozycji zanieczyszczeń do podłoża w latach 2000-2002. Raport roczny z badań monitoringowych w 2001 roku, IMGW Oddz. we Wrocławiu, Zakład Badania Jakości Zasobów Wodnych, Wrocław 2002 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMS).
 21. Wyrodek S., Marchlewska-Knych B., Terlecka E.: Raport z badania biegłości laboratoriów WIOŚ w zakresie analizy wód opadowych dla potrzeb monitoringu chemizmu opadów atmosferycznych i depozycji zanieczyszczeń do podłoża, IMGW Oddz. we Wrocławiu, Zakład Badania Jakości Zasobów Wodnych, Wrocław 2002 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMS).
 22. Twarowski R., Błachuta J., Sienkiewicz R., Dąbrowski A., Wyrodek S., Gendolla T., Liana E., Karska L., Zawisłak T., Kaczmarek St., Wostek K., Kupczyk J.: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i depozycji zanieczyszczeń do podłoża. Raport roczny z badań monitoringowych w 2002 roku, IMGW Oddz. we Wrocławiu, Zakład Badania Jakości Zasobów Wodnych, Wrocław 2003 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMS).
 23. Twarowski R., Błachuta J., Sienkiewicz R., Dąbrowski A., Wyrodek S., Gendolla T., Liana E., Kaczmarek St., Wostek K., Kupczyk J., Zawisłak T.: Monitoring chemizmu opadów

-
- atmosferycznych i depozycji zanieczyszczeń do podłoża w latach 2003-2005. Raport roczny z badań monitoringowych w 2003 roku, IMGW Oddz. we Wrocławiu, Zakład Badania Jakości Zasobów Wodnych, Wrocław 2004 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMŚ).
24. Wyrodek S., Marchlewska-Knych B., Terlecka E., Bokszańska J.: Raport z badania biegłości laboratoriów WIOŚ w zakresie analizy wód opadowych dla potrzeb Monitoringu chemizmu opadów atmosferycznych i depozycji zanieczyszczeń do podłoża, IMGW Oddz. We Wrocławiu, Zakład Badania Jakości Zasobów Wodnych, Wrocław 2005 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMŚ).
 25. Twarowski R., Błachuta J., Karska L., Dąbrowski A., Urban G., Wyrodek S., Gendolla T., Liana E., Kaczmarek St., Wostek-Zagraba K., Kupczyk J., Zawiślak T.: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i depozycji zanieczyszczeń do podłoża. Raport roczny z badań monitoringowych w 2004 roku, IMGW Oddz. we Wrocławiu, Zakład Badania Jakości Zasobów Wodnych, Wrocław 2006 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMŚ).
 26. Twarowski R., Błachuta J., Karska L., Dąbrowski A., Wyrodek S., Gendolla T., Liana E., Wostek-Zagraba K., Kaczmarek St., Kupczyk J., Zawiślak T.: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i depozycji zanieczyszczeń do podłoża w latach 2005-2007. Raport roczny z badań monitoringowych w 2005 roku, IMGW Oddz. we Wrocławiu, Zakład Ekologii, Wrocław 2006 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMŚ).
 27. Twarowski R., Błachuta J., Karska L., Dąbrowski A., Wyrodek S., Gendolla T., Liana E., Kaczmarek St., Wostek-Zagraba K., Kupczyk J., Zawiślak T., Rawa W.: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i depozycji zanieczyszczeń do podłoża w latach 2005-2007. Raport roczny z badań monitoringowych w 2006 roku, IMGW Oddz. We Wrocławiu, Zakład Ekologii, Wrocław 2007 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMŚ).
 28. Wyrodek S., Marchlewska-Knych B., Terlecka E., Bokszańska J.: Raport z badania biegłości laboratoriów WIOŚ w zakresie analizy wód opadowych dla potrzeb monitoringu chemizmu opadów atmosferycznych i depozycji zanieczyszczeń do podłoża, IMGW Oddz. We Wrocławiu, Zakład Ekologii, Wrocław 2007 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMŚ).
 29. Twarowski R., Błachuta J., Gendolla T., Liana E., Pobudejski M., Dąbrowski A., Karska L., Kaczmarek St., Wyrodek S., Wardecka L., Zawiślak T., Rawa W.: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i ocena depozycji zanieczyszczeń do podłoża w latach 2007-2008. Raport roczny z badań monitoringowych w 2007 roku, IMGW Oddz. we Wrocławiu, Zakład Ekologii, Wrocław 2008 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMŚ).
 30. Twarowski R., Błachuta J., Gendolla T., Liana E., Pobudejski M., Dąbrowski A., Karska L., Kaczmarek St., Wyrodek S., Wardecka L., Zawiślak T., Rawa W.: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i ocena depozycji zanieczyszczeń do podłoża w latach 2008-2009. Raport roczny z badań monitoringowych w 2008 roku, IMGW Oddz. we Wrocławiu, Zakład Ekologii, Wrocław 2009 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMŚ).
 31. Wyrodek S., Marchlewska-Knych B., Terlecka E., Bokszańska J.: Raport z badania biegłości laboratoriów WIOŚ w zakresie analizy wód opadowych dla potrzeb monitoringu chemizmu opadów atmosferycznych i depozycji zanieczyszczeń do podłoża, IMGW Oddz. We Wrocławiu, Zakład Ekologii, Wrocław 2009 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMŚ).
 32. DAB-07 „Akredytacja laboratoriów badawczych. Wymagania szczegółowe”, Polskie Centrum Akredytacji., wyd. 5, 06.07.2009.
-

33. Program Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 2010-2012. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, 2009, Warszawa.
34. Liana E., Błachuta J., Gendolla T., Pobudejski M., Dąbrowski A., Karska L., Kaczmarek St., Wyrodek S., Wardecka L., Zawisłak T., Rawa W.: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i ocena depozycji zanieczyszczeń do podłoża w latach 2010-2012. Raport roczny z badań monitoringowych w 2009 roku, IMGW Oddz. we Wrocławiu, Zakład Ekologii, Wrocław 2010 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMŚ).
35. Liana E., Błachuta J., Gendolla T., Pobudejski M., Dąbrowski A., Karska L., Kaczmarek St., Marchlewska-Knych B., Wyrodek S., Bożek A., Zawisłak T., Rawa W.: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i ocena depozycji zanieczyszczeń do podłoża w latach 2010-2012. Raport roczny z badań monitoringowych w 2010 roku, IMGW Oddz. we Wrocławiu, Zakład Ekologii, Wrocław 2011 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMŚ).
36. Liana E., Błachuta J., Gendolla T., Pobudejski M., Dąbrowski A., Karska L., Marchlewska-Knych B., Terlecka E., Wyrodek S., Bożek A., Janeczko-Mazur A., Zawisłak T., Rawa W.: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i ocena depozycji zanieczyszczeń do podłoża w latach 2010-2012. Raport roczny z badań monitoringowych w 2011 roku, IMGW-PIB Oddz. we Wrocławiu, Zakład Ekologii, Wrocław 2012 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMŚ).
37. Liana E., Błachuta T., Pobudejski M., Karska L., Marchlewska-Knych B., Terlecka E., Bożek A., Janeczko-Mazur A., Bokszańska J., Rawa W., Zawisłak T., Kurowski M., Sawicka M.: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i ocena depozycji zanieczyszczeń do podłoża w latach 2013-2015. Raport roczny z badań monitoringowych w 2012 roku, IMGW-PIB Oddz. we Wrocławiu, Zakład Ekologii, Wrocław 2013 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMŚ).
38. Liana E., Błachuta T., Pobudejski M., Karska L., Marchlewska-Knych B., Terlecka E., Bożek A., Janeczko-Mazur A., Bokszańska J., Rawa W., Zawisłak T., Kurowski M., Sawicka M.: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i ocena depozycji zanieczyszczeń do podłoża w latach 2013-2015. Raport roczny z badań monitoringowych w 2013 roku, IMGW-PIB Oddz. we Wrocławiu, Zakład Ekologii, Wrocław 2014 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMŚ).
39. Program Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 2013-2015. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, 2012, Warszawa
40. Terlecka E., Bokszańska J., Marchlewska-Knych B.: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i depozycji zanieczyszczeń do podłoża, Raport z badania biegłości laboratoriów WIOŚ, IMGW-PIB Oddz. we Wrocławiu, Zakład Ekologii, Wrocław 2014 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMŚ).
41. Terlecka E., Bokszańska J., Marchlewska-Knych B.: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i depozycji zanieczyszczeń do podłoża, Raport z badania biegłości stacji monitoringowych w pomiarze pH, IMGW-PIB Oddz. we Wrocławiu, Zakład Ekologii, Wrocław 2014 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMŚ).
42. PN-EN ISO/IEC 17043:2011 „Ocena zgodności – Ogólne wymagania dotyczące badania biegłości”.
43. PN-EN ISO/IEC 17025:2005 „Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących”.

44. PN-ISO 5725-2:2002 „Dokładność (poprawność i precyzja) metod pomiarowych i wyników pomiarów – Część 2: Podstawowa metoda określania powtarzalności i odtwarzalności standardowej metody pomiarowej”
45. DAPT-01 „Akredytacja organizatorów badań biegłości. Wymagania szczegółowe”, Polskie Centrum Akredytacji. wyd. 3 z 04.08.11 r. , wyd. 5 z 25.04.2016 r.
46. DA-05 „Polityka dotycząca uczestnictwa w badaniach biegłości”, Polskie Centrum Akredytacji. wyd. 5 z 17.11.11 r., wyd. 6 z 22.04.2016 r.
47. DAB-07 „Akredytacja laboratoriów badawczych. Wymagania szczegółowe”, Polskie Centrum Akredytacji., wyd. 10, 16.10.2013 r.
48. DIN ISO 13528-2015 „Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons”.
49. Manual for the gaw precipitation chemistry programme. No 160, Guidelines, Data Quality Objectives and Standard Operating Procedures, November 2004, Word Meteorological Organization Global Atmosphere Watch
50. Program Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 2016-2020. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, 2015, Warszawa.

51. Liana E., Błachuta J., Pobudejski M., Karska L., Marchlewska-Knych B., Terlecka E., Bożek A., Janeczko-Mazur A., Bokszańska J., Rawa W., Kurowski M., Mazurek M., Sawicka M.: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i ocena depozycji zanieczyszczeń do podłoża w latach 2013-2015. Raport roczny z badań monitoringowych w 2014 roku, IMGW-PIB Oddz. we Wrocławiu, Zakład Badań Regionalnych, Wrocław 2015 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMŚ).
52. Liana E., Adynkiewicz M., Błachuta J., Kolanek A., Terlecka E., Pobudejski M., Miszuk B., Otop I., Mazurek M., Rawa W.: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i ocena depozycji zanieczyszczeń do podłoża w latach 2016-2019. Raport roczny z badań monitoringowych w 2015 roku, IMGW-PIB Oddz. we Wrocławiu, Zakład Badań Regionalnych, Wrocław 2016 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMŚ).
53. Liana E., Adynkiewicz M., Błachuta J., Kolanek A., Terlecka E., Pobudejski M., Miszuk B., Otop I., Mazurek M., Rawa W.: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i ocena depozycji zanieczyszczeń do podłoża w latach 2016-2019. Raport roczny z badań monitoringowych w 2016 roku, IMGW-PIB Oddz. we Wrocławiu, Zakład Badań Regionalnych, Wrocław 2017 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMŚ).
54. Schaap, M., Banzhaf, S., Scheuschner, T., Geupel, M., Hendriks, C., Kranenburg, R., Nagel, H.-D., Segers, A. J., von Schlutow, A., Wichink Kruit, R., and Builtjes, P. J. H.: Atmospheric nitrogen deposition to terrestrial ecosystems across Germany, Biogeosciences Discuss., <https://doi.org/10.5194/bg-2017-491>, in review, 2017.
55. Liana E., Terlecka E., Kolanek A.: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i depozycji zanieczyszczeń do podłoża, Raport z badania biegłości laboratoriów WIOŚ, IMGW-PIB Oddz. we Wrocławiu, Zakład Badań Regionalnych, Wrocław 2017 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMŚ).

-
56. Liana E., Terlecka E., Kolanek A.: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i depozycji zanieczyszczeń do podłoża, Raport z badania biegłości stacji monitoringowych w pomiarze pH, IMGW-PIB Oddz. we Wrocławiu, Zakład Badań Regionalnych, Wrocław 2019 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMŚ).
 57. Liana E., Adynkiewicz M., Błachuta J., Kolanek A., Terlecka E., Pobudejski M., Miszuk B., Otop I., Mazurek M., Rawa W.: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i ocena depozycji zanieczyszczeń do podłoża w latach 2016-2018. Raport roczny z badań monitoringowych w 2017 roku, IMGW-PIB Oddz. we Wrocławiu, Zakład Badań Regionalnych, Wrocław 2018 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMŚ).
 58. Liana E., Kolanek A., Pobudejski M., Miszuk B., Rawa W.: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i ocena depozycji zanieczyszczeń do podłoża w latach 2019-2020. Raport roczny z badań monitoringowych w 2018 roku, IMGW-PIB, Zakład Monitoringu Jakości Powietrza, Warszawa 2019 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMŚ).
 59. Liana E., Kolanek A., Pobudejski M., Miszuk B., Rawa W.: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i ocena depozycji zanieczyszczeń do podłoża w latach 2019-2020. Raport roczny z badań monitoringowych w 2019 roku, IMGW-PIB, Zakład Monitoringu Jakości Powietrza, Warszawa 2020 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMŚ).

 60. Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 11 października 2020 r. Dz. U. 2020, poz. 2149 w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego oraz sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych, a także środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych
 61. Liana E., Kolanek A., Pobudejski M., Miszuk B., Rawa W.: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i ocena depozycji zanieczyszczeń do podłoża w latach 2021-2022. Raport roczny z badań monitoringowych w 2020 roku, IMGW-PIB, Wydział Monitorowania Jakości Powietrza, Warszawa 2021 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMŚ).
 62. Liana E., Kolanek A., Pobudejski M., Miszuk B., Rawa W.: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i ocena depozycji zanieczyszczeń do podłoża w latach 2021-2022. Raport roczny z badań monitoringowych w 2021 roku, IMGW-PIB, Wydział Monitorowania Jakości Powietrza, Warszawa 2022 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMŚ).
 63. Liana E., Kolanek A., Pobudejski M., Miszuk B., Rawa W.: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i ocena depozycji zanieczyszczeń do podłoża w 2023 roku. Raport roczny z badań monitoringowych w 2022 roku, IMGW-PIB, Wydział Monitorowania Jakości Powietrza, Warszawa 2023 (Opracowanie na zlecenie GIOŚ w ramach PMŚ).