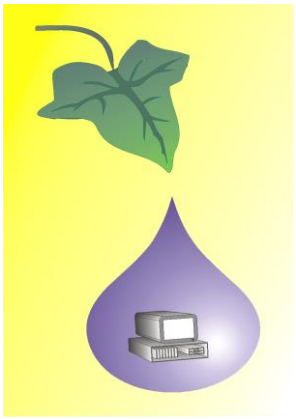


Dofinansowano ze środków
NARODOWEGO FUNDUSZU
OCHRONY ŚRODOWISKA
i GOSPODARKI WODNEJ

Sprawozdanie z realizacji III etapu umowy nr

GIOŚ/ZP/139/2023/DMŚ/NFOŚiGW pt. „Realizacja programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (ZMŚP) – nadzór merytoryczny oraz przeprowadzenie badań w latach 2023-2025”,

zawartej pomiędzy

Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska w Warszawie

a

Uniwersytetem im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Zadanie nr 2

Stan geoekosystemów Polski w 2024 roku

Poznań
2025

Mikołaj Majewski
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
Instytut Geoekologii i Geoinformacji, Pracownia Monitoringu Środowiska Przyrodniczego
Centrum Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego
Stacja Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego Poznań-Morasko
Stacja Bazowa ZMŚP Poznań-Morasko
majewski@amu.edu.pl
Andrzej Kostrzewski
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
Instytut Geoekologii i Geoinformacji
Centrum Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego
anko@amu.edu.pl

Stan geoekosystemów Polski w 2024 roku na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego

Poznań 2025

SPIS TREŚCI

1. WPROWADZENIE 4

2. ZLEWNIE BADAWCZE ZMŚP 9

3. ZLEWNIE BADAWCZE ZMŚP A OBSZARY SZCZEGÓLNIE CENNE PRZYRODNICZO: PARKI NARODOWE I SIEĆ NATURA 2000 17

4. PROGRAM BADAWCZO-POMIAROWY STACJI BAZOWYCH ZMŚP 24

5. GEOINDYKATORY OBIEGU WODY W EKSPERYMENTALNYCH GEOEKOSYSTEMACH ZLEWNI RZECZNYCH I JEZIORNYCH ZMŚP 34

5.1. Warunki pogodowe 34

5.2. Wody podziemne 55

5.3. Wody powierzchniowe 59

5.4. Skrócony bilans wodny 65

6. GEOINDYKATORY JAKOŚCI WODY W EKSPERYMENTALNYCH GEOEKOSYSTEMACH ZLEWNI RZECZNYCH I JEZIORNYCH ZMŚP 68

6.1. Opady atmosferyczne 68

6.2. Wody podziemne 80

6.3. Wody powierzchniowe 81

6.4. Bilans jonów denudacyjnych i biogennych 90

7. WPŁYW UWARUNKOWAŃ ABIOTYCZNYCH NA PRZYRODĘ OŻYWIONĄ W EKSPERYMENTALNYCH GEOEKOSYSTEMACH ZLEWNI RZECZNYCH I JEZIORNYCH ZMŚP 95

7.1. Termiczne pory roku 95

7.2. Sezon wegetacyjny 99

7.3. Zanieczyszczenie powietrza 102

7.4. Uszkodzenia drzew i drzewostanów 104

7.5. Roślinne gatunki inwazyjne obcego pochodzenia 106

7.6. Hydrobiologia rzek – makrofity i hydromorfologiczna ocena koryt rzecznych 108

8. STAN GEOEKOLOGICZNY W EKSPERYMENTALNYCH GEOEKOSYSTEMACH ZLEWNI RZECZNYCH I JEZIORNYCH ZMŚP 112

8.1. Potencjał środowiska przyrodniczego w oparciu o ocenę usług geoekosystemów 113

8.2. Stan geoekologiczny 114

9. PODSUMOWANIE STANU EKSPERYMENTALNYCH GEOEKOSYSTEMÓW ZLEWNI RZECZNYCH I JEZIORNYCH POLSKI W 2024 ROKU 118

LITERATURA 126

Spis rycin 132

Spis tabel 133

1. WPROWADZENIE

Opracowanie zostało wykonane zgodnie z umową nr GIOŚ/ZP/139/2023/DMŚ/NFOŚiGW pt. „Realizacja programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (ZMŚP) – nadzór merytoryczny oraz przeprowadzenie badań w latach 2023-2025”, (zwana dalej umową ZMŚP). Umowa została zawarta 7 czerwca 2023 r. roku pomiędzy Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska w Warszawie a Uniwersytetem im. Adama Mickiewicza w Poznaniu i została sfinansowana ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

Przedmiotowe opracowanie wykonano w ramach zadania 2 pt. „Przygotowanie corocznych opracowań o stanie geoekosystemów Polski”. W pracy przedstawiono stan geoekosystemów Polski w 2024 roku hydrologicznym, z odniesieniem do wieloletniego (1994-2023) okresu badań w ramach Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (ZMŚP). Takie podejście badawcze umożliwia określenie skali przemian środowiska przyrodniczego monitorowanych geoekosystemów eksperymentalnych zlewni rzecznych i jeziornych, w powiązaniu z obserwowanymi zmianami klimatu i różnymi przejawami antropopresji.

Program badawczo-pomiarowy ZMŚP w 2024 roku realizowano w dwunastu Stacjach Bazowych (SB ZMŚP): Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie, Poznań-Morasko, Kampinos, Łysogóry, Roztocze, Pogórze Karpackie Beskid Niski i Karkonosze. Podstawę opracowania stanowiły merytoryczne raporty ze Stacji ZMŚP za 2024 rok hydrologiczny (od 1 listopada 2023 roku do 31 października 2024 roku), w których przedstawiono funkcjonowanie geoekosystemów (zlewni) eksperymentalnych, uznanych za reprezentatywne w wybranych strefach krajobrazowych Polski (tj. Degórska i in. 2025; Kejna i in. 2025; Kijowska-Strugała, Bochenek 2025; Klimek i in. 2025; Kozłowski i in. 2025; Krakowski i in. 2025; Mackiewicz i in. 2025; Major i in. 2025; Olszewski i in. 2025; Stachyra i in. 2025; Szpikowski i in. 2025; Tylkowski i in. 2025). W opracowaniu wykorzystano także dane zgromadzone w Centralnej Bazie Danych ZMŚP za lata hydrologiczne 1994-2024. Szczególnie przydatne w prezentowanych studiach porównawczych było syntetyczne opracowanie dotyczące funkcjonowania i przemian środowiska przyrodniczego wybranych geoekosystemów Polski w oparciu o realizację programu ZMŚP w latach 1994-2015 (Kostrzewski, Majewski 2018). Wyniki zawarte w powyższym opracowaniu umożliwiły odniesienie stanu środowiska przyrodniczego monitorowanych geoekosystemów do lat poprzednich (1994-2015). Indywidualnością merytoryczną, jak i aplikacyjną opracowania jest

określenie skali przemian środowiska przyrodniczego Polski w różnych układach czasowych i przestrzennych, w warunkach obserwowanych zmian klimatu i różnokierunkowej antropopresji.

Program ZMŚP jest programem naukowo-badawczym, służy przedstawieniu aktualnego stanu i tendencji rozwoju monitorowanych geoekosystemów, jak również ochrony struktury krajobrazowej Polski. Pod względem metodologicznym program ZMŚP opiera się na koncepcji funkcjonowania systemu i realizuje założenia zachowania georóżnorodności i bioróżnorodności kraju (Kostrzewski 1993). Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego, w porównaniu z monitoringami branżowymi, rozszerza stan rozpoznania funkcjonowania środowiska przyrodniczego w zakresie związków przyczynowo-skutkowych, skali przemian i kierunków rozwoju środowiska geograficznego wybranych geoekosystemów Polski (Kostrzewski i in. 2007). Metodologia programu ZMŚP podporządkowana jest koncepcji kompleksowego opisu funkcjonowania środowiska przyrodniczego poprzez określenie bilansu energii (wody) i materii (głównie substancji rozpuszczonych) w zlewni rzecznej lub jeziornej (Kostrzewski 1995). Monitorowane elementy abiotyczne, dotyczące oceny ilościowej i jakościowej obiegu wody, spełniają rolę geoindykatorów stanu środowiska (Szpikowski 2012, Tylkowski 2015a). W zintegrowanym monitoringu badania obejmują także wybrane biotyczne elementy geoekosystemu, które spełniają rolę biowskaźników stanu i tendencji rozwoju środowiska. Podstawowym obiektem badań w ZMŚP jest eksperymentalna zlewnia rzeczna lub jeziorna, w zasięgu której zlokalizowane są testowe powierzchnie badawcze, reprezentatywne dla badanego krajobrazu (Kostrzewski 1995).

Celem realizowanego programu ZMŚP jest określenie aktualnego stanu oraz wieloletnich tendencji przemian i kierunków rozwoju środowiska przyrodniczego eksperymentalnych zlewni rzecznych i jeziornych. Przemiany środowiska przyrodniczego odnoszone są m.in do obserwowanych aktualnie zmian klimatu i narastającej antropopresji. Uzyskane wyniki stanowią podstawę do sporządzenia w ramach programu ZMŚP prognoz krótko i długoterminowych rozwoju środowiska przyrodniczego oraz przedstawienia kierunków zagrożeń i wskazania działań ochronnych, co jest bardzo istotne zarówno z merytorycznego, jak i z aplikacyjnego punktu widzenia.

W corocznych raportach Stacji Bazowych ZMŚP zamieszczane są informacje o stanie środowiska przyrodniczego i kierunkach zagrożeń badanych geoekosystemów zlewni rzecznych i jeziornych. Istotnym elementem rocznych sprawozdań jest prezentacja propozycji działań, które umożliwią zrównoważony rozwój środowiska przyrodniczego i pozwolą zachować walory krajobrazowe i zasoby przyrodnicze.

Realizowany program pomiarowy ZMŚP, systematyczna jego weryfikacja, a także systematyczna standaryzacja stosowanych metodyk terenowych i laboratoryjnych (Kostrzewski i in. 1995, 2006; Kostrzewski, Majewski 2021) sprawiły, że aktualnie nawiązuje on do europejskiego programu ICP Integrated Monitoring (Manual for Integrated Monitoring 1998). Program ICP IM funkcjonuje w ramach Konwencji w sprawie transgranicznego zanieczyszczania powietrza na dalekie odległości, przyjętej w Genewie w dniu 13 listopada 1979 roku. Od 2017 roku 9 stacji z sieci badawczo-pomiarowej monitoringu geoekosystemów ZMŚP na terenie Polski (Stacje Bazowe: Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie, Kampinos, Łysogóry, Roztocze i Beskid Niski) należy do ww. programu europejskiego. W roku 2023 do sieci europejskiej dołączyły również Stacje Bazowe Poznań-Morasko i Karkonosze. Ponadto wybrane Stacje Bazowe ZMŚP (Beskid Niski i Parsęta) zostały wskazane jako stacje monitoringowe, na których badane są wskaźniki wpływu zanieczyszczenia powietrza na ekosystemy na potrzeby dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/2284 z dnia 14 grudnia 2016 r. w sprawie redukcji krajowych emisji niektórych rodzajów zanieczyszczeń atmosferycznych (NEC).

Podstawowym celem niniejszego opracowania jest syntetyczne przedstawienie informacji o stanie środowiska przyrodniczego oraz tendencjach przemian i rozwoju wybranych geoekosystemów Polski w 2024 roku na tle wielolecia 1994-2023. Prowadzony monitoring naukowo-badawczy w wytypowanych eksperymentalnych zlewniach, uznanych za reprezentatywne dla krajobrazu Polski, dotyczy głównie dwóch aspektów:

1. Przepływu energii (wody) i obiegu materii (substancji rozpuszczonych) w geoekosystemach, co pozwala na określenie bilansu wodnego (analiza ilościowa) i prawidłowości obiegu substancji rozpuszczonych (analiza jakościowa) dla dwóch układów przestrzennych:
   - wertykalnego, związanego głównie z migracją wody i materii rozpuszczonej w zlewni w podsystemach: atmosfera – roślinność – profil glebowy – wody podziemne – wody powierzchniowe;
   - obszarowego, związanego z atmosferyczną dostawą wody i substancji rozpuszczonych do badanej zlewni oraz późniejszym ich odprowadzaniem przez odpływ fluwialny poza badaną zlewnię.
2. Bioindykacji wybranych elementów przyrody ożywionej, które są czułe na zmiany bilansu energetycznego i materialnego geoekosystemu, m.in. wzrost stężenia metali ciężkich i siarki w porostach i mchach.

Koncepcja geoindykatorów zaproponowana przez Międzynarodową Unię Geologiczną (IUNG) w roku 1992 stanowiła próbę ujednolicenia i uporządkowania różnorodnych wskaźników stosowanych szeroko w naukach geograficznych, a szczególnie w monitoringu i ochronie środowiska (Zwoliński 1998). W niniejszym opracowaniu wykorzystano kilka geowskaźników, które wcześniej zastosowano w corocznych, syntetycznych raportach ZMŚP (Szpikowski 2011, 2012; Tylkowski 2014, 2015a, 2016; Tylkowski, Kostrzewski 2017, 2018; Majewski, Kostrzewski 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024). Geowskaźniki przedstawione w niniejszym opracowaniu dotyczą jakościowych i ilościowych właściwości obiegu wody. Charakterystyka jakościowa i ilościowa atmosferycznej dostawy wody do zlewni, wody w niej krążącej i z niej odpływającej potwierdza prawidłowość, że obieg wody i rozpuszczonej w niej materii stanowi najważniejszy wskaźnik zmian środowiska przyrodniczego w umiarkowanej strefie morfoklimatycznej. W związku z powyższym, programy badawcze ZMŚP dostosowane są do stwierdzonej prawidłowości, iż obieg wody posiada największe znaczenie dla funkcjonowania środowiska geograficznego geoekosystemów Polski (Kostrzewski 1993, 2003). Obieg wody decyduje o przemianach środowiska przyrodniczego w badanych zlewniach, niezależnie od położenia w strukturze krajobrazowej Polski. Szczególnie istotne dla oceny zarówno sfery abiotycznej, jak i biotycznej jest określenie ilości wody krążącej w geoekosystemie wraz ze wskazaniem długookresowych trendów obiegu wody, a zwłaszcza dynamiki jej obiegu w danym roku. Szczególnie istotne jest odniesienie obserwowanych zmian obiegu wody do uwarunkowań hydrometeorologicznych w zakresie: rozkładu czasowego opadów i odpływu rzecznego, występowania susz oraz opadów rozlewnych i nawalnych, identyfikacji epizodów i okresów występowania wezbrań i niżówek w wodach powierzchniowych i podziemnych. Dostawa wody do badanych geoekosystemów jest regionalnie zróżnicowana i nawiązuje do położenia poszczególnych zlewni w różnych regionach fizycznogeograficznych Polski. Podstawowe znaczenie mają warunki termiczne i opadowe, które decydują m.in. o klimatycznym bilansie wodnym, czyli różnicy pomiędzy opadem i parowaniem terenowym. Klimatyczny bilans wodny warunkuje np. wielkość zasilania i odnawiania zasobów wód podziemnych, odpływ ze zlewni oraz funkcjonowanie świata roślinnego i zwierzęcego. Przedstawione zależności są bardzo ważne z praktycznego punktu widzenia, m.in. dla celów planowanych zmian struktury użytkowania terenu i zagospodarowania przestrzennego.

W oparciu o założenia metodologiczne i metodyczne ZMŚP sporządzano coroczne opracowania syntetyczne o stanie geoekosystemów Polski (Kruszyk 2003, 2004, 2005, 2006, 2009, 2010; Major 2007, 2008; Szpikowski 2011, 2012; Tylkowski 2013, 2014, 2015a, 2016;

Tylkowski, Kostrzewski 2017, 2018; Majewski, Kostrzewski 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024). W początkowych opracowaniach (Zwoliński 1997; Kolander 1999; Kruszyk 2003; Mazurek, Zwoliński 2000, 2001, 2002) prezentowano głównie wyniki uzyskane przez Stacje Bazowe w ramach realizacji poszczególnych programów badawczych, a w mniejszym stopniu przedstawiano związki przyczynowo-skutkowe między komponentami środowiska przyrodniczego. Wykonywane od 2003 roku kompleksowe oceny stanu środowiska przyrodniczego w zlewniach eksperymentalnych stanowiły wyraźny postęp merytoryczny w stosunku do pierwszych opracowań ZMŚP. Podkreślić należy systematycznie zwiększające się zakres i kompleksowość opracowań, w szczególności od 2011 roku, kiedy to w opracowaniach zawarte są informacje o aktualnym stanie, trendach wieloletnich oraz zagrożeniach środowiska geograficznego zlewni eksperymentalnych ZMŚP.

Raport za 2024 rok, będący przedmiotem niniejszego opracowania, podobnie jak sprawozdania za lata 2011-2023 został sporządzony w oparciu o wybrane geowskaźniki ilościowe i jakościowe obiegu wody wprowadzone przez Szpikowskiego (2011) i uzupełnione przez Tylkowskiego (2016). Ponadto w opracowaniu wskazano trendy zmian w środowisku przyrodniczym badanych zlewni od 1994 roku, ze szczególnym uwzględnieniem zdarzeń ekstremalnych. Przedstawiono również stan środowiska wodnego w nawiązaniu do wybranych parametrów fizykochemicznych, uwzględnionych np. w Ramowej Dyrektywie Wodnej.

Uzyskane dotychczas w ramach ZMŚP wyniki mogą stanowić podstawę przedstawienia kierunków rozwoju badanych geoekosystemów, które reprezentują odmienne typy krajobrazu. Identyfikacja źródeł zagrożeń środowiska przyrodniczego obszarów monitorowanych w ramach programu ZMŚP jest ważna w kontekście działań ochronnych prowadzonych w ramach Europejskiej Sieci Ekologicznej NATURA 2000, gdyż zdecydowana większość zlewni ZMŚP (9 z 12) położonych jest w jej granicach.

Obecny zasób zebranych informacji i danych ZMŚP pozwala nie tylko na aktualną ocenę stanu środowiska przyrodniczego, ale także na predykcję jego rozwoju. Centralna Baza Danych ZMŚP zawiera blisko 2 mln rekordów przedstawiających rzeczywiste, terenowe dane z okresu 1994-2024. Zgromadzone w bazie danych dane o krótkim interwale czasowym (dane dobowe i miesięczne) są istotne dla realizacji głównych założeń metodycznych ZMŚP, gdyż pozwalają na wprowadzanie i stosowanie geoindykatorów i bioindykatorów w ocenie jakości środowiska. Przedstawione założenia o charakterze metodologicznym i metodycznym stanowią podstawę prezentacji wyników realizowanego programu ZMŚP w 2024 roku. Szczegółowe informacje o programie ZMŚP znajdują się na stronie internetowej http://zmsp.gios.gov.pl.

2. ZLEWNIE BADAWCZE ZMŚP

Podstawowym obiektem badań w sieci Stacji Bazowych Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego są reprezentatywne dla poszczególnych regionów geograficznych eksperymentalne zlewnie rzeczne lub jeziorne. Przyjęta koncepcja funkcjonowania zlewni rzecznej, traktowanej jako geoekosystem (Kostrzewski 1993), określa indywidualność programu ZMŚP w porównaniu z branżowymi programami monitoringu. W poszczególnych zlewniach i ich otulinach zlokalizowane są powierzchnie testowe i profile badawcze oraz stanowiska pomiarowe. W 2024 roku komplementarne badania terenowe i analitykę laboratoryjną prowadzono wg standaryzowanych metod w 12 Stacjach Bazowych ZMŚP (Ryc. 1, Ryc. 2, Tab. 1, Tab. 2) (Kostrzewski, Majewski 2021).

Lokalizacja Stacji Bazowych ZMŚP uwzględnia zróżnicowanie krajobrazowe stref fizycznogeograficznych (Solon i in. 2018) i krajobrazowych (Mizgajski, Stępniewska 2012; Kostrzewski i in. 2014) w Polsce oraz mezoregionów w odniesieniu do dominujących form pokrycia terenu (Łowicki, Mizgajski 2013) (Ryc. 1, Tab. 1).

Ryc. 1. Lokalizacja Stacji ZMŚP w strefach krajobrazowych Polski (Kostrzewski i in. 2014 zmienione)

Pod względem dominujących form pokrycia terenu w zlewniach ZMŚP występuje duże zróżnicowanie (Tab. 1). Najmniej przekształcone przez człowieka formy pokrycia terenu występują na terenie parków narodowych w zlewni Świerszcza i Wrzosówki (leśne) i jeziora Gardno (leśne i średnio nienaturalne). Według klasyfikacji Łowickiego i Mizgajskiego (2013), nienaturalny i średnio zalesiony typ pokrycia terenu występuje w zlewni Kanału Olszowieckiego, natomiast w zlewniach Wieńca, Starej Rzeki i Bystrzanki dominuje pokrycie terenu w formie rolniczej i średnio nienaturalnej. Największym stopniem antropogenicznej przemiany pokrycia terenu cechują się zlewnie Strugi Toruńskiej oraz Czarnej Hańczy, które zakwalifikowano jako nienaturalne bądź rolnicze. Zlewnie Różanego Strumienia, górnej Parsęty i jeziora Łękuk charakteryzują się dużym zróżnicowaniem form pokrycia terenu, bez dominacji określonego typu.

Tab. 1. Charakterystyka położenia zlewni eksperymentalnych ZMŚP w strefach krajobrazowych i dominującej formy pokrycia terenu (Kostrzewski i in. 2014, zmienione)

Stacja ZMŚP	Zlewnia	Strefa krajobrazowa	Dominująca forma pokrycia terenu	Rok włączenia do sieci Stacji Bazowych ZMŚP
Wolin	jezioro Gardno	Morze Bałtyckie	leśna i średnio nienaturalna	2010
Parsęta	górna Parsęta	Pojezierza	zróżnicowana	1994
Puszcza Borecka	jezioro Łękuk	Pojezierza	zróżnicowana	1994
Wigry	Czarna Hańcza	Pojezierza	rolnicza	1994
Pojezierze Chełmińskie	Struga Toruńska	Pojezierza	rolnicza	1994
Poznań-Morasko	Różany Strumień	Pojezierza	zróżnicowana	2016
Kampinos	Kanał Olszowiecki	Niziny	nienaturalna i średnio leśna	1994
Łysogóry	Wieniec	Wyżyny	rolnicza i średnio nienaturalna	1994
Roztocze	Świerszcz	Wyżyny	leśna	2012
Pogórze Karpackie	Stara Rzeka	Góry średnie	rolnicza i średnio nienaturalna	2022
Beskid Niski	Bystrzanka	Góry średnie	rolnicza i średnio nienaturalna	1994
Karkonosze	Wrzosówka	Góry średnie	leśna	2016

Badane zlewnie eksperymentalne w systemie ZMŚP są różnej wielkości, o powierzchni mniejszej niż 100 km^2. Do największych powierzchniowo geoekosystemów należą zlewnie: górnej Parsęty (74,0 km^2), Świerszcza (46,5 km^2) i Strugi Toruńskiej (35,2 km^2). Z kolei najmniejsze w sieci ZMŚP są zlewnie Wieńca (1,3 km^2) i jeziora Gardno (2,4 km^2). Lokalizacja Stacji Bazowych ZMŚP nawiązuje do zróżnicowania struktury krajobrazowej kraju, a wytypowane zlewnie badawcze można uznać za reprezentatywne dla poszczególnych regionów geograficznych (Ryc. 2, Tab. 2). Przyjęte założenia rozmieszczenia Stacji Bazowych ZMŚP w poszczególnych strefach krajobrazowych pozwala na określenie przemian struktury krajobrazowej Polski w czasie i przestrzeni, stanowi ważny indykator współczesnych zmian klimatu.

Ryc. 2. Lokalizacja Stacji Bazowych Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w podprowincjach fizycznogeograficznych Polski, (Solon i in. 2018, zmienione)

313 – Pobrzeża Południowobałtyckie; 314-315 – Pojezierza Południowobałtyckie; 317 – Niziny Środkowoniemieckie 318 – Niziny Środkowopolskie; 332 – Sudety i Przedgórze Sudeckie; 341 – Wyżyna Śląsko-Krakowska; 342 – Wyżyna Małopolska; 343 – Wyżyna Lubelsko-Lwowska; 512 – Północne Podkarpacie; 513 – Zewnętrzne Karpaty Zachodnie; 514 – Centralne Karpaty Zachodnie; 522 – Zewnętrzne Karpaty Wschodnie (Beskidy Wschodnie); 841 – Pobrzeża Wschodniobałtyckie; 842 – Pojezierza Wschodniobałtyckie; 843 – Wysoczyzny Podlasko-Białoruskie; 845 – Polesie; 851 – Wyżyna Wołyńsko-Podolska

Tab. 2. Charakterystyka fizycznogeograficzna zlewni eksperymentalnych ZMŚP

Stacja Bazowa ZMŚP	Zlewnia	Powierzchnia [km^2]	Zlewnia/ Dorzecze	Mezoregion fizycznogeograficzny (wg Solon i in. 2018)	Makroregion fizycznogeograficzny (wg Solon i in. 2018)
Wolin	jezioro Gardno	2,4	Morze Bałtyckie	Uznam i Wolin	Pobrzeże Szczecińskie
Parsęta	Parsęta	74,0	Parsęta	Pojezierze Drawskie	Pojezierze Zachodniopomorskie
Puszcza Borecka	jezioro Łękuk	13,3	Węgorapa/ Pregoła	Pojezierze Ełckie	Pojezierze Mazurskie
Wigry	Czarna Hańcza	11,0	Niemen	Pojezierze Wschodniosuwalskie, Równina Augustowska	Pojezierze Litewskie
Pojezierze Chełmińskie	Struga Toruńska	35,5	Wisła	Pojezierze Chełmińskie	Pojezierze Chełmińsko-Dobrzyńskie, Pradolina Toruńsko-Eberswaldzka
Poznań-Morasko	Różany Strumień	7,7	Warta/Odra	Pojezierza Poznańskie, Poznański Przełom Warty	Pojezierze Wielkopolskie
Kampinos	Kanał Olszowiecki	21,0	Łasica/Wisła	Kotlina Warszawska	Nizina Środkowo-mazowiecka
Łysogóry	Wieniec	1,3	Kamienna/Wisła	Góry Świętokrzyskie	Wyżyna Kielecka
Roztocze	Świerszcz	46,5	Wieprz/Wisła	Roztocze Zachodnie/ Roztocze Środkowe	Roztocze
Pogórze Karpackie	Stara Rzeka	22,2	Raba/Wisła	Pogórze Wiśnickie/Podgórze Bocheńskie	Pogórze Zachodniobeskidzkie
Beskid Niski	Bystrzanka	13,0	Ropa/Wisła	Beskid Niski	Beskidy Środkowe
Karkonosze	Wrzosówka	11,5	Kamienna/Odra	Karkonosze	Sudety Zachodnie

W aktualnym rozmieszczeniu Stacji Bazowych ZMŚP można wyróżnić trzy transekty południkowe, które ujmują równoleżnikowy układ głównych stref krajobrazowych Polski:

1. Transekt zachodni: strefa młodoglacjalna Niżu Polskiego (Stacje Bazowe: Wolin, Parsęta, Poznań-Morasko), strefa górska (Stacja Bazowa Karkonosze).
2. Transekt środkowy: strefa młodoglacjalna Niżu Polskiego (Stacja Bazowa Pojezierze Chełmińskie), strefa staroglacjalna Niżu Polskiego (Stacja Bazowa Kampinos), strefa wyżynna (Stacja Bazowa Łysogóry), strefa górska (Stacje Bazowe: Pogórze Karpackie i Beskid Niski).
3. Transekt wschodni: strefa młodoglacjalna Niżu Polskiego (Stacje Bazowe: Wigry i Puszcza Borecka), strefa wyżynna (Stacja Bazowa Roztocze).

W układzie równoleżnikowym wyróżnić można także trzy transekty, które odzwierciedlają strefowość krajobrazową naszego kraju, a mianowicie:

1. W strefie wybrzeża i młodoglacjalnej Niżu Polskiego można wyznaczyć transekt obejmujący Stacje Bazowe: Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka i Wigry.
2. Drugi transekt obejmuje strefę nizin środkowych i wysoczyzn, Stacje: Poznań-Morasko, Pojezierze Chełmińskie i Kampinos.
3. Kolejny transekt równoleżnikowy, w zasięgu strefy gór i wyżyn, obejmuje Stacje: Karkonosze, Łysogóry i Roztocze.

W strefie wybrzeża i młodoglacjalnej Niżu Polskiego położone są następujące zlewnie ZMŚP: jeziora Gardno (Stacja Bazowa Wolin), górnej Parsęty (Stacja Bazowa Parsęta), jeziora Łękuk (Stacja Bazowa Puszcza Borecka), Czarnej Hańczy (Stacja Bazowa Wigry), Strugi Toruńskiej (Stacja Bazowa Pojezierze Chełmińskie) i Różanego Strumienia (Stacja Bazowa Poznań-Morasko). Pierwsze cztery spośród wymienionych zlewni są w niewielkim stopniu przekształcone antropogenicznie, natomiast ostatnie dwie stacje (Pojezierze Chełmińskie i Poznań-Morasko) podlegają znacznej antropopresji (odpowiednio: rolniczej i miejskiej).

Zlewnia jeziora Gardno (Stacja Bazowa Wolin) reprezentuje geoekosystem nadmorski, położony na wyspie Wolin, na obszarze Wolińskiego Parku Narodowego. Zlewnia jeziora Gardno położona jest w zasięgu mikroregionu Pasma Wolińskiego. Indywidualnością geograficzną badanej zlewni jest jej nadmorskie położenie w bezpośrednim sąsiedztwie wybrzeża klifowego, w strefie klimatu umiarkowanego, w zasięgu rzeźby terenu o charakterze młodoglacjalnym, gdzie występują znaczne deniwelacje i spadki terenu. Cechą charakterystyczną obszaru badań jest brak odpływu powierzchniowego, niemal całkowite zalesienie zlewni z dominacją drzewostanu bukowego, duży udział aerozoli morskich w obiegu wody i materii rozpuszczonej oraz względnie mała antropopresja. Wskazane cechy fizycznogeograficzne pozwalają uznać badaną zlewnię ZMŚP jeziora Gardno jako zlewnię reprezentatywną dla obszarów położonych w nadmorskiej strefie młodoglacjalnej Polski (Tylkowski i in. 2025).

Zlewnia górnej Parsęty, będąca obszarem badań Stacji Bazowej Parsęta, położona jest w obrębie Pomorza Środkowego, w mezoregionie Pojezierza Drawskiego. Zlewnia cechuje się rzeźbą strefy młodoglacjalnej, zróżnicowaną pod względem morfolitologicznym, cechami klimatu umiarkowanego i stosunkowo niewielkim stopniem przekształceń antropogenicznych, które w niewielkim stopniu wpływają na funkcjonowanie środowiska przyrodniczego. Można ją uznać za reprezentatywną dla obszarów młodoglacjalnych umiarkowanej strefy klimatycznej (Szpikowski i in. 2025).

Szczególną lokalizację w północnym pasie pojezierzy posiada Stacja Bazowa Puszcza Borecka, położona w strefie młodoglacjalnej z charakterystycznym zespołem form polodowcowych. Indywidualnością Stacji jest położenie umożliwiające badanie wpływów zanieczyszczeń transgranicznych. Badania jakości powietrza i wód docierających do podłoża zlewni jeziora Łękuk oraz zebrane dane pomiarowe dostarczają informacji na temat dostawy i depozycji składników będących efektem transportu transgranicznego oraz ich wpływu na funkcjonowanie ekosystemów leśnych i jeziornych. Na tym terenie występuje większość podstawowych zespołów leśnych, typowych dla klimatu umiarkowanego północno-wschodniej Polski.

Zlewnia badawcza Stacji Bazowej Wigry jest zlewnią różnicową Czarnej Hańczy, ograniczoną dwoma profilami pomiarowymi. Krajobraz zlewni określają utwory i formy polodowcowe oraz wodnolodowcowe z okresu recesji lądolodu podczas fazy pomorskiej. Obszar ten ma najsurowsze warunki klimatyczne w całej nizinnej części kraju. Zlewnia eksperymentalna odznacza się niezwykle wysoką wartością przyrodniczą, zwłaszcza ze względu na bogate i zróżnicowane florystycznie zespoły roślinne występujące głównie na dnie podmokłej doliny. Tereny wzdłuż rzeki zajmuje kompleks torfowisk niskich i przejściowych, z których wiele zachowało swój pierwotny charakter. Charakterystyczną cechą zlewni badawczej jest jej znaczny stopień bezodpływowości (Mackiewicz i in. 2025).

Zlewnia Strugi Toruńskiej na terenie Stacji Bazowej Pojezierze Chełmińskie reprezentuje młodoglacjalny geoekosystem przeobrażony rolniczo, silnie zagrożony obszarowymi zanieczyszczeniami rolniczymi, zanieczyszczeniami powietrza z pobliskich szlaków komunikacyjnych oraz emitowanymi przez zakłady produkcyjne Torunia i Bydgoszczy. W krajobrazie zlewni dominują kompleksy pól uprawnych, na których prowadzona jest wielkołanowa i wysokotowarowa produkcja rolnicza. Cały obszar jest prawie bezleśny i silnie zmeliorowany. Zlewnia Strugi Toruńskiej jest reprezentatywna dla krajobrazów pojeziernych ostatniego zlodowacenia bałtyckiego. Indywidualnością zlewni jest znacząca antropopresja, intensywne rolnictwo oraz brak lasów. Zlewnia jest położona w strefie podmiejskiej Torunia i podlega coraz większej presji ze strony rozbudowującego się miasta oraz rozwoju sieci transportowej (Kejna i in. 2025).

Zlewnia Różanego Strumienia, będąca obiektem badań Stacji Bazowej Poznań-Morasko, reprezentuje typowy krajobraz młodoglacjalny i znajduje się w obrębie strefy marginalnej stadiału poznańskiego zlodowacenia bałtyckiego. Analizowany obszar charakteryzuje się znacznymi deniwelacjami, przekraczającymi 100 m. Indywidualnością geograficzną badanej zlewni jest jej położenie w granicach aglomeracji miasta Poznania, co

pozwala na uzyskanie danych charakteryzujących skalę i dynamikę przemian zlewni rzecznych w wyniku działalności człowieka. Środowisko przyrodnicze zlewni charakteryzuje się znacznymi przekształceniami będącymi rezultatem działalności człowieka. Do najważniejszych problemów środowiskowych istniejących na obszarze zlewni należy zaliczyć zagrożenie związane z zanieczyszczeniem wód powierzchniowych i podziemnych na skutek nieuporządkowanej gospodarki wodno-ściekowej (Major i in. 2025).

Krajobraz staroglacjalny Polski środkowej reprezentowany jest przez zlewnię Kanału Olszowieckiego (Stacja Bazowa Kampinos), położoną w obrębie Puszczy Kampinoskiej, gdzie dominuje geoekosystem bagienno-łąkowy w różnych fazach naturalnej sukcesji. Zlewnia położona jest w zabagnionym obniżeniu, wypełnionym utworami organicznymi, Obszar ten znajduje się pod wpływem zanieczyszczeń atmosferycznych z Warszawy oraz w mniejszym stopniu zanieczyszczeń pochodzenia rolniczego z Równiny Łowicko-Błońskiej (Olszewski i in. 2025).

Stacja Bazowa Łysogóry obejmuje badaniami zlewnię leśno-rolniczą Wieńca w Górach Świętokrzyskich, w masywie Łysogór. Zlewnia pozostaje w strefie oddziaływania lokalnych, jak i ponadregionalnych emisji przemysłowych, co spowodowało już niekorzystne zmiany w ekosystemach leśnych, m.in. w drzewostanach jodłowych. Indywidualność zlewni określona jest głównie rzeźbą Gór Świętokrzyskich, co powoduje, że panujące tu warunki dużej wilgotności powietrza, dość wysokich sum rocznych opadów oraz stosunkowo długich okresów z małą prędkością wiatru i częstymi ciszami atmosferycznymi. Takie warunki stwarzają możliwość nierzadkiego i długotrwałego bezpośredniego oddziaływania mas powietrza atmosferycznego nasyconego emisjami przemysłowymi i komunikacyjnymi na elementy hylo-, pedo- i hydrosfery (Kozłowski i in. 2025).

Stacja Bazowa Roztocze realizuje badania w wyżynnej zlewni śródleśnego cieku – Świerszcza, położona jest w mezoregionach Roztocza Środkowego i Roztocza Zachodniego. Strefa źródliskowa Świerszcza zlokalizowana jest w obszarze mokradłowym, w systemie borów bagiennych oraz torfowisk wysokich o ombrofilnym charakterze gospodarki wodnej. Strumień Świerszcz na przeważającej długości biegu ma naturalny charakter i przecina stare drzewostany olchowe, sosnowe i jodłowe. Powierzchnia zlewni charakteryzuje się urozmaiconą rzeźbą terenu, mozaiką środowisk oraz słabym zaludnieniem z rozproszoną zabudową. Dominującym typem siedliska w zlewni są lasy (pochodzenia naturalnego oraz ukształtowane antropogenicznie, tworzące mozaikę zespołów roślinnych) (Stachyra i in. 2025).

Stacja Bazowa Pogórze Karpackie, zlokalizowana w zlewni Starej Rzeki reprezentuje geoekosystem pogórzy karpackich: pogórzy typu niskiego w północnej części zlewni oraz

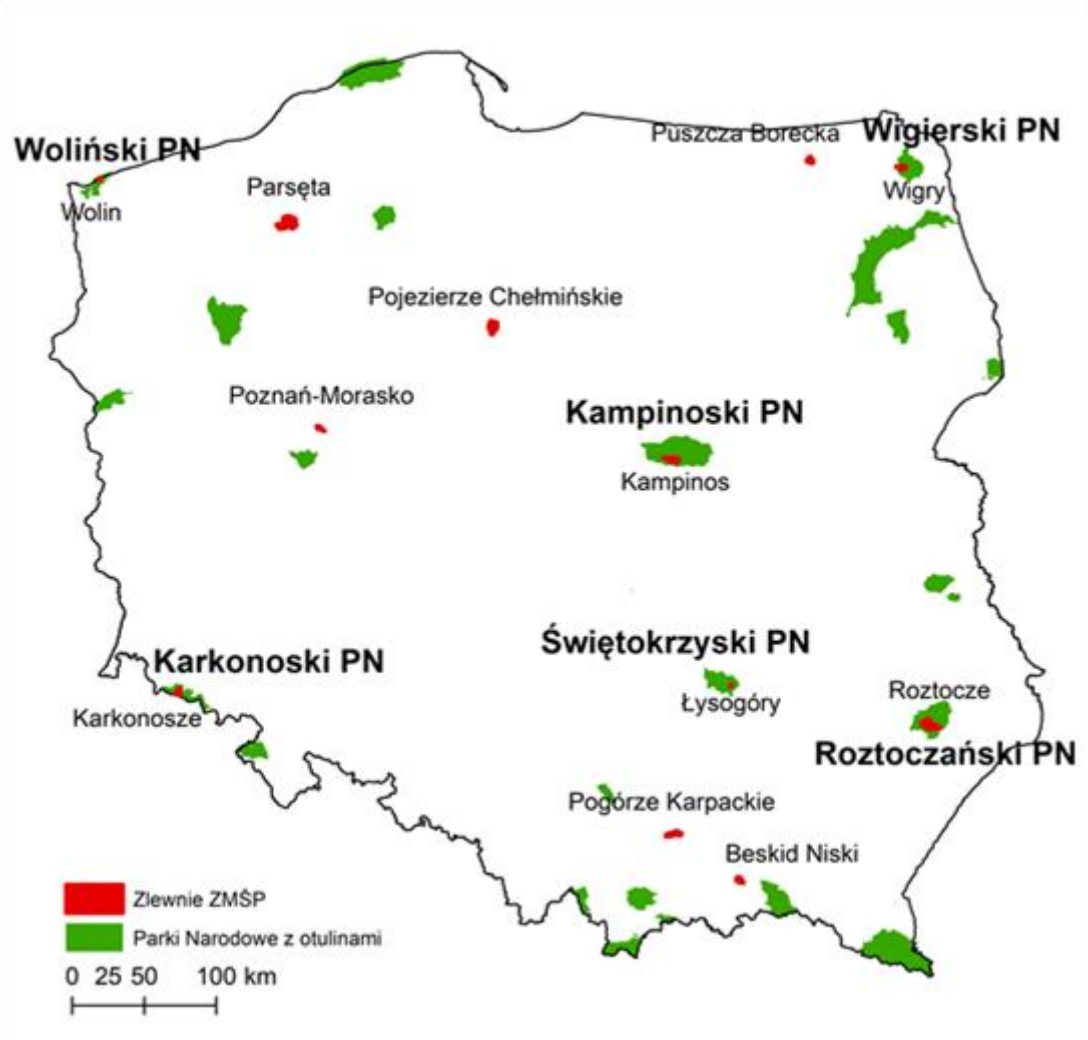
pogórzy typu średniego w południowej. Cechą charakterystyczną zlewni jest dojrzała rzeźba fluwialno-denudacyjna. Główne doliny oddzielone są od siebie szerokimi garbami o zaokrąglonych, wyrównanych wierzchowinach. Licznie występują osuwiska ziemne i zwietrzelinowe, a także skalno-zwietrzelinowe. Monitorowana zlewnia może być narażona na napływ zanieczyszczeń z położonej ok. 40 km od aglomeracji krakowskiej (Klimek i in. 2025).

Stacja Bazowa Beskid Niski, zlokalizowana w zlewni Bystrzanki, reprezentuje geoekosystem części Karpat Fliszowych, który w coraz mniejszym stopniu narażony jest na napływ zanieczyszczeń atmosfery, m.in. w wyniku likwidacji zakładów przemysłowych w Gorlicach. Monitoring w Stacji Bazowej Beskid Niski uwzględnia specyfikę wynikającą z występowania piętrowości klimatycznej i roślinnej oraz z natężenia procesów oraz zjawisk przyrodniczych charakterystycznych dla Karpat Fliszowych, m.in. ruchów osuwiskowych i procesów erozji wodnej gleb (Kijowska-Strugała, Bochenek 2025).

Stacja Bazowa Karkonosze położona w zlewni Wrzosówki reprezentuje krajobraz gór średnich. W zlewni występuje duża różnorodność ekosystemów, siedlisk i zbiorowisk roślinnych, charakteryzujących się typową dla obszarów górskich piętrowością. Piętro regla dolnego porośnięte jest lasami o strukturze siedliskowej i gatunkowej typowej dla całego obszaru Sudetów. Należą do nich siedliska leśne m.in. kwaśnej buczyny sudeckiej oraz boru świerkowo-jodłowego, odtwarzane obecnie drogą restytucji jodły pospolitej. Zlokalizowane są tu cenne ekosystemy łąkowe. Regiel górny porasta górnoreglowa świerczyna sudecka, urozmaicona licznymi stokowymi torfowiskami przejściowymi. Zlewnia Wrzosówki jest reprezentatywna dla całego obszaru Karkonoszy i łączy w sobie elementy górskie oraz borealne (Krakowski i in. 2025).

3. ZLEWNIE BADAWCZE ZMŚP A OBSZARY SZCZEGÓLNIE CENNE PRZYRODNICZO: PARKI NARODOWE I SIEĆ NATURA 2000

Sześć zlewni ZMŚP położonych jest w parkach narodowych: Wolińskim, Wigierskim, Kampinoskim, Świętokrzyskim, Roztoczańskim i Karkonoskim (Ryc. 3). Dziewięć zlewni badawczych ZMŚP położonych jest w całości lub w części na obszarach włączonych do sieci Natura 2000 (Ryc. 4). Położenie zlewni ZMŚP w obszarach cennych przyrodniczo zwiększa znaczenie programu ZMŚP w zadaniach dotyczących m.in. ochrony wartościowych siedlisk, zachowania dobrych warunków dla ochrony fauny i flory m.in. dziko żyjących ptaków (Dyrektywa 2009/147/WE, tzw. Dyrektywa Ptasia oraz Dyrektywa 92/43/EWG, tzw. Dyrektywa Siedliskowa). W związku z powyższym program ZMŚP może być także wykorzystany do oceny oddziaływań i zagrożeń w programie Natura 2000.



Ryc. 3. Lokalizacja Stacji Bazowych ZMŚP w parkach narodowych Polski

Ryc. 4. Lokalizacja zlewni badawczych ZMŚP na tle obszarów Natura 2000 w Polsce

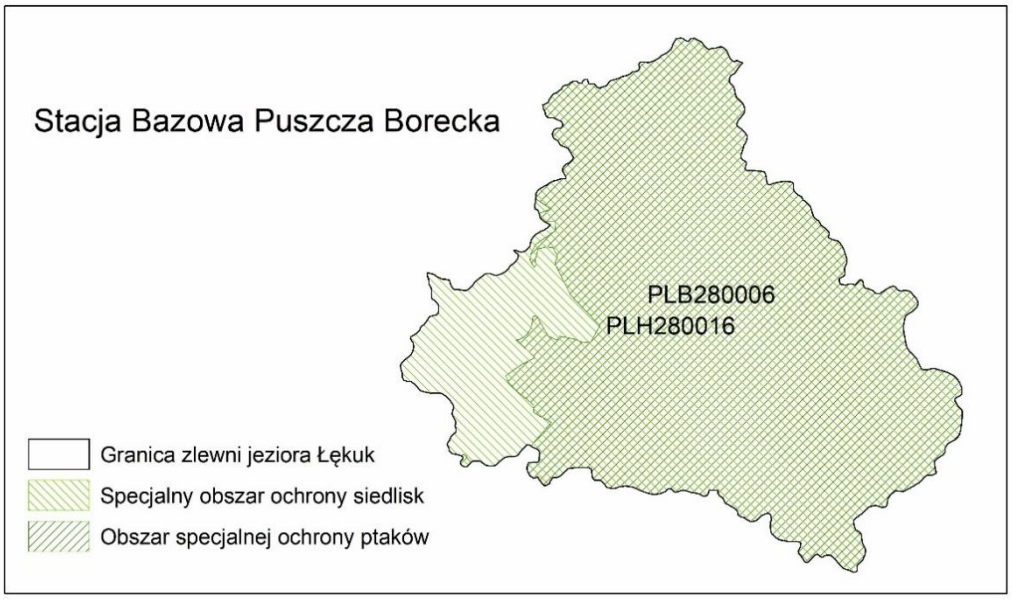
Spośród dwunastu Stacji Bazowych ZMŚP aż dziewięć jest położonych całkowicie albo częściowo na obszarach Natura 2000. Jedynie zlewnie Strugi Toruńskiej, Różanego Strumienia i Starej Rzeki są położone poza granicami obszarów Natura 2000:

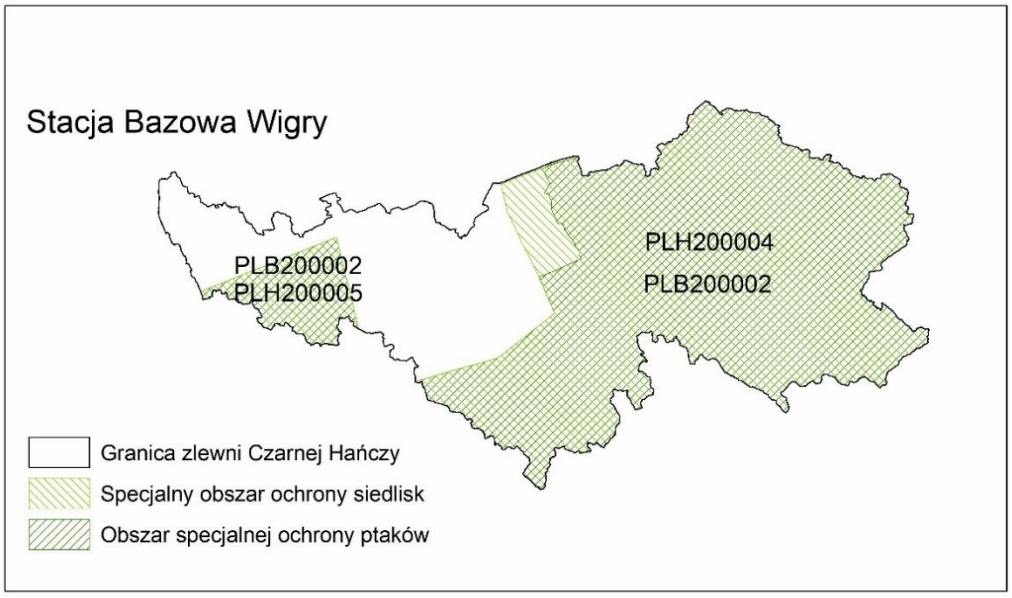
1. Zlewnia jeziora Gardno (Stacja Bazowa Wolin) położona jest całkowicie w Wolińskim Parku Narodowym oraz w granicach obszaru Natura 2000 *Wolin i Uznam (PLH320019)* (Ryc. 5).
2. Około 33,5% powierzchni zlewni górnej Parsęty (Stacja Bazowa Parsęta) wchodzi w skład Obszaru Natura 2000 *Dorzecze Parsęty (PLH320007 – 31%) i Jeziora Szczecineckie (PLH 320009 – 2,5%)* (Ryc. 5).
3. Zlewnia jeziora Łękuk monitorowana przez Stację Bazową Puszcza Borecka w około 86% położona jest w granicach obszaru Natura 2000 *Puszcza Borecka (PLB280006) i w całości w granicach obszaru Ostoja Borecka (PLH280016)* (Ryc. 5).
4. Zlewnia Czarnej Hańczy, objęta monitoringiem Stacji Bazowej Wigry, wchodzi w około 74,5% w skład specjalnych obszarów ochrony siedlisk sieci Natura 2000:

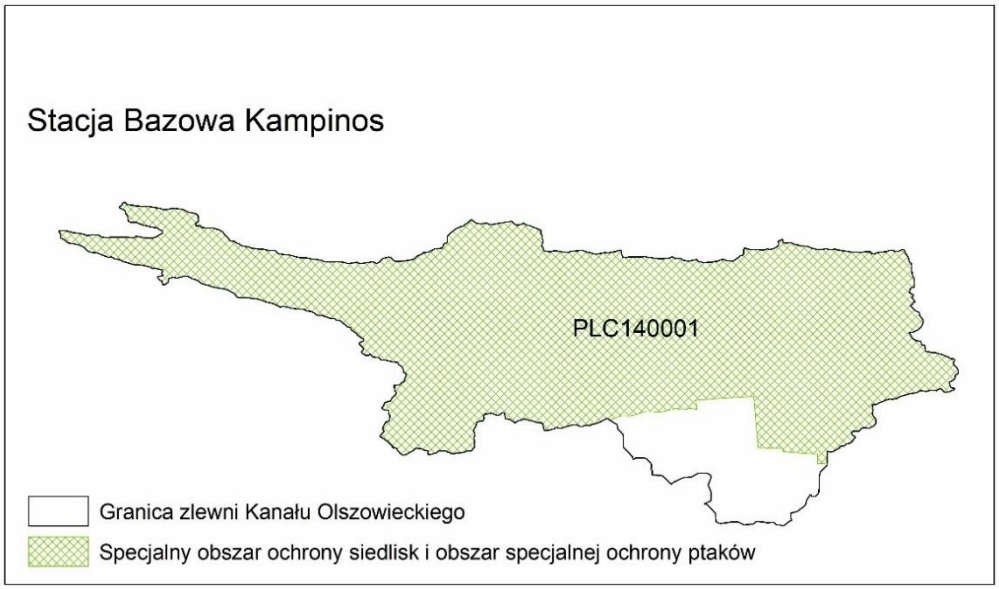
Ostoja Wigierska (PLH200004 – 68,5%) i *Ostoja Augustowska (PLH200005 – 6%)*, jak również w 71% w *skład* obszaru specjalnej ochrony ptaków *Puszcza Augustowska PLB200002* (Ryc. 5). Ponadto ok. 65% powierzchni zlewni znajduje się w Wigierskim Parku Narodowym.

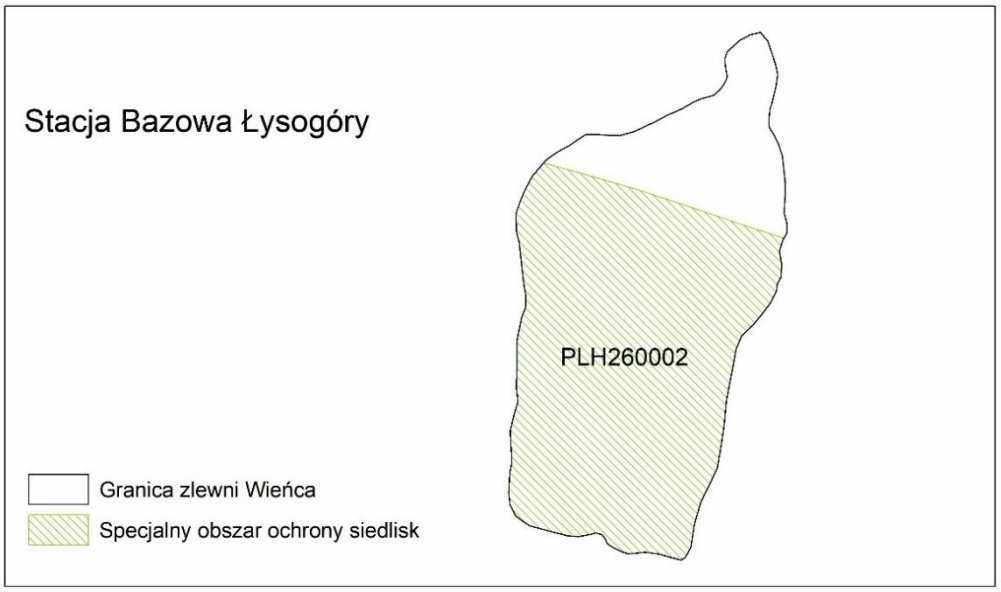
5. Zlewnia Kanału Olszowieckiego (Stacja Bazowa Kampinos) w około 88% położona jest na terenie obszaru Natura 2000 *Puszcza Kampinoska (PLC140001)* oraz w całości w Kampinoskim Parku Narodowym i jego otulinie (Ryc. 5).
6. Około 78% zlewni badawczej Wieńca (Stacja Bazowa Łysogóry) leży w granicach obszaru Natura 2000 *Łysogóry (PLH260002)* oraz w całości na terenie Świętokrzyskiego Parku Narodowego i jego otuliny (Ryc. 5).
7. Zlewnia Świerszcza monitorowana przez Stację Bazową Roztocze w całości leży w granicach Roztoczańskiego Parku Narodowego i jego otulinie. Zlewnia w 47% znajduje się w obrębie specjalnego obszaru ochrony siedlisk sieci Natura 2000 *Roztocze Środkowe PLH060017*. Ponadto zlewnia Świerszcza w całości znajduje się na obszarze specjalnej ochrony ptaków Natura 2000 *Roztocze PLB060012* (Ryc. 5).
8. Zlewnia Wrzosówki (Stacja Bazowa Karkonosze) położona jest w całości w Karkonoskim Parku Narodowym i jego otulinie oraz na obszarze Natura 2000: *Karkonosze PLC020001* (Ryc. 5).
9. W granicach zlewni Bystrzanki, monitorowanej przez Stację Bazową Beskid Niski, znajduje się bardzo mały fragment obszaru Natura 2000 *Wisłoka z dopływami PLH 180052*.

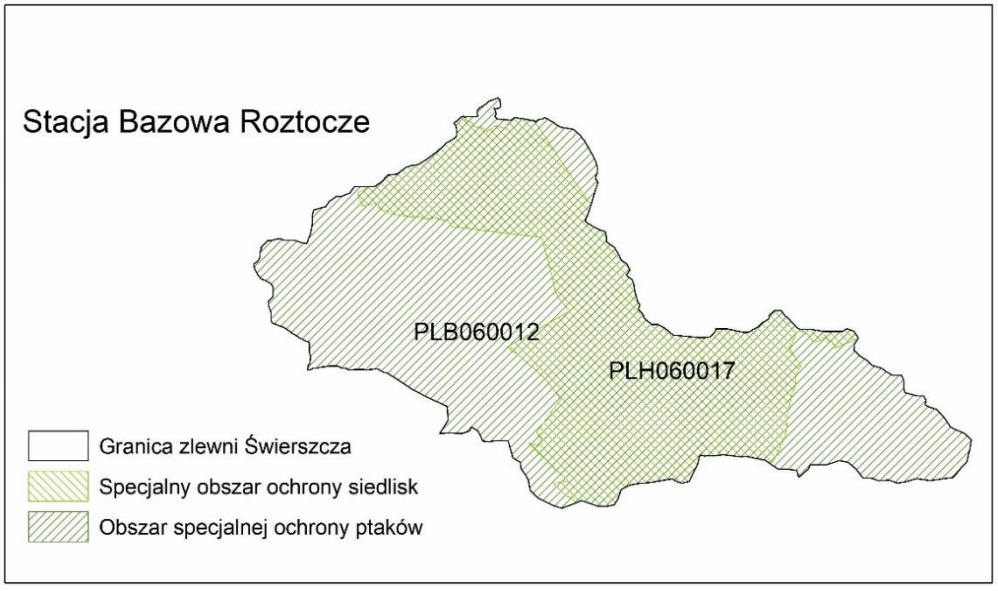
Stacja Bazowa Parsęta
PLH320009
PLH320007
Granica zlewni górnej Parsęty
Specjalny obszar ochrony siedlisk

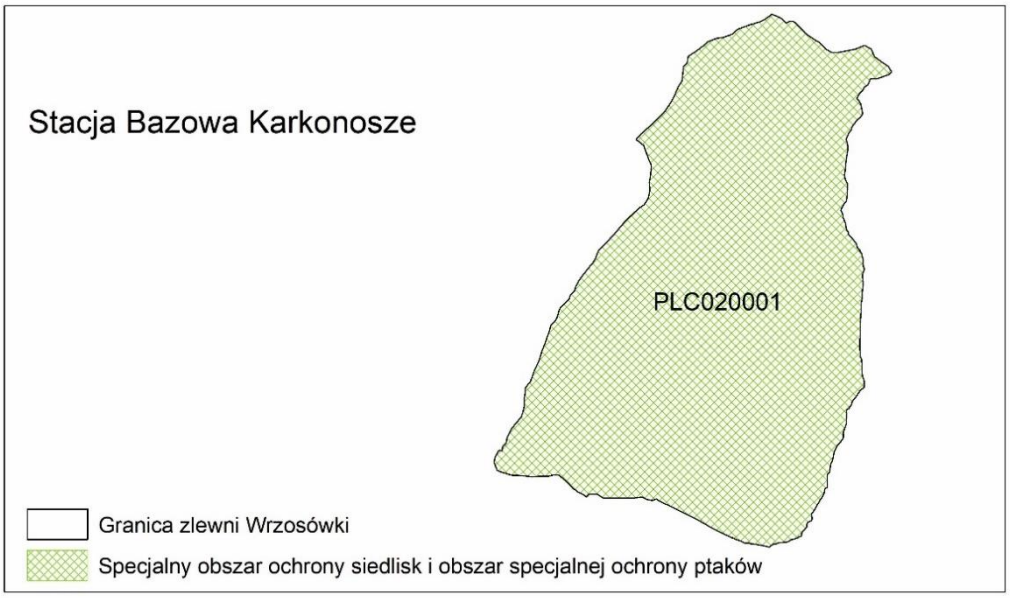

Stacja Bazowa Puszcza Borecka
PLB280006
PLH280016
Granica zlewni jeziora Łękuk
Specjalny obszar ochrony siedlisk
Obszar specjalnej ochrony ptaków


Stacja Bazowa Wigry
PLB200002
PLH200005
PLH200004
PLB200002
Granica zlewni Czarnej Hańczy
Specjalny obszar ochrony siedlisk
Obszar specjalnej ochrony ptaków


Stacja Bazowa Kampinos
PLC140001
Granica zlewni Kanału Olszowieckiego
Specjalny obszar ochrony siedlisk i obszar specjalnej ochrony ptaków


Stacja Bazowa Łysogóry
PLH260002
Granica zlewni Wieńca
Specjalny obszar ochrony siedlisk


Stacja Bazowa Roztocze
PLB060012
PLH060017
Granica zlewni Świerszcza
Specjalny obszar ochrony siedlisk
Obszar specjalnej ochrony ptaków



Ryc. 5. Położenie zlewni Stacji Bazowych ZMŚP w zasięgu obszarów Natura 2000

Z powyższego zestawienia wynika, że zlewnie badawcze Stacji Bazowych ZMŚP mogą w zasadniczy sposób wspierać krajowy system ochrony przyrody w ramach sieci Natura 2000 w zakresie dostarczania danych o stanie środowiska przyrodniczego. W przypadku większości siedlisk Natura 2000, struktura i ich funkcjonowanie, jak również utrzymanie ich właściwego stanu ochrony zależy od zbadania dynamiki procesów i zjawisk zachodzących naturalnie i warunkowanych antropogenicznie. Monitoring gatunków i siedlisk przyrodniczych będących przedmiotem zainteresowania Wspólnoty odbywa się z wykorzystaniem metodyk opracowanych na zlecenie i opublikowanych przez GIOŚ (https://siedliska.gios.gov.pl/publikacje-menu/przewodniki-metodyczne/dla-gatunkow-roslin). Monitoring ten jest wykonywany przez różne instytucje. W ramach Państwowego Monitoringu Środowiska GIOŚ realizuje monitoring gatunków i siedlisk przyrodniczych, którego celem jest gromadzenie informacji pozwalających na określenie aktualnego stanu gatunków roślin i zwierząt (innych niż ptaki) oraz siedlisk przyrodniczych w kontekście zmian zachodzących na skutek różnego rodzaju antropogenicznych i naturalnych oddziaływań oraz stosowanych sposobów ochrony. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego dysponuje danymi naukowymi, dotyczącymi stanu środowiska przyrodniczego, które są systematycznie zbierane z wykorzystaniem metod obserwacyjno-pomiarowych i mogą być wykorzystane do opisu czynników warunkujących stan siedlisk. Przykładowo, w przypadku siedliska 1230 Klify na wybrzeżu Bałtyku do fundamentalnych czynników warunkujących stan tego siedliska należą m.in. bardzo liczne procesy generowane m.in. warunkami hydrometeorologicznymi, jak erozja, w tym: wietrzna (deflacja, akumulacja), wodna (powierzchniowa, liniowa) i wodno-

grawitacyjna (osuwiska, obrywy, osiadania, spełzywania, spływy) i są to parametry do opisu i oceny specyficznej struktury i funkcji siedliska przyrodniczego.

Prowadzone w zlewniach badania posiadają ważne znaczenie dla osiągnięcia podstawowych celów projektu Natura 2000, zachowania dziedzictwa przyrodniczego Polski oraz kształtowania polityki zrównoważonego rozwoju (Herbich 2003).

4. PROGRAM BADAWCZO-POMIAROWY STACJI BAZOWYCH ZMŚP

W 2024 roku Stacje Bazowe ZMŚP realizowały pełen zakres programów pomiarowych ZMŚP (Tab. 3). Niektóre programy wykonywane były we współpracy z jednostkami zewnętrznymi np. program zanieczyszczenia powietrza z przedsiębiorstwem Propagator z Krakowa.

Tab. 3. Podstawowy program pomiarowy realizowany przez Stacje Bazowe ZMŚP w 2024 r.

Program pomiarowy	Wolin	Parsęta	Puszcza Borecka	Wigry	Pojezierze Chełmińskie	Poznań-Morasko	Kampinos	Łysogóry	Roztocze	Pogórze Karpackie	Beskid Niski	Karkonosze
Meteorologia A1												
Zanieczyszczenie powietrza B1												
Chemizm opadów atmosferycznych C1												
Chemizm opadu podkoronowego C2												
Chemizm spływu po pniach C3												
Gleby E1												
Chemizm roztworów glebowych F1												
Wody podziemne F2												
Opad organiczny G2												
Wody powierzchniowe – rzeki H1												
Wody powierzchniowe – jeziora H2												
Gatunki inwazyjne obcego pochodzenia – rośliny J3												
Uszkodzenia drzew i drzewostanów K1												

	zrealizowany przez Stacje		nierealizowany – brak w zlewni danego komponentu środowiska geograficznego
	zrealizowany we współpracy z jednostkami zewnętrznymi		niezrealizowany – awaria, brak sprzętu, lub inne przyczyny

Pełen zakres pomiarowy realizowany był w tych Stacjach Bazowych, w których występowały określone w programie ZMŚP komponenty środowiska przyrodniczego (Tab. 3). W Stacji Pojezierze Chełmińskie, w zlewni Strugi Toruńskiej, ze względu na brak zwartej powierzchni leśnej nie wykonywano programów: chemizm opadu podkoronowego (C2), chemizm spływu po pniach (C3), opad organiczny (G2) oraz uszkodzenia drzew i drzewostanów (K1). Program H2 wody powierzchniowe – jeziora wykonywany był w zlewniach zawierających zbiorniki jeziorne, tylko w stacjach położonych w strefie młodoglacjalnej Polski: Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka i Pojezierze Chełmińskie. W Stacji Puszcza Borecka ze względu na brak odpowiedniego cieku nie wykonywano programu H1 wody powierzchniowe – rzeki.

W 2024 roku w Stacjach Bazowych ZMŚP wykonywane były przez ekspertów ZMŚP programy specjalistyczne, które dotyczyły określenia stanu środowiska przyrodniczego,

głównie w odniesieniu do programów biotycznych realizowanych w różnych interwałach czasowych. Na wszystkich Stacjach zrealizowano programy: Metale ciężkie i siarka w porostach (D1) oraz Metale ciężkie i siarka w mchach (D2) (zadanie 6. umowy ZMŚP – dr hab. Małgorzata Jóźwiak, Europejski Instytut Kształcenia Podyplomowego EIPOS). Program Gleby E1, realizowany raz na 10 lat w danej zlewni, wykonano w Stacji Parsęta (zadanie 7. umowy ZMŚP – dr inż. Katarzyna Wiatrowska, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu). W czterech Stacjach ZMŚP: Wolin, Poznań-Morasko, Beskid Niski i Karkonosze wykonano Program I1 Hydrobiologia rzek makrofity i ocena hydromorfologiczna koryta rzecznego, który realizowany jest raz na 3 lata w danej zlewni (zadanie 5. umowy ZMŚP – prof. dr hab. Krzysztof Szoszkiewicz, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu). Natomiast program Ocena usług geoekosystemów, realizowany również raz na 3 lata w danej zlewni, (zadanie 10. umowy ZMŚP – dr Piotr Lupa, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu) zrealizowano w czterech Stacjach Bazowych: Łysogóry, Roztocze, Pogórze Karpackie i Beskid Niski (Tab. 4).

Tab. 4. Programy badawczo-pomiarowe ZMŚP zrealizowane w Stacjach Bazowych ZMŚP przez Ekspertów ZMŚP w 2024 roku

Program pomiarowy	Wolin	Parsęta	Puszcza Borecka	Wigry	Pojezierze Chełmińskie	Poznań-Morasko	Kampinos	Łysogóry	Roztocze	Pogórze Karpackie	Beskid Niski	Karkonosze
Metale ciężkie i siarka w porostach D1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Metale ciężkie i siarka w mchach D2	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Gleby E1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Hydrobiologia rzek – makrofity i ocena hydromorfologiczna koryta rzecznego I1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Świadczenia geoekosystemów	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

■ zrealizowany przez Eksperta ZMŚP ■ programy będą realizowane w kolejnych latach zgodnie z harmonogramem

W tabeli 5. przedstawiono programy i parametry pomiarowe zrealizowane w 2024 roku przez Stacje ZMŚP, zarówno w ramach zakresu obligatoryjnego jak i rozszerzonego. Zrealizowano 13 programów ZMŚP, wśród których badano 131 parametrów podstawowych i 44 parametry rozszerzone.

Tab. 5. Zakres programów i parametrów pomiarowych ZMŚP wykonanych w Stacjach Bazowych w 2024 roku

Program	Parametr	Kod parametru	Częstotliwość pomiarów/ czas uśredniania	Status Uwagi
METEOROLOGIA A1	Zakres obligatoryjny			
	ciśnienie atmosferyczne (zredukowane do poziomu morza)	PRES	pomiar ciągły/średnia dobowa	Wszystkie stacje
	temperatura powietrza na 2 m	TA_D	pomiar ciągły/średnia dobowa	
	minimalna temperatura powietrza na 2 m	TA_N	pomiar ciągły/minimalna dobowa	
	maksymalna temperatura powietrza na 2 m	TA_X	pomiar ciągły/maksymalna dobowa	
	temperatura minimalna powietrza przy powierzchni gruntu (na 5 cm nad gruntem)	TA_G	pomiar ciągły/minimalna dobowa	
	temperatura gruntu na głębokościach 5, 10, 20 i 50 cm	T_S	pomiar ciągły/średnia dobowa	
	wilgotność względna powietrza na 2 m	HH	pomiar ciągły/średnia dobowa	
	wysokość opadów na 1 m	RR_T	1/dobę/suma	
	prędkość wiatru na 10 m	WIV	pomiar ciągły/średnia dobowa	
	kierunek wiatru na 10 m	WID	pomiar ciągły/wartość modalna	
	grubość pokrywy śnieżnej	SC_H	1/dobę	
	usłonecznienie	SOL_P	pomiar ciągły/suma dobowa	
	natężenie promieniowania słonecznego	SOL_T_S	pomiar ciągły/średnia dobowa	
	Zakres rozszerzony			
	czas trwania opadów	RR_P	rejestracja ciągła	Puszcza Borecka

Program	Parametr	Kod parametru	Częstotliwość pomiarów/ czas uśredniania	Status Uwagi
ZANIECZYSZCZENIE POWIETRZA B1	Zakres obligatoryjny			
	siarka w dwutlenku siarki S-SO_2 (oznaczana metodą pasywną)	SO2S_P	1/miesiąc	Wszystkie stacje
	azot w dwutlenku azotu N-NO_2 (oznaczana metodą pasywną)	NDON_P		
	Zakres rozszerzony			
	siarka w dwutlenku siarki S-SO_2 (metoda manualna lub automatyczna)	SO2S	1/dobę	Puszcza Borecka, Roztocze, Beskid Niski
	azot w dwutlenku azotu N-NO_2 (metoda manualna lub automatyczna)	NDON		Puszcza Borecka, Poj. Chełmińskie, Kampinos, Roztocze, Beskid Niski
	ozon O_3	O3		Puszcza Borecka, Kampinos, Roztocze
	azot azotanowy [HNO_3(g)+NO_3(a)]	NO3N_T		Puszcza Borecka
	azot amonowy [NH_3(g)+NH_4(a)]	NH4N_T		
	dwutlenek węgla CO_2	CO2		
	siarka siarczanowa S-SO_4	SO4S		
	pył zawieszony	PM10		Poj. Chełmińskie
CHEMIZM OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH C1	Zakres obligatoryjny			
	przewodność elektrolityczna właściwa	COND	12/rok z próbek dobowych lub tygodniowych	Wszystkie stacje
	odczyn (pH)	PH		
	zasadowość (jeżeli pH > 4,5)	ALK		
	siarka siarczanowa S-SO_4	SO4S		
	azot azotanowy N-NO_3	NO3N		
	azot amonowy N-NH_4	NH4N		
	chlorki Cl	CL		
	sód Na	NA		
	potas K	K		
	wapń Ca	CA		
	magnez Mg	MG		
	Zakres rozszerzony			
	fosfor ogólny $P_{ogól.}$	PTOT	12/rok z próbek dobowych lub tygodniowych	Puszcza Borecka
	kadm Cd	CD		
	miedź Cu	CU		
	ołów Pb	PB		
	mangan Mn	MN		
	żelazo Fe	FE		
	cynk Zn	ZN		
	nikiel Ni	NI		
	arsen As	AS		
	chrom Cr	CR		
	glin Al	AL		

Program	Parametr	Kod parametru	Częstotliwość pomiarów/ czas uśredniania	Status Uwagi
CHEMIZM OPADU PODKORONOWEGO C2	Zakres obligatoryjny			
	opad podkoronowy	RR_TF	12/rok	Wszystkie stacje oprócz Poj. Chełmińskiego (brak powierzchni leśnej)
	przewodność elektrolityczna właściwa	COND	12/rok z próbek tygodniowych	
	odczyn (pH)	PH		
	zasadowość (jeżeli pH > 4,5)	ALK		
	siarka siarczanowa S-SO_4	SO4S		
	azot azotanowy N-NO_3	NO3N		
	azot amonowy N-NH_4	NH4N		
	chlorki Cl	CL		
	sód Na	NA		
	potas K	K		
	wapń Ca	CA		
	magnez Mg	MG		
	Zakres rozszerzony			
	fosfor ogólny $P_{ogól.}$	PTOT	12/rok z próbek tygodniowych	Puszcza Borecka
	mangan Mn	MN		
	żelazo Fe	FE		
	glin Al	AL		
CHEMIZM SPŁYWU PO PNIACH C3	Zakres obligatoryjny			
	spływ po pniach	RR_SF	12/rok	Wszystkie stacje oprócz Poj. Chełmińskiego (brak powierzchni leśnej)
	przewodność elektrolityczna właściwa	COND	12/rok z próbek tygodniowych	
	odczyn (pH)	PH		
	zasadowość (jeżeli pH > 4,5)	ALK		
	siarka siarczanowa S-SO_4	SO4S		
	azot azotanowy N-NO_3	NO3N		
	azot amonowy N-NH_4	NH4N		
	chlorki Cl	CL		
	sód Na	NA		
	potas K	K		
	wapń Ca	CA		
	magnez Mg	MG		
	Zakres rozszerzony			
	fosfor ogólny $P_{ogól.}$	PTOT	12/rok z próbek tygodniowych	Puszcza Borecka
	mangan Mn	MN		
	żelazo Fe	FE		
	glin Al	AL		

Program	Parametr	Kod parametru	Częstotliwość pomiarów/ czas uśredniania	Status Uwagi
GLEBY E1	Zakres obligatoryjny			
	odczyn (pH) zawiesiny w H_2O	PH_EW20	1/rok	Wszystkie stacje
	przewodność zawiesiny w H_2O	COND_EW		
	odczyn (pH) zawiesiny w $CaCl_2$	PH_EC20		
CHEMIZM ROZTWORÓW GLEBOWYCH F1	Zakres obligatoryjny			
	przewodność elektrolityczna właściwa	COND	1/miesiąc	Wszystkie stacje
	odczyn (pH)	PH		
	zasadowość (jeżeli pH > 4,5)	ALK		
	siarka siarczanowa S-SO_4	SO4S		
	azot azotanowy N-NO_3	NO3N		
	azot amonowy N-NH_4	NH4N		
	fosfor ogólny $P_{ogól.}$	PTOT		
	chlorki Cl	CL		
	wapń Ca	CA		
	magnez Mg	MG		
	sód Na	NA		
	potas K	K		
	Zakres rozszerzony			
	glin Al	AL	1/miesiąc	Puszcza Borecka, Wigry, Roztocze, Karkonosze
	żelazo Fe	FE		Puszcza Borecka
	mangan Mn	MN		
WODY PODZIEMNE F2	Zakres obligatoryjny			
	poziom wód gruntowych lub wydajność źródła	WL SPRING_D	pomiar automatyczny lub 1/miesiąc	Wszystkie stacje
	temperatura wody	TEMP	pomiar automatyczny lub 1/miesiąc lub 1/kwartał	
	przewodność elektrolityczna właściwa	COND		
	odczyn pH	PH	1/2 miesiące	
	zasadowość (jeżeli pH > 4,5)	ALK		
	wapń Ca	CA		
	magnez Mg	MG		
	sód Na	NA		
	potas K	K		
	siarka siarczanowa S-SO_4	SO4S		
	azot azotanowy N-NO_3	NO3N		
	azot amonowy N-NH_4	NH4N		
	fosfor ogólny $P_{ogól.}$	PTOT		
	chlorki Cl	CL		

Program	Parametr	Kod parametru	Częstotliwość pomiarów/ czas uśredniania	Status Uwagi
WODY PODZIEMNE F2	Zakres rozszerzony			
	glin Al	AL	1/2 miesiące	Puszcza Borecka, Roztocze, Karkonosze
	BZT5	BZT5		Puszcza Borecka, Beskid Niski
	tlen rozpuszczony O_2	O2		Beskid Niski
	mangan Mn	MN		Puszcza Borecka
	żelazo Fe	FE		
OPAD ORGANICZNY G2	Zakres obligatoryjny			
	opad organiczny (masa sucha)	LDEP_D_f	12/rok	Wszystkie stacje – oprócz Pojezierza Chełmińskiego (brak powierzchni leśnej)
	całkowity węgiel organiczny C_{org}	TOC	1/rok z próbek miesięcznych	
	azot ogólny $N_{ogól.}$	NTOT		
	fosfor ogólny $P_{ogól.}$	PTOT		
	potas K	K		
	Zakres rozszerzony			
	siarka ogólna $S_{ogól.}$	STOT	1/rok z próbek miesięcznych	Puszcza Borecka, Roztocze
	wapń Ca	CA		
	magnez Mg	MG		
	sód Na	NA		

Program	Parametr	Kod parametru	Częstotliwość pomiarów/ czas uśredniania	Status Uwagi
WODY POWIERCHNIOWE RZEKI H1	Zakres obligatoryjny			
	poziom wody	WL	ciągła rejestracja	Wszystkie stacje – oprócz Puszczy Boreckiej (brak cieku)
	zjawiska lodowe	ZLR	Obserwacja	
	zarastanie koryta	ZK		
	przepływ obliczony na podstawie aktualnej krzywej przepływu	Q_E	1/doba	
	temperatura wody	TEMP	1/tydzień lub 1/miesiąc	
	przewodność elektrolityczna	COND		
	odczyn pH	PH		
	zasadowość (jeżeli pH > 4,5)	ALK		
	sód Na	NA		
	potas K	K		
	wapń Ca	CA		
	magnez Mg	MG		
	azot azotanowy N-NO_3	NO3N		
	azot amonowy N-NH_4	NH4N		
	siarka siarczanowa S-SO_4	SO4S		
	chlorki Cl	CL		
	fosfor ogólny $P_{ogól.}$	PTOT		
	tlen rozpuszczony O_2	O2D		
	BZT_5	BZT5		
	zawiesina	SUS		
	Zakres rozszerzony			
	glin Al	AL	1/tydzień lub 1/miesiąc	Roztocze, Karkonosze

Program	Parametr	Kod parametru	Częstotliwość pomiarów/ czas uśredniania	Status Uwagi
WODY POWIERZCHNIOWE JEZIORA H2	Zakres obligatoryjny			
	poziom wody	WL	pomiar automatyczny lub 1/miesiąc	Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Poj. Chełmińskie
	temperatura wody	TEMP	pomiar automatyczny lub 1/kwartał	
	przewodność elektrolityczna (SEC)	COND		
	odczyn pH	PH	1/kwartał	
	zasadowość (jeżeli pH > 4,5)	ALK		
	sód Na	NA		
	potas K	K		
	wapń Ca	CA		
	magnez Mg	MG		
	azot azotanowy N-NO3	NO3N		
	azot amonowy N-NH4	NH4N		
	siarka siarczanowa S-SO4	SO4S		
	chlorki	CL		
	fosfor ogólny Pogól.	PTOT		
	fosfor fosforanowy PO4P	PO4P		
	tlen rozpuszczony O2	O2D		
	BZT5	BZT5		
	Zakres rozszerzony			
	glin Al.	AL	1/kwartał	Puszcza Borecka
	mangan Mn	MN		
	żelazo Fe	FE		
GATUNKI INWAZYJNE OBCEGO POCHODZENIA – ROŚLINY J3	Zakres obligatoryjny			
	liczba gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia (zlewnia)	NSPEC_I_DB	Co roku, przez cały sezon wegetacyjny	Wszystkie stacje
	liczba kwadratów MGRS według gatunków (zlewnia)	NUM_MGRS_DB		
	liczba dotychczas przebadanych kwadratów MGRS (zlewnia)	NUM_MGRS_COM		
	liczba gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia (powierzchnie 1 × 1 m)	NSPEC_I_P1	1/2 lata	
	liczebność nadziemnych pędów juwenilnych (do 1 m wysokości) gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia – dotyczy wyłącznie drzew i krzewów, (powierzchnie 1 × 1 m)	JUVE_TS_P1		
	liczebność nadziemnych pędów dorosłych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia – dotyczy wyłącznie drzew i krzewów (powierzchnia 10 × 10 m)	ADULT_TS_P10		
	liczebność nadziemnych pędów generatywnych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia – dotyczy wyłącznie roślin zielnych (powierzchnie 1 × 1 m)	GENE_H_P1		
	liczebność nadziemnych pędów wegetatywnych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia ¬ dotyczy wyłącznie roślin zielnych (powierzchnie 1 × 1 m)	VEGE_H_P1		

Program	Parametr	Kod parametru	Częstotliwość pomiarów/ czas uśredniania	Status Uwagi
USZKODZENIA DRZEW I DRZEWOSTANÓW K1	Zakres obligatoryjny			
	defoliacja	DEFO	1/rok	Wszystkie stacje (oprócz Pojezierza Chełmińskiego – brak powierzchni leśnej)
	odbarwienie	DISC		

Poza programem badawczo-pomiarowym ZMŚP, Stacje Bazowe realizowały w 2024 roku także programy specjalistyczne, których zakres wynikał z położenia zlewni, a przede wszystkim z indywidualności wybranych elementów środowiska fizycznogeograficznego. Programy specjalistyczne w istotny sposób wzbogacają rozpoznanie różnych przejawów i specyfiki mechanizmu funkcjonowania środowiska przyrodniczego monitorowanych geoekosystemów (Tab. 6).

Tab. 6. Programy specjalistyczne realizowane w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2024 roku

Stacja Bazowa	Program specjalistyczny
Wolin	Morfodynamika wybrzeża klifowego
Parsęta	Erozja wodna gleb
Puszcza Borecka	Pomiar stanu zanieczyszczenia atmosfery metalami ciężkimi i WWA
Wigry	Monitoring zmian poziomu wód gruntowych w podmokłych ekosystemach leśnych
Pojezierze Chełmińskie	Bilans promieniowania, monitoring zanieczyszczenia nocnego nieba sztucznym światłem
Poznań-Morasko	Monitoring migracji zanieczyszczeń w wodach podziemnych
Kampinos	Monitoring zimujących nietoperzy i bociana białego
Łysogóry	Funkcjonowanie geoekosystemu w warunkach alkalicznej imisji
Roztocze	Monitoring ptaków Polski: monitoring flagowych gatunków ptaków, monitoring lęgowych sów leśnych, monitoring rzadkich dzięciołów, monitoring pospolitych ptaków lęgowych, monitoring gatunków rzadkich – łabędź krzykliwy
Pogórze Karpackie	Erozja wodna gleb
Beskid Niski	Erozja wodna gleb
Karkonosze	Właściwości fizyczne i chemizm pokrywy śnieżnej

5. GEOINDYKATORY OBIEGU WODY W EKSPERYMENTALNYCH GEOEKOSYSTEMACH ZLEWNI RZECZNYCH I JEZIORNYCH ZMŚP

Ilościowa charakterystyka obiegu wody w badanych zlewniach została ujęta w odniesieniu do następujących czynników warunkujących zasoby wodne: warunki pogodowe, wody podziemne, wody powierzchniowe oraz bilans wodny. Powyższe wskaźniki ilościowe zasobów wodnych odnoszą się do 2024 roku hydrologicznego.

5.1. Warunki pogodowe

Charakterystyka warunków pogodowych uwzględnia wskaźniki i klasyfikacje meteorologiczne, mające znaczenie w dynamice obiegu wody w zlewniach oraz warunkujące zasoby wodne i możliwość retencji wody:

- średnia roczna temperatura powietrza i roczna suma opadów atmosferycznych na tle wielolecia,
- liczba dni charakterystycznych pod względem termiczno-wilgotnościowym,
- klasyfikacja termiczno-opadowa,
- zdarzenia ekstremalne.

Średnia roczna temperatura powietrza i suma opadów atmosferycznych na tle wielolecia

Warunki termiczne, opisane średnią roczną temperaturą powietrza, są w badanych zlewni zróżnicowane i determinowane ich położeniem w określonym regionie klimatycznym Polski. Polska znajduje się w strefie klimatu umiarkowanego ciepłego przejściowego, który w północno-zachodniej części wykazuje cechy oceanizmu (stacje Wolin i Parsęta), natomiast w południowo-wschodniej (stacje Roztocze, Pogórze Karpackie oraz Beskid Niski) – rosnące cechy kontynentalne (Tab. 7, Ryc. 6). O zmienności przestrzennej warunków termicznych świadczyć może również spadek średniej rocznej temperatury powietrza w północnej strefie młodoglacjalnej Niżu Polskiego, z zachodu na wschód: od 11,2°C w Wolinie, przez 10,0°C w Parsęcie, do 9,5°C w Puszczy Boreckiej i 9,3°C w Wigrach. W powyższym transekcie równoleżnikowym bardzo dobrze zaznacza się wpływ oceanizmu (Wolin i Parsęta) oraz kontynentalizmu (Puszcza Borecka i Wigry), które kształtują termiczne właściwości klimatu strefy młodoglacjalnej Polski.

Wzrost kontynentalizmu klimatu w Polsce północnej w 2024 roku wykazał również spadek rocznej sumy opadów w kierunku wschodnim. Średnia roczna suma opadów w Polsce północnej wynosiła od 857,4 mm w Stacji Parsęta do 618,5 mm w Stacji Puszcza Borecka. Zmniejszanie się opadów jest także widoczne w transekcie południkowym Niżu Polskiego, np. od 648,6 mm w Wigrach do 585,8 mm w Kampinosie czy od 857,4 mm w Parsęcie do 699,6

mm w Poznaniu (mimo że rok 2024 był tam sklasyfikowany jako bardzo wilgotny). W zlewniach położonych bardziej na południe wyższe sumy opadów związane są z ich położeniem nad poziomem morza, zaznacza się to zwłaszcza na obszarach wyżynnych, a szczególnie górskich (np. Stacje: Pogórze Karpackie – 869,1 mm, Beskid Niski – 880,1 mm, Karkonosze – 1389,4 mm).

Poza czynnikami strefowymi i regionalnymi na warunki termiczne i opadowe w zlewniach ZMŚP wpływają czynniki lokalne, związane m.in. z rzędną terenu (np. wysoko położone stacje: Łysogóry w Górach Świętokrzyskich, Pogórze Karpackie i Beskid Niski w Beskidach, Karkonosze w Sudetach), jak również odległością od dużych zbiorników wodnych (np. nadmorskie położenie Stacji Wolin, czy też bliskie sąsiedztwo dużych jezior w stacjach Puszcza Borecka i Wigry).

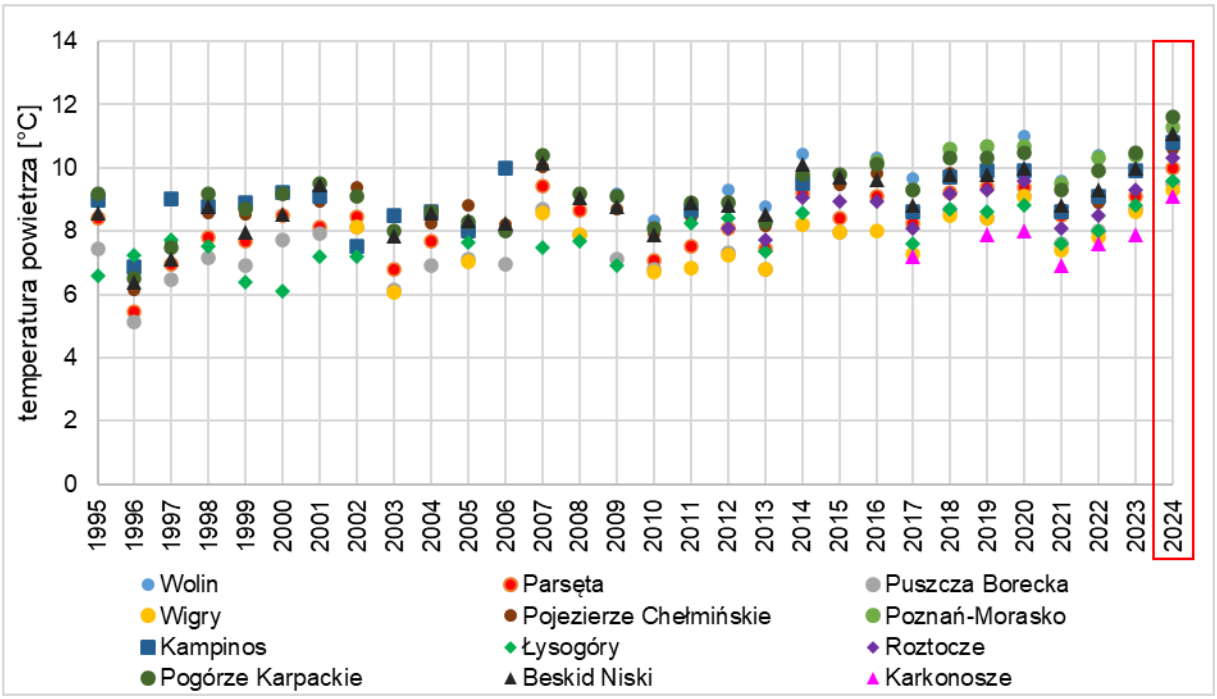
Tab. 7. Średnia temperatura powietrza i suma opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2024 roku

Stacja Bazowa ZMŚP (Okres pomiarowy – wielolecie)	Średnia temperatura powietrza [°C]		Suma opadów atmosferycznych [mm]	
	2024 r.	wielolecie	2024 r.	Wielolecie
Wolin (2009-2023)	11,2	9,8	742,0	570,0
Parsęta (1987-2023)	10,0	8,1	857,4	694,9
Puszcza Borecka (1994-2023)	9,5	7,5	618,5	680,0
Wigry (2002-2023)	9,3	7,6	648,6	581,7
Pojezierze Chełmińskie (1994-2023)	10,6	8,8	593,5	536,5
Poznań-Morasko (2016-2023)	11,3	9,4	699,6	538,7
Kampinos (1994-2023)	10,8	8,7	585,8	572,9
Łysogóry (2005-2023)	9,6	7,4	838,9	757,8
Roztocze (2012-2023)	10,3	8,7	737,4	685,4
Pogórze Karpackie (1991-2023)	11,6	9,0	869,1	711,9
Beskid Niski (1994-2023)	11,1	8,8	880,1	867,0
Karkonosze (2016-2023)	9,1	7,6	1389,4	1036,2

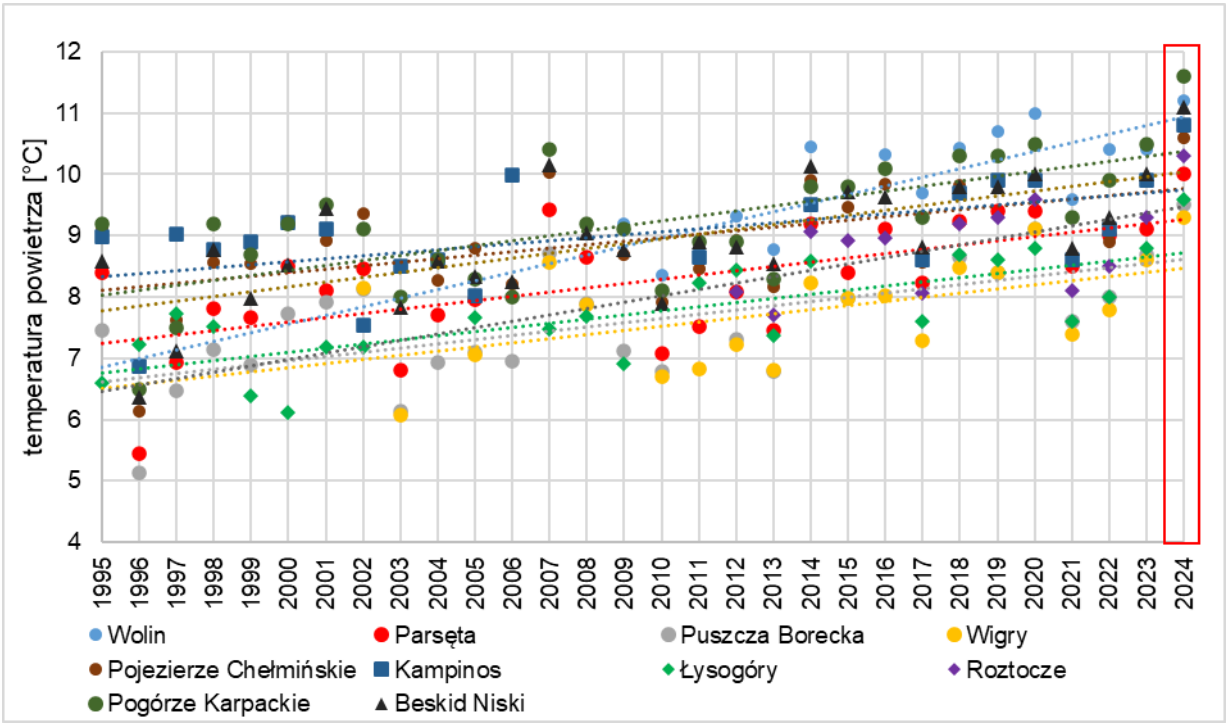
Podobnie jak w roku 2023 oraz przed rokiem 2021, we wszystkich monitorowanych zlewniach, średnia roczna temperatura powietrza w 2024 roku była wyższa od średniej z wielolecia. Tym razem jednak anomalie były znacząco większe niż w latach wcześniejszych. O ile w 2023 roku największe odchylenia wynosiły 1,6°C na Pogórzu Karpackim i 1,4°C w Łysogórach, to w 2024 roku sięgały od 1,4°C na Wolinie i w Karkonoszach, 1,6°C na Roztoczu do ponad 2°C (Puszcza Borecka, Kampinos, Łysogóry, Pogórze Karpackie, i Beskid Niski), z maksymalną anomalią 2,3°C w Beskidzie Niskim i 2,6°C na Pogórzu Karpackim (Tab. 7).

Przed 2024 rokiem, w analizowanych wieloleciach, w żadnej ze zlewni średnia roczna temperatura nie przekroczyła 11°C. W 2024 roku próg ten został przekroczony w czterech zlewniach. Najwyższe średnie roczne temperatury powietrza wystąpiły – podobnie jak w latach wcześniejszych – w północno-zachodniej Polsce (11,2°C w Stacji Wolin), w centrum kraju (Stacja Poznań-Morasko i 11,3°C) oraz w Polsce południowo-wschodniej (11,6°C na Pogórzu Karpackim i 11,1°C w Beskidzie Niskim). Najniższe średnie roczne temperatury zanotowano w północno-wschodniej Polsce (9,3°C w Stacji Wigry i 9,5°C w Stacji Puszcza Borecka) oraz w górskiej Stacji w Karkonoszach (9,1°C) (Tab. 7, Tab. 12, Ryc. 6). W wielu stacjach były to rekordowe wartości od momentu rozpoczęcia pomiarów w ramach programu ZMŚP. W rozkładzie przestrzennym zaznaczył się również wpływ uwarunkowań lokalnych związanych ze specyfiką położenia zlewni i ich użytkowaniem. Na wysoką średnią temperaturę powietrza w Stacji Poznań-Morasko wpływa położenie w obrębie aglomeracji miasta Poznania, gdzie występuje tzw. miejska wyspa ciepła. Natomiast na wyspie Wolin o podwyższonej temperaturze powietrza zadecydowały przede wszystkim warunki pogodowe o znaczeniu ponadregionalnym – łagodzące kontrasty termiczne oddziaływanie Morza Bałtyckiego (zwłaszcza niska frekwencja dni mroźnych).

Wieloletnie pomiary temperatury powietrza w Stacjach Bazowych ZMŚP wskazują na trend szybkiego wzrostu średniej rocznej temperatury powietrza (Ryc. 6). Istotny statystycznie trend wzrostowy ($p<0,05$) stwierdzono we wszystkich dziesięciu stacjach posiadających przynajmniej 10-letnią serię pomiarową, tj. dla: Wolina, Parsęty, Puszczy Boreckiej, Wigier, Pojezierza Chełmińskiego, Kampinosu, Łysogór, Roztocza, Pogórza Karpackiego i Beskidu Niskiego. Średni trend 10-letni wzrostu temperatury powietrza wynosi 0,71°C/10 lat. Najwyższe trendy, przekraczające 0,7°C stwierdzono w Stacji Wolin (1,31°C), w Stacji Puszcza Borecka (0,73°C), w Stacji Kampinos (0,75°C) oraz w Stacji Pogórze Karpackie (0,71°C), a najniższe, mniejsze od 0,5°C, w Stacji Pojezierze Chełmińskie (0,49°C) (Ryc. 7).

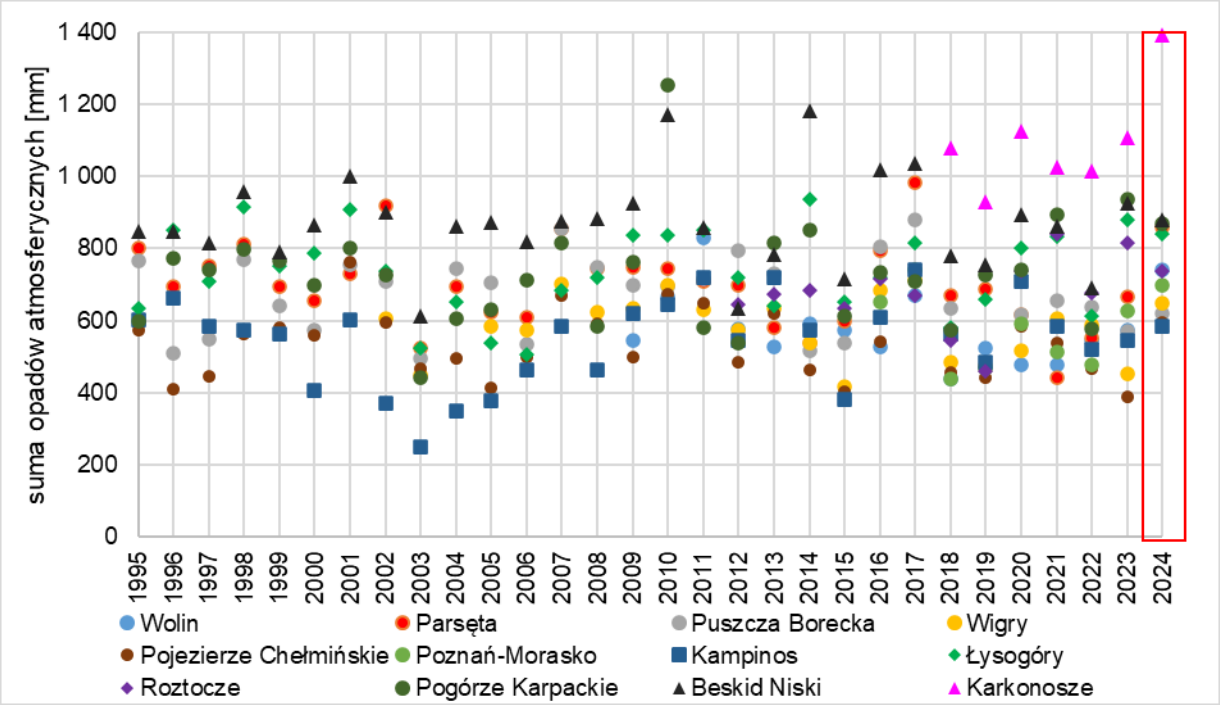


Ryc. 6. Średnie roczne temperatury powietrza w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2024 roku hydrologicznym na tle wielolecia



Ryc. 7. Trendy temperatury powietrza w Stacjach Bazowych ZMŚP – Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie, Kampinos, Łysogóry, Roztocze, Pogórze Karpackie i Beskid Niski

W większości badanych zlewni, rok 2024 był bardziej wilgotny niż wartości średnie z wielolecia (Tab. 7). Niższą sumę opadów niż we wcześniejszych latach zanotowano jedynie w Puszczy Boreckiej (−61,5 mm względem średniej). W pozostałych stacjach, roczne sumy opadu w 2024 roku były wyższe niż wartości wieloletnie średnio o 117,2 mm. Największe różnice wystąpiły w Karkonoszach (+353,2 mm), na Wolinie (+172,0 mm), w Parsęcie (+162,5 mm) i w Poznaniu (+160,9 mm). Warto podkreślić, że korzystne warunki opadowe utrzymywały się już drugi rok z rzędu, co sprzyjało odbudowie zasobów wodnych po suchym 2022 roku, a przynajmniej ograniczało ryzyko dalszego pogłębiania się deficytu wodnego. W przypadku rocznych sum opadów atmosferycznych w zlewniach badawczych ZMŚP nie stwierdzono istotnych statystycznie trendów wzrostowych, ani spadkowych. (Ryc. 8).



Ryc. 8. Sumy roczne opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2024 roku hydrologicznym na tle wielolecia

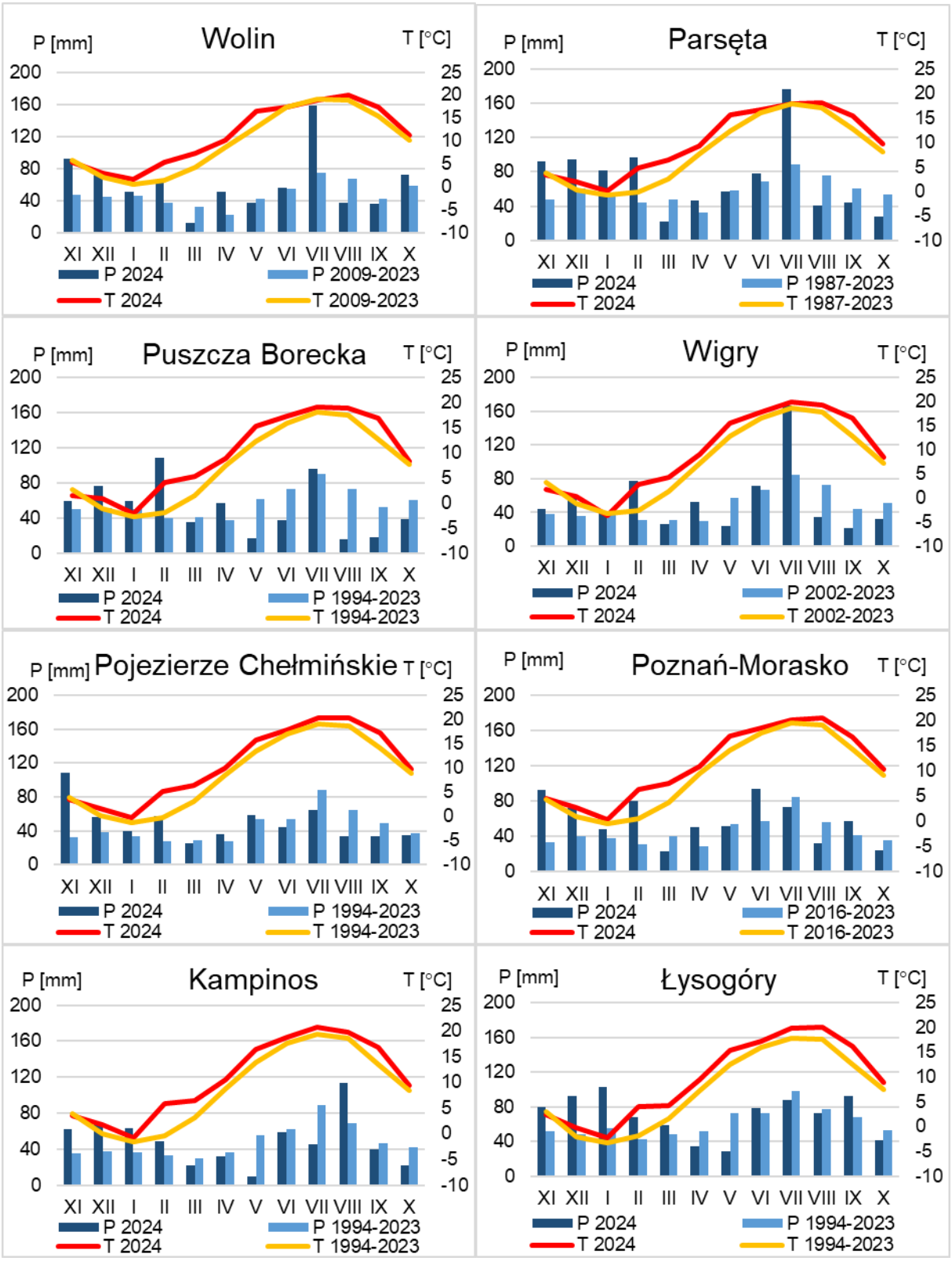
W 2024 roku potencjalnie najmniej korzystne warunki dla odbudowy zasobów wodnych występowały w Polsce centralnej. W Stacjach: Pojezierze Chełmińskie (10,6°C; 593,5 mm) oraz Kampinos (10,8°C; 585,6 mm) już trzeci rok z rzędu zarejestrowano najniższe ze wszystkich stacji sumy roczne opadów, przy jednocześnie wysokich średnich rocznych temperaturach powietrza. Natomiast względnie najlepsze warunki termiczno-opadowe dla retencji wody były w zlewniach ZMŚP położonych wyżej nad poziomem morza: w Karkonoszach (9,1°C; 1389,4 mm) oraz w Łysogórach (9,6°C; 838,9 mm). Należy jednak

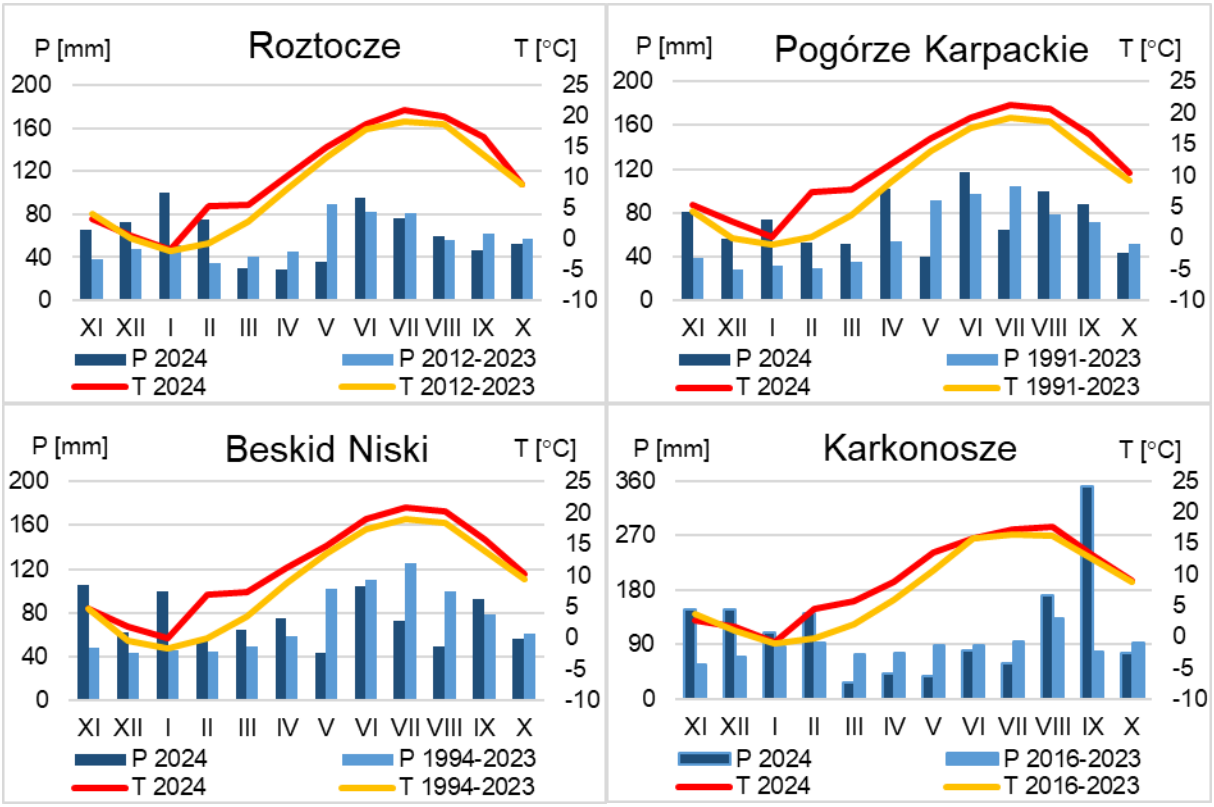
podkreślić, że na wyjątkowo wysoką sumę opadów w Karkonoszach złożyły się katastrofalne opady rozlewne we wrześniu 2024 r. (trzydniowa suma opadu wyniosła 260,5 mm). Utrzymała się korzystna sytuacja (trzeci rok z rzędu) w nadmorskiej strefie krajobrazowej, w Stacji Wolin, gdzie suma roczna opadów wyniosła 742,0 mm i była najwyższa od 2011 roku.

Uwarunkowania termiczno-opadowe, decydujące o odbudowie zasobów wodnych oraz możliwości rozwoju roślinności, w 2024 roku charakteryzowały się niekorzystnym rozkładem w ciągu roku (Ryc. 9). Przebieg średnich miesięcznych temperatur powietrza wskazywał na anomalnie wysokie wartości na tle wielolecia – w aż jedenastu miesiącach, od grudnia 2023 r. do października 2024 r., w większości zlewni zarejestrowano temperatury wyższe niż średnie wieloletnie. Nieliczne wyjątki wystąpiły w czerwcu i lipcu na Wolinie (anomalie -0,1°C i -0,2°C) oraz w październiku na Roztoczu (-0,1°C), a także w lipcu w Parsęcie i czerwcu w Karkonoszach, gdzie wartości były równe średnim wieloletnim. Najlepsza sytuacja miała miejsce w listopadzie, gdzie tylko w Poznaniu i na Pogórzu Karpackim zanotowano temperatury wyższe niż średnie z wielolecia. Największe odchylenia średnich miesięcznych (dla wszystkich 12 stacji) stwierdzono w lutym (+5,7°C) i w marcu (+3,5°C). Rekordowe odchylenia dla pojedynczych stacji wystąpiły również w lutym, gdy na Pogórzu Karpackim temperatura była wyższa od normy aż o 7,2°C, a w Beskidzie Niskim o 7,1°C. Rozkład średnich miesięcznych wartości temperatury w 2024 roku przejawiał się występowaniem wszystkich termicznych pór roku w większości monitorowanych zlewni. Termiczna zima nie wystąpiła na Wolinie, w Poznaniu oraz na Pogórzu Karpackim. Sezon wegetacyjny był bardzo długi, rozpoczął się na przełomie marca i kwietnia i trwał aż do końca roku hydrologicznego.

Pod względem opadowym rozkład opadów i atmosferyczna dostawa wody w 2024 roku była bardziej zróżnicowana. W większości miesięcy (listopad, grudzień, styczeń, luty, kwiecień, czerwiec, lipiec i wrzesień) średnie sumy opadów były wyższe niż w wieloleciu (uśredniając sumy ze wszystkich stacji). Najwięcej opadów wystąpiło od listopada 2023 r. do lutego 2024 r., kiedy średnio sumy miesięczne były wyższe o 25-42 mm od średnich wieloletnich. Najbardziej niekorzystna sytuacja wystąpiła w maju, kiedy to średnie miesięczne sumy opadów w 2024 roku były niższe o 32,4 mm względem wartości wieloletnich. W pozostałych miesiącach wiosennych różnice były nieznaczne (+8,7 mm w kwietniu i +2,4 mm w czerwcu). Niskie opady w tym okresie, przy bardzo wysokich wartościach temperatury powietrza nie sprzyjały odbudowie zasobów wód powierzchniowych. W 2024 roku, podobnie jak w latach wcześniejszych, nie wystąpiła wyraźna regionalizacja przestrzenna w Polsce dla miesięcznej atmosferycznej dostawy wody do zlewni. Sytuacja opadowa w 2024 roku

w większości miesięcy, w szczególności w maju i czerwcu, była niekorzystna dla wegetacji (Ryc. 9).





Ryc. 9. Przebieg roczny temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2024 roku na tle wielolecia

Liczba dni charakterystycznych pod względem termiczno-wilgotnościowym

Dynamika obiegu wody w zlewniach ZMŚP w dużej mierze zależy od uwarunkowań meteorologicznych, w tym m.in. od liczby dni charakterystycznych pod względem warunków termicznych (Tab. 8).

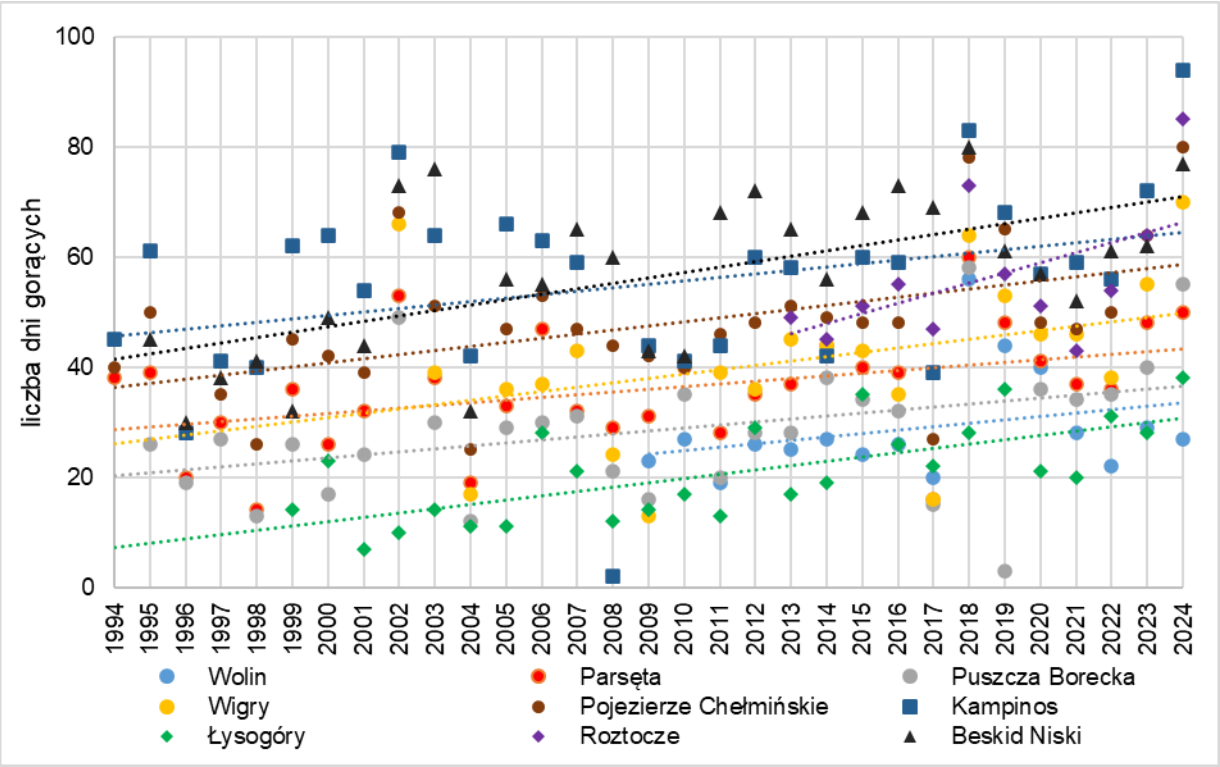
W 2024 roku występowało znaczne zróżnicowanie liczby dni charakterystycznych w Polsce pod względem termicznym. W ciągu roku w badanych geoekosystemach wystąpiły średnio 24 dni mroźne, z maksymalną dobową temperaturą poniżej 0°C. Natomiast dni upalnych, z maksymalną dobową temperaturą wyższą niż 30°C było średnio 15. Najmniej dni ekstremalnych (mroźnych i upalnych), wystąpiło w nadmorskiej zlewni Lewińskiej Strugi na wyspie Wolin, a najwięcej w pasie wyżyn – w Górach Świętokrzyskich i na Roztoczu. W roku 2024 dni bardzo upalne (z maksymalną dobową temperaturą wyższą niż 35°C) wystąpiły w 3 stacjach: na Pojezierzu Chełmińskim (1 raz), w Poznaniu-Morasko (3 razy) i w Kampinosie (2 razy). Natomiast dni bardzo mroźne (z minimalną dobową temperaturą poniżej -10°C) wystąpiły we wszystkich stacjach, z wyjątkiem Wolina.

Najwięcej dni mroźnych na Niżu Polskim odnotowano w Polsce północno-wschodniej, na stacjach Wigry (47 dni) i Puszcza Borecka (45 dni). Najwięcej dni mroźnych i upalnych występowało w strefie wyżynnej – średnio 52 dni, od 51 dni na Roztoczu do 53 dni w Górach

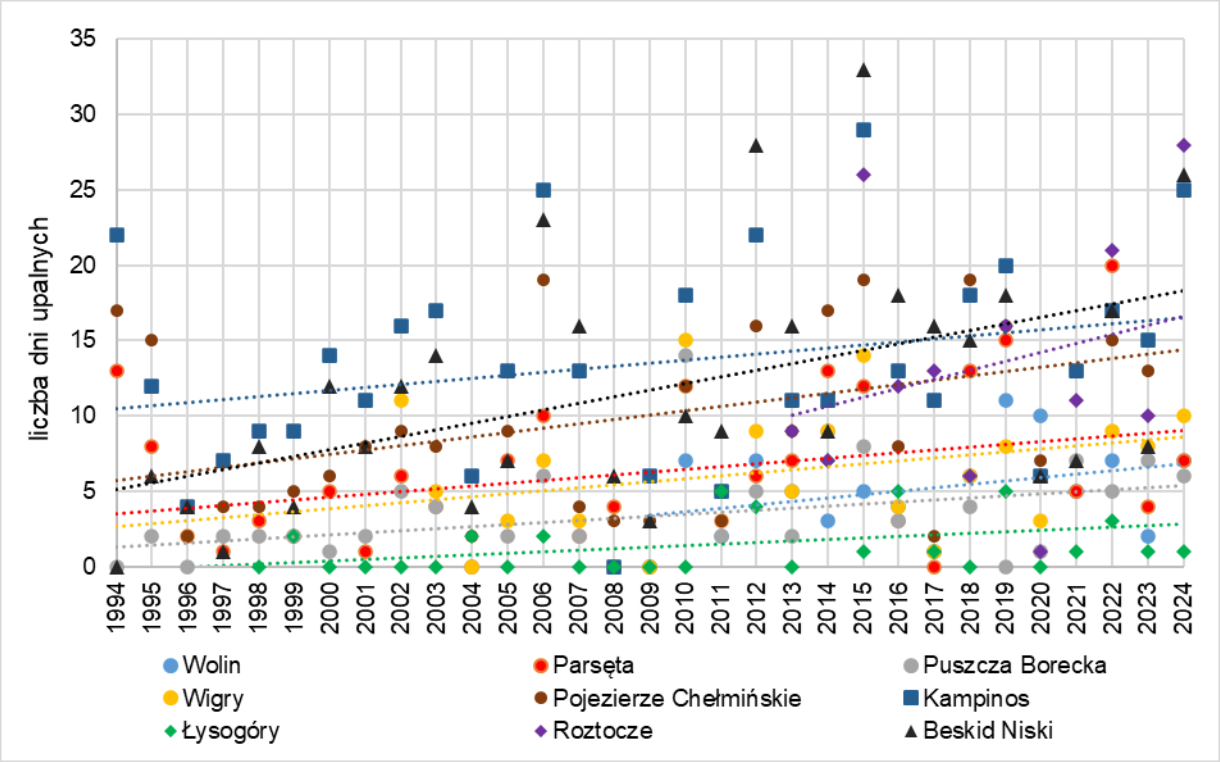
Świętokrzyskich. W tej strefie zdecydowaną przewagę występowania dni mroźnych notowano w Górach Świętokrzyskich (52 mroźne, 1 upalny), z kolei na Roztoczu wystąpiły 23 dni mroźne i 28 dni upalnych. Strefa górska charakteryzowała się najmniejszą liczbą dni mroźnych i upalnych (średnio 33 dni, od 28 dni w Karkonoszach, przez 35 dni na Pogórzu Karpackim, do 36 dni w Beskidzie Niskim). W górach w 2024 roku liczba dni mroźnych (17) była tylko nieznacznie wyższa od liczby dni upalnych (16), co stanowi nową sytuację w stosunku do lat poprzednich. W przeciwieństwie do lat wcześniejszych, kiedy najbardziej sprzyjające, „łagodne" warunki występowały w północnej i środkowej części strefy nizinnej, natomiast najbardziej „ostre" w strefie południowo-wschodniej (wyżynnej), a pośrednie w południowej, górskiej części Polski – w 2024 roku nie zaznaczył się wyraźny układ przestrzenny w zakresie występowania ekstremów termicznych. We wszystkich strefach liczba dni upalnych była zbliżona i wynosiła 15–16.

W 2024 roku frekwencja dni gorących, upalnych i bardzo upalnych była wyższa niż w latach wcześniejszych. Na podstawie wieloletnich pomiarów temperatury powietrza w Stacjach Bazowych ZMŚP można zauważyć niekorzystny trend wzrostowy częstości występowania dni gorących i upalnych (Ryc. 10, Ryc. 11). W przypadku dni gorących, istotny statystycznie trend wzrostowy ($p<0,05$) stwierdzono dla 5 Stacji Bazowych: Parsęta, Puszcza Borecka, Pojezierze Chełmińskie, Łysogóry oraz Beskid Niski, a w przypadku dni upalnych dla 4 Stacji Bazowych: Parsęta, Pojezierze Chełmińskie, Kampinos oraz Beskid Niski (Ryc. 10, Ryc. 11).

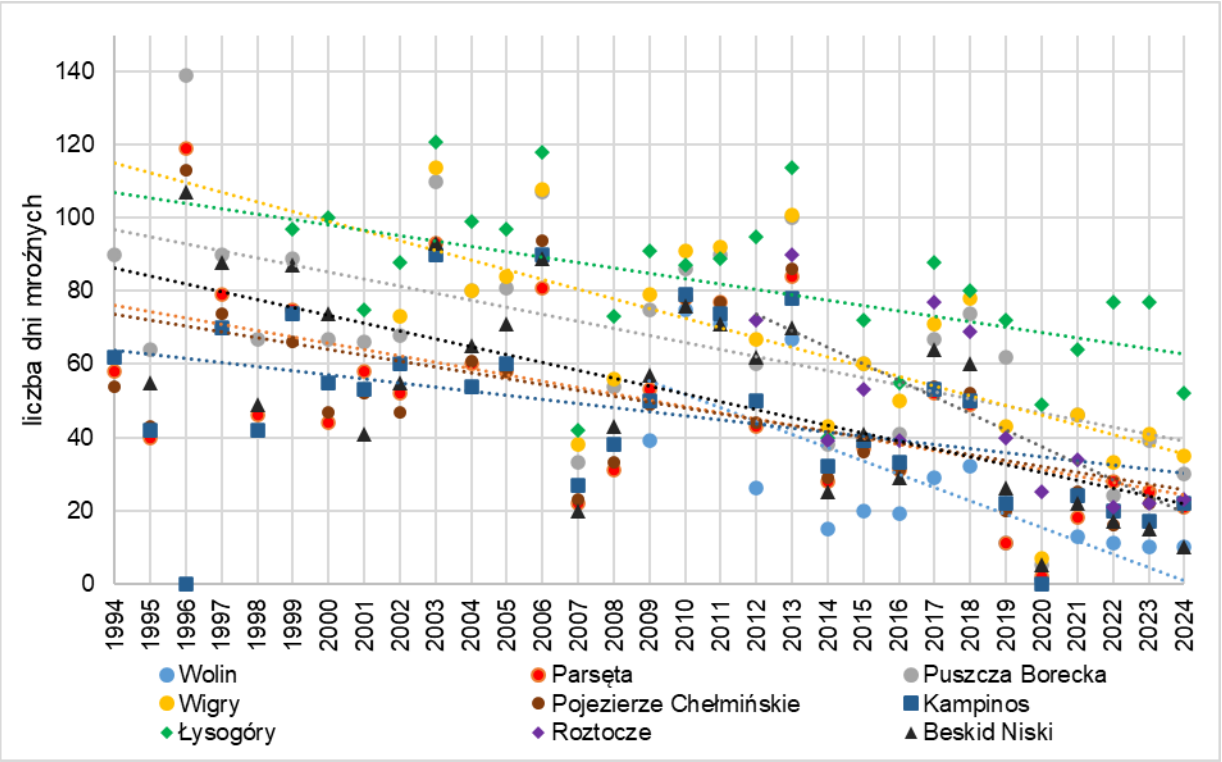
W przypadku dni mroźnych oraz bardzo mroźnych, można zauważyć trend spadkowy w częstości występowania tych dni. W przypadku dni mroźnych, istotny statystycznie trend spadkowy ($p<0,05$) stwierdzono dla 9 Stacji Bazowych: Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie, Kampinos, Łysogóry, Roztocze i Beskid Niski (Ryc. 12). Z kolei dla dni bardzo mroźnych taki trend stwierdzono dla 8 Stacji Bazowych: Wolin, Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie, Kampinos, Łysogóry, Roztocze i Beskid Niski (Ryc. 13).



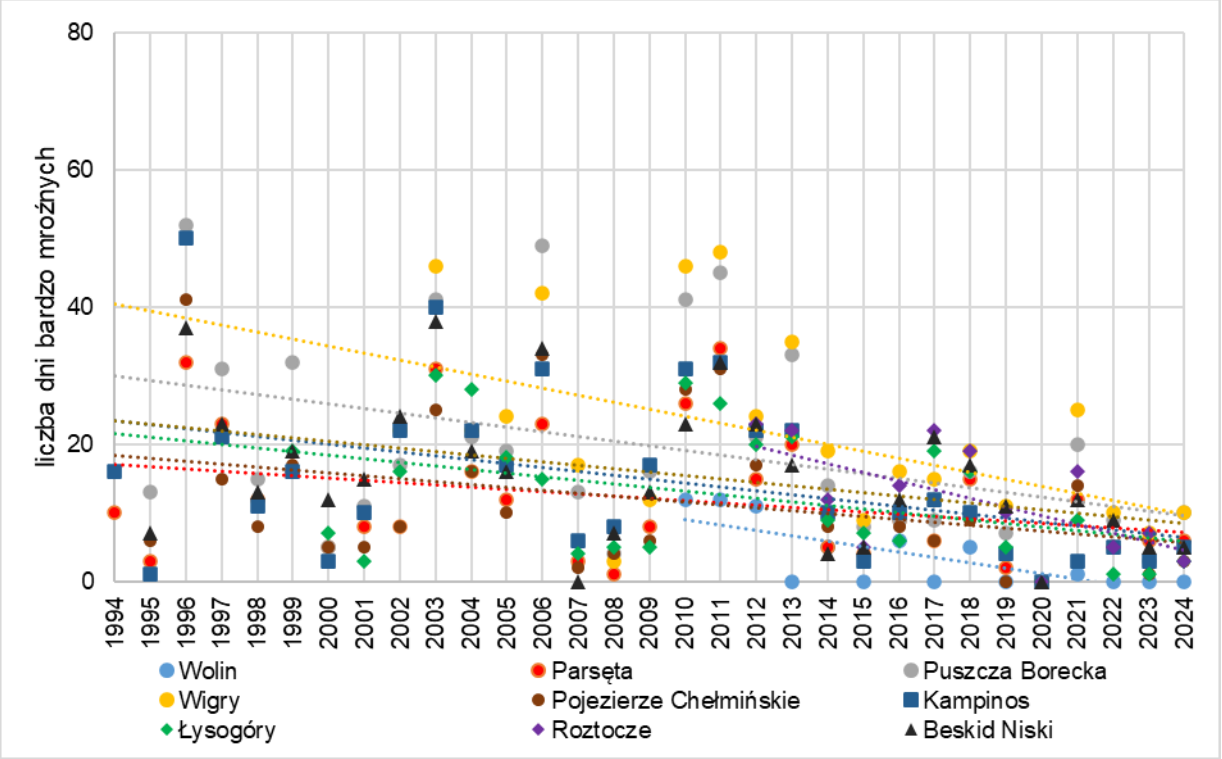
Ryc. 10. Przebieg zmian liczby dni gorących (T_{max}>25°C) w latach 1994-2024 w Stacjach Bazowych ZMŚP dysponujących przynajmniej 10-letnim okresem pomiarowym



Ryc. 11. Przebieg zmian liczby dni upalnych (T_{max}>30°C) w latach 1994-2024 w Stacjach Bazowych ZMŚP dysponujących przynajmniej 10-letnim okresem pomiarowym



Ryc. 12. Przebieg zmian liczby dni mroźnych (T_{max}<0°C) w latach 1994-2024 w Stacjach Bazowych ZMŚP dysponujących przynajmniej 10-letnim okresem pomiarowym



Ryc. 13. Przebieg zmian liczby dni bardzo mroźnych (T_{min}<-10°C) w latach 1994-2024 w Stacjach Bazowych ZMŚP dysponujących przynajmniej 10-letnim okresem pomiarowym

Frekwencja dobowej wydajności opadów, podobnie jak w latach wcześniejszych, w 2024 roku wykazała zróżnicowanie przestrzenne, nawiązujące do struktury krajobrazowej Polski. Najwięcej dni z opadem (P≥0,1 mm) wystąpiło w strefie górskiej (192 dni), niewiele mniej w strefie wyżynnej (189 dni), a najmniej w strefie nizinnej (182 dni). Na Niżu Polskim zakres zmienności wynosił od 156 dni na Pojezierzu Chełmińskim do 207 dni na Pojezierzu Drawskim (Stacja Parsęta). W strefie wyżynnej więcej dni z opadem wystąpiło na Roztoczu (204 dni) niż w Górach Świętokrzyskich (173 dni). W górach z kolei dominowały Karkonosze (219 dni), a mniej dni z opadem notowano na Pogórzu Karpackim (175 dni) i w Beskidzie Niskim (182 dni). W porównaniu z rokiem poprzednim liczba dni z opadem nie uległa znaczącym zmianom, jednak we wszystkich strefach krajobrazowych odnotowano niewielki wzrost ich częstości.

Podobna zależność regionalna wystąpiła w przypadku opadów o dużej wydajności (P≥10 mm). Najwięcej takich zdarzeń odnotowano w górach (31 dni w Karkonoszach, 27 dni w Beskidzie Niskim i 25 dni na Pogórzu Karpackim) oraz na wyżynach (25 dni na Roztoczu i 22 dni w Górach Świętokrzyskich). Najmniej dni z opadem ≥10 mm wystąpiło na nizinach, szczególnie w Stacjach Kampinos (9 dni) i Wigry (12 dni). Najwięcej dni z takim opadem w tej strefie krajobrazowej zarejestrowano w Stacji Parsęta (28 dni). Zależność regionalna była podobna jak w latach poprzednich, jednak w roku 2024 w strefie nizinnej liczba dni z opadem ≥ 10 mm była wyższa, natomiast w górach i na wyżynach nieco niższa niż w latach wcześniejszych.

Pomimo utrzymania się w 2024 roku wysokiej frekwencji występowania dni z opadem powyżej 10 mm (podobnie jak w 2023 roku, najwięcej od 2017 roku), wciąż widoczny jest spadkowy trend frekwencji takich opadów, co może świadczyć o pogarszaniu się warunków pluwiometrycznych. Sytuacja taka nie jest korzystna, ponieważ wyższa frekwencja bardzo wydajnych opadów atmosferycznych nie sprzyja odbudowie zasobów wodnych, gdyż znaczna ilość wody podlega ewapotranspiracji. Pewne zagrożenie może wynikać z przyspieszonego obiegu wody przy opadach o większym natężeniu lub opadach rozlewnych o znacznej wysokości (dominacja spływu powierzchniowego i odpływu fluwialnego nad infiltracją i retencją wody w zlewni). W przypadku maksymalnych opadów dobowych wystąpiły podobne zależności jak w przypadku liczby dni z opadem. Najwyższe dobowe sumy opadu wystąpiły w górach (średnio 77,6 mm, z maksimum 132,7 mm w Karkonoszach). Niższe sumy maksymalne opadów zarejestrowano w strefie wyżynnej (średnio 48 mm, z maksimum 51,2 mm na Roztoczu) i nizinnej (średnio 42,5 mm, maksimum 63,8 mm w Kampinosie).

Najniższe wartości maksymalnego opadu dobowego w 2024 roku zarejestrowano w Puszczy Boreckiej (22,8 mm).

Tab. 8. Liczba dni charakterystycznych temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2024 roku

Element pogody	Stacja Bazowa ZMŚP											
	Wolin	Parsęta	Puszcza Borecka	Wigry	Pojezierze Chełmińskie	Poznań-Morasko	Kampinos	Łysogóry	Roztocze	Pogórze Karpackie	Beskid Niski	Karkonosze
Bardzo upalne T_{max}>35°C	0	0	0	0	1	3	2	0	0	0	0	0
Upalne T_{max}>30°C	7	7	6	10	25	25	25	1	28	20	26	2
Gorące T_{max}>25°C	27	50	55	70	80	65	94	38	85	79	77	33
Przymrozkowe T_{min}<0°C	31	82	84	98	67	73	63	84	89	60	70	80
Mroźne T_{max}<0°C	10	21	30	35	22	18	22	52	23	15	10	26
Bardzo mroźne T_{min}<-10°C	0	6	10	10	3	5	5	3	3	6	5	3
Opad ≥0,1 mm	160	207	174	161	156	180	190	173	204	175	182	219
Opad ≥1,0 mm	110	146	117	121	112	118	109	129	130	128	130	163
Opad ≥10,0 mm	24	28	15	12	14	20	9	22	25	25	27	31
Max opad dobowy [mm]	36,1	40,1	22,8	53,6	37,8	43,8	63,8	44,8	51,2	55,5	44,5	132,7
Dni z pokrywą śnieżną	29	0	17	53	12	27	32	80	25	40	33	57

Utrzymująca się od kilku lat marginalna rola pokrywy śnieżnej w retencji wody w badanych zlewniach pogłębiła się w roku 2024. Choć sytuacja była lepsza niż np. w ekstremalnie mało śnieżnym 2020 roku (średnio 10 dni z pokrywą śnieżną), średni czas jej zalegania wyniósł zaledwie 34 dni. Najwięcej dni z pokrywą śnieżną zarejestrowano w Łysogórach (80 dni), w Karkonoszach (57 dni) oraz w Wigrach (53 dni).

Tendencje zmian warunków cieplnych wykazują trend wzrostu średniej rocznej temperatury powietrza (+) we wszystkich badanych zlewniach. Z kolei warunki wilgotnościowe w badanych zlewniach są nieistotne statystycznie, ale można zauważyć prawidłowość oraz nieregularność kierunkową zmian opadów atmosferycznych (+/-). W niektórych zlewniach opady wykazują trend rosnący, a w innych malejący, co potwierdza anizotropowość, nieciągłość przestrzenną opadów atmosferycznych (Stach 2009). Tendencje zmian warunków termicznych i opadowych w zlewniach ZMŚP są zbieżne z innymi

opracowaniami zmian klimatu w Polsce (Kundzewicz 2011; Miętus, Wibig 2011; Pińskwar i in. 2019; Kejna, Rudzki 2021).

Klasyfikacja termiczno-opadowa

Klasyfikacja termiczno-opadowa pozwala zaklasyfikować poszczególne lata i miesiące w zakresie klimatycznych uwarunkowań dostawy i dalszego krążenia wody w zlewni (Szpikowski 2012, Tylkowski 2015a). Do ilościowego określenia rocznych warunków klimatycznych zastosowano powszechnie wykorzystywaną klasyfikację termiczną Lorenc (1998) oraz klasyfikację opadową Kaczorowskiej (1962). Klasyfikacja termiczno-opadowa określa warunki meteorologiczne w oparciu o relację stosunków opadowych do warunków termicznych. W opracowaniu dokonano klasyfikacji termiczno-opadowej w odniesieniu do lat hydrologicznych.

Opadową klasyfikację określono w oparciu o roczną sumę opadów atmosferycznych (p), na podstawie metodyki opracowanej przez Kaczorowską (1962). Przedstawiona klasyfikacja w stosunku do opadów atmosferycznych zawiera podział na 7 klas opadowych, wyróżnione na podstawie procentowego udziału rocznej sumy opadu (p) w odniesieniu do rocznej sumy opadu z wielolecia (p_{norm}) (Tab. 9).

Tab. 9. Klasyfikacja opadowa dla roku (Kaczorowska 1962, zmienione)

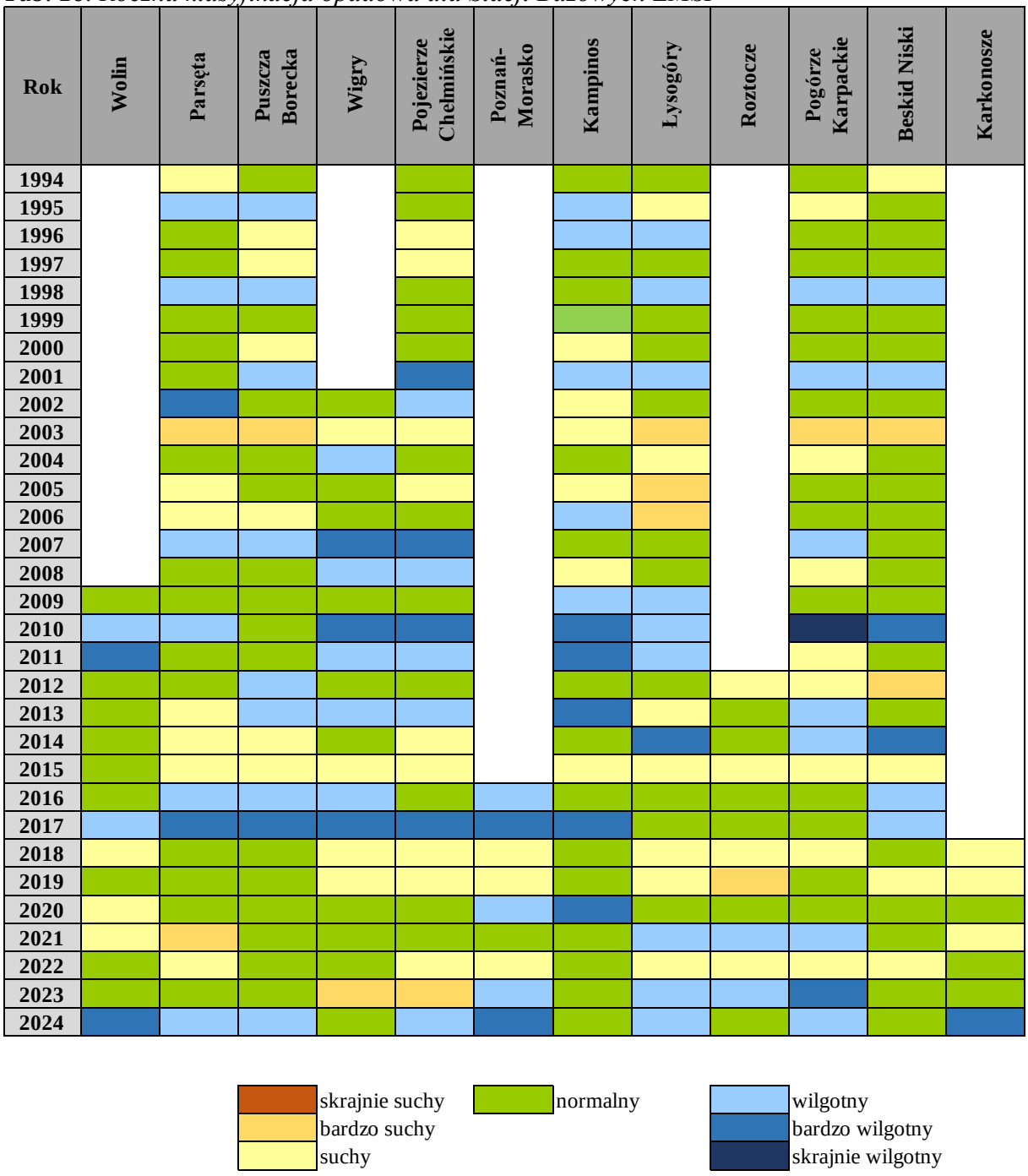
Nr klasy	Klasa termiczna roku	Kryteria delimitacji klasy
1	skrajnie suchy	$p < 50\%\ p_{norm.}$
2	bardzo suchy	$50\%\ p_{norm} \leq p < 75\%\ p_{norm.}$
3	suchy	$75\%\ p_{norm} \leq p < 90\%\ p_{norm.}$
	normalny	$90\%\ p_{norm} \leq p \leq 110\%\ p_{norm.}$
	wilgotny	$110\%\ p_{norm} < p \leq 125\%\ p_{norm.}$
	bardzo wilgotny	$125\%\ p_{norm} \leq p \leq 150\%\ p_{norm.}$
	skrajnie wilgotny	$p > 150\ p_{norm.}$

Klasyfikacja opadowa potwierdza dużą zmienność czasową i niejednorodność przestrzenną opadów atmosferycznych w analizowanym okresie (Tab. 10). Lata 2003–2006 można określić jako okres bardziej suchy. W kolejnych latach, 2007–2013, w większości stacji występujące sumy opadów były normalne lub powyżej normy, co sprzyjało odbudowie zasobów wodnych. Rok 2014 wyróżniał się znacznym zróżnicowaniem przestrzennym, typowym dla klimatu Polski. Wyjątkowo niekorzystny był 2015 rok, który poza Wolinem został zakwalifikowany jako suchy. Od 2016 roku rozpoczął się korzystniejszy okres,

szczególnie wyraźny w wyjątkowo wilgotnym 2017 roku. Następnie w latach 2018–2019 ponownie wystąpiły warunki zbliżone do roku 2015, czyli niższe sumy opadów. Poprawa nastąpiła w 2020 roku i została podtrzymana w 2021, który w większości zlewni sprzyjał odbudowie zasobów wodnych. W 2022 roku ponownie pogorszyły się warunki opadowe: w sześciu stacjach rok sklasyfikowano jako normalny, a w pozostałych sześciu – jako suchy. Z kolei rok 2023 przyniósł nieznaczną poprawę; w większości stacji warunki określono jako normalne, w czterech stacjach jako wilgotne lub bardzo wilgotne, a tylko w dwóch zlewniach jako bardzo suche.

Z kolei rok 2024 w większości monitorowanych zlewni przyniósł poprawę sytuacji opadowej. W żadnej ze stacji nie został on sklasyfikowany jako suchy. W czterech stacjach (Wigry, Kampinos, Roztocze i Beskid Niski) był to rok normalny. W pozostałych zlewniach analizowany rok sklasyfikowano jako wilgotny (Parsęta, Puszcza Borecka, Pojezierze Chełmińskie, Łysogóry i Pogórze Karpackie) lub bardzo wilgotny (Wolin, Poznań-Morasko i Karkonosze). Pod względem dostawy wody opadowej 2024 rok okazał się najkorzystniejszy od 2017 roku (Tab. 10). Na warunki opadowe roku 2024 wpłynęły również zdarzenia o charakterze ekstremalnym i katastrofalnym, w tym rozlewne opady we wrześniu w Karkonoszach. Opady te, mimo że istotnie podniosły sumy opadów, nie przełożyły się na zwiększenie retencji wodnej, ponieważ większość wody została gwałtownie odprowadzona odpływem fluwialnym poza zlewnię.

Tab. 10. Roczna klasyfikacja opadowa dla Stacji Bazowych ZMŚP



Termiczną klasyfikację wydzielono w oparciu o średnią miesięczną lub roczną wartość temperatury powietrza w wieloleciu (Lorenc 1998). Klasyfikując warunki termiczne poszczególnych lat porównywano średnią temperaturę danego roku z wartościami normy klimatycznej oraz odchylenie standardowe (σ). Klasyfikacja ta opiera się na obliczeniu wartości temperatury powietrza w odniesieniu do wartości odchylenia standardowego od średniej rocznej temperatury powietrza z wielolecia – wartości progowych. Dla temperatury powietrza zastosowano podział na 11 klas, który określa zmienność średniej rocznej temperatury

powietrza (tz) w stosunku do wartości odchylenia standardowego dla średniej rocznej temperatury z wielolecia (T) (Tab. 11).

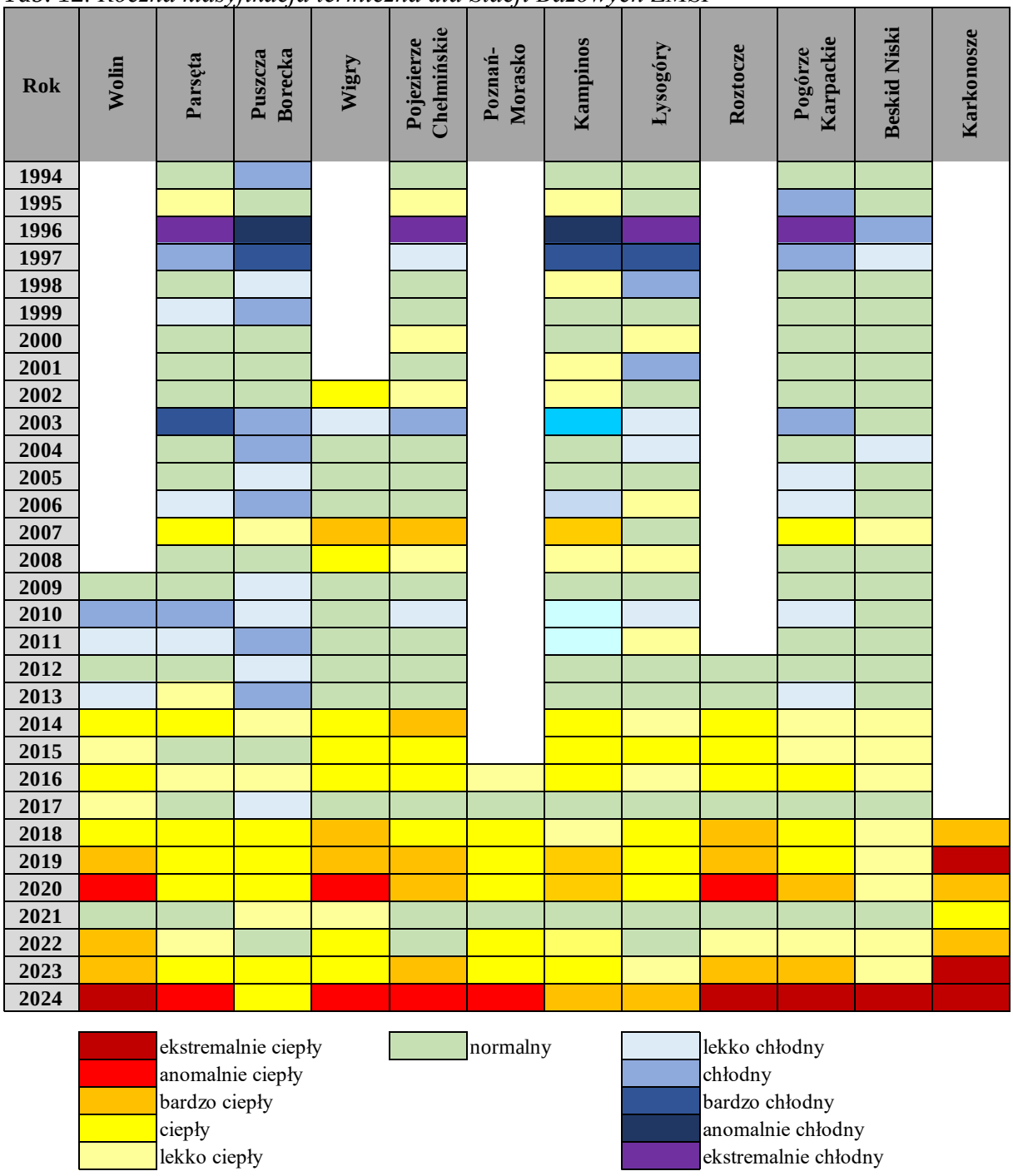
Tab. 11. Klasyfikacja termiczna roku wg Lorenc (1998)

Nr klasy	Klasa termiczna roku	Relacja średniej rocznej temperatury powietrza (tz) do wartości odchylenia standardowego średniej rocznej temperatury powietrza z wielolecia (T)
1	ekstremalnie ciepły	$tz > T + 2{,}5\sigma$
2	anomalnie ciepły	$T + 2{,}0\sigma < tz \leq T + 2{,}5\sigma$
3	bardzo ciepły	$T + 1{,}5\sigma < tz \leq T + 2{,}0\sigma$
4	ciepły	$T + 1{,}0\sigma < tz \leq T + 1{,}5\sigma$
5	lekko ciepły	$T + 0{,}5\sigma < tz \leq T + 1{,}0\sigma$
6	normalny	$T - 0{,}5\sigma \leq tz \leq T + 0{,}5\sigma$
7	lekko chłodny	$T - 1{,}0\sigma \leq tz < T - 0{,}5\sigma$
8	chłodny	$T - 1{,}5\sigma \leq tz < T - 1{,}0\sigma$
9	bardzo chłodny	$T - 2{,}0\sigma \leq tz < T - 1{,}5\sigma$
10	anomalnie chłodny	$T - 2{,}5\sigma \leq tz < T - 2{,}0\sigma$
11	ekstremalnie chłodny	$tz < T - 2{,}5\sigma$

Klasyfikacja termiczna przedstawia zmienność czasową i przestrzenną średniej rocznej temperatury powietrza (Tab. 12). Znaczne różnice termiczne w stacjach ZMŚP w poszczególnych latach są typowe dla przejściowego klimatu Polski. Lata 1996-1997 we wszystkich stacjach bazowych zakwalifikowano jako chłodniejsze od normy. Z kolei kumulacja lat ciepłych wystąpiła w okresie 2007–2008. W 2014 roku rozpoczął się kolejny, najdłuższy dotąd okres o podwyższonej termice. Osiem z ostatnich dziesięciu lat (poza chłodniejszymi 2017 i 2021) w zdecydowanej większości stacji było cieplejszych od wartości normalnej, co wskazuje na utrwalanie się tendencji ocieplenia. Poza tymi chłodniejszymi latami, jedynie w dwóch stacjach (Parsęta i Puszcza Borecka) rok 2015, a w trzech stacjach (Puszcza Borecka, Pojezierze Chełmińskie i Łysogóry) rok 2022, sklasyfikowano jako normalne pod względem temperatury powietrza. W 2023 roku we wszystkich monitorowanych zlewniach średnia roczna temperatura była wyższa od normy: w dwóch stacjach rok uznano za lekko ciepły, w pięciu za ciepły, w czterech za bardzo ciepły, a w Karkonoszach nawet za ekstremalnie ciepły. Rok 2024 przyniósł natomiast ekstremalnie wysokie temperatury, co znalazło odzwierciedlenie w rocznej klasyfikacji termicznej. W Puszczy Boreckiej rok 2024 sklasyfikowano jako ciepły, w Kampinosie i Łysogórach jako bardzo ciepły, w czterech

stacjach (Parsęta, Wigry, Pojezierze Chełmińskie i Poznań-Morasko) jako anomalnie ciepły, a w pięciu pozostałych (Wolin, Roztocze, Pogórze Karpackie, Beskid Niski i Karkonosze) nawet jako ekstremalnie ciepły. Na podstawie klasyfikacji termicznej można jednoznacznie stwierdzić, że rok 2024 był najcieplejszym w całym analizowanym wieloleciu.

Tab. 12. Roczna klasyfikacja termiczna dla Stacji Bazowych ZMŚP



Niekorzystna sytuacja termiczna występowała we wszystkich stacjach bazowych, co oznaczało sprzyjanie zwiększonej ewapotranspiracji i ograniczanie retencji wodnej. Relatywnie

najkorzystniejsze warunki odnotowano w Puszczy Boreckiej, gdzie rok sklasyfikowano jako ciepły, co i tak mogło prowadzić do większego parowania terenowego (Tab. 12).

Klasyfikacja termiczno-opadowa w 2024 roku wskazuje, że w większości stacji bazowych sytuacja dla retencji wody była przeciętna. Przejawiało się to brakiem zmian ilościowych, a w najlepszej sytuacji zahamowaniem spadku zasobów wód powierzchniowych i podziemnych. Warto podkreślić, że taki rezultat zawdzięczano wyłącznie wyższym niż w poprzednich latach opadom, które częściowo mogły zrównoważyć niekorzystne warunki termiczne. Ponadto, w Wigrach, na Roztoczu, Pogórzu Karpackim i w Beskidzie Niskim, gdzie rok 2024 był anomalnie lub ekstremalnie ciepły, przy relatywnie niższych niż w innych stacjach sumach opadu stwierdzono niekorzystną sytuację do odnowy zasobów wodnych (Tab. 13).

Tab. 13. Klasyfikacja termiczno-opadowa dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2024 roku

Rok 2024	**Wolin**	**Parsęta**	**Puszcza Borecka**	**Wigry**	**Pojezierze Chełmińskie**	**Poznań-Morasko**
Klasyfikacja termiczna	ekstremalnie ciepły	anomalnie ciepły	ciepły	anomalnie ciepły	anomalnie ciepły	anomalnie ciepły
Klasyfikacja opadowa	bardzo wilgotny	wilgotny	wilgotny	normalny	wilgotny	bardzo wilgotny
Sytuacja dla ochrony i odnowy zasobów wodnych	przeciętna	przeciętna	przeciętna	niekorzystna	przeciętna	przeciętna
Rok 2024	**Kampinos**	**Łysogóry**	**Roztocze**	**Pogórze Karpackie**	**Beskid Niski**	**Karkonosze**
Klasyfikacja termiczna	bardzo ciepły	bardzo ciepły	ekstremalnie ciepły	ekstremalnie ciepły	ekstremalnie ciepły	ekstremalnie ciepły
Klasyfikacja opadowa	normalny	wilgotny	normalny	wilgotny	normalny	bardzo wilgotny
Sytuacja dla ochrony i odnowy zasobów wodnych	przeciętna	przeciętna	niekorzystna	niekorzystna	niekorzystna	przeciętna

Zdarzenia ekstremalne

Zróżnicowanie przestrzenne wskaźnika oceanizmu i kontynentalizmu klimatu Polski oraz wyniesienie nad poziomem morza znajdują swoje odzwierciedlenie w mniejszych kontrastach termicznych w regionach północno-zachodnich, aniżeli w południowo-

wschodnich. Temperatura powietrza w 2024 r. charakteryzowała się znacznymi wahaniami. Najmniejsze amplitudy bezwzględne temperatury powietrza odnotowano w nadmorskiej Stacji Wolin (38,9°C). W przedziale 40–50°C mieściły się jeszcze trzy stacje: położona na północnym zachodzie Parsęta (47,9°C) oraz wysoko położone: Łysogóry (47,6°C) i Karkonosze (45,4°C). Z kolei najwyższe wystąpiły w Polsce południowo-wschodniej: na Roztoczu (54,2°C), na Pogórzu Karpackim (57,8°C) i w Beskidzie Niskim (56,9°C) oraz w Wigrach (55,4°C) (Tab. 14). Warto zwrócić uwagę, że amplitudy były zdecydowanie wyższe niż w latach poprzednich. Maksymalne temperatury powietrza we wszystkich stacjach przekroczyły 30°C, z absolutnym maksimum równym 36,1°C na Pojezierzu Chełmińskim i w Poznaniu. Z kolei, pomimo bardzo ciepłego roku, w czterech stacjach zarejestrowano minimalne temperatury poniżej -20°C.

Tab. 14. Wartości maksymalne i minimalne temperatur w roku hydrologicznym 2024 w Stacjach Bazowych ZMŚP

Element pogody	Stacja Bazowa ZMŚP											
	Wolin	Parsęta	Puszcza Borecka	Wigry	Pojezierze Chełmińskie	Poznań-Morasko	Kampinos	Łysogóry	Roztocze	Pogórze Karpackie	Beskid Niski	Karkonosze
T_{max} [°C]	32,6	32,3	32,3	32,6	36,1	36,1	35,5	30,8	34,6	34,7	34,5	30,9
T_{min} [°C]	-6,3	-15,6	-20,7	-22,8	-15,4	-16,2	-18,3	-16,8	-19,6	-23,1	-22,4	-14,5
Amplituda bezwzględna [°C]	38,9	47,9	53,0	55,4	51,5	52,3	53,8	47,6	54,2	57,8	56,9	45,4

Według klasyfikacji termicznej Lorenc (1998), wrzesień był miesiącem ekstremalnie ciepłym w czterech stacjach: Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie i Kampinos. Ponadto ekstremalnie ciepły maj stwierdzono na Wolinie, luty na Roztoczu, i sierpień w Karkonoszach. W żadnej stacji nie wystąpił miesiąc ekstremalnie chłodny. Z kolei w przypadku klasyfikacji opadowej Kaczorowskiej (1962), skrajnie wilgotne miesiące dominowały na początku roku hydrologicznego. W listopadzie wystąpiły one w stacjach: Wolin, Parsęta, Pojezierze Chełmińskie, Poznań-Morasko, Beskid Niski i Karkonosze; w grudniu – w Puszczy Boreckiej, Poznaniu-Morasku, Kampinosie, Łysogórach, na Roztoczu i w Karkonoszach; w styczniu – w Poznaniu-Morasku, Kampinosie, Łysogórach, na Roztoczu, w Beskidzie Niskim i w Karkonoszach; a w lutym – na Wolinie, Parsęcie, Puszczy Boreckiej, Wigrach, na Roztoczu i w Karkonoszach. Dodatkowo, skrajnie wilgotny kwiecień zanotowano

w Puszczy Boreckiej i w Poznaniu-Morasku, lipiec na Wolinie, Parsęcie i Wigrach, a wrzesień w Karkonoszach. Jedynym miesiącem skrajnie suchym był sierpień w Puszczy Boreckiej.

W sześciu stacjach (Wolin, Wigry, Poznań-Morasko, Łysogóry, Roztocze i Pogórze Karpackie) zarejestrowano noce tropikalne, z temperaturą minimalną ≥20°C. Fale upałów, czyli ciągi przynajmniej 3 dni z temperaturą maksymalną powyżej 30ºC, wystąpiły w siedmiu zlewniach: Wolin (1 raz), Pojezierze Chełmińskie (4 razy), Poznań-Morasko (4 razy), Kampinos (3 razy), Roztocze (4 razy), Pogórze Karpackie (2 razy) i Beskid Niski (2 razy). Najdłuższe fale upałów trwały pięć dni (dwukrotnie w Poznaniu, dwukrotnie na Roztoczu i raz w Beskidzie Niskim), a w Poznaniu dodatkowo wystąpił jeden epizod sześciodniowy z temperaturami maksymalnymi przekraczającymi 30°C. Frekwencja fal upałów w 2024 roku była wyższa niż w latach wcześniejszych. Ich występowanie wzmaga ewapotranspirację, która w konsekwencji może prowadzić do utraty wody przez rośliny w tempie większym niż są one w stanie przyswajać z gleby, co może negatywnie wpływać na ich wzrost.

Pomimo wyższych średnich rocznych temperatur powietrza i ciepłego względem wielolecia maja, w sześciu stacjach wystąpiły późne przymrozki (po 30 kwietnia): Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie, Roztocze i Beskid Niski. Zjawiska te mogą powodować uszkodzenia wczesnej roślinności, a ich pojawienie się w 2024 roku pokazuje, że wzrost średnich temperatur nie eliminuje ryzyka występowania ekstremalnych spadków wiosennych.

W większości zlewni w 2024 roku nie stwierdzono występowania wyjątkowych zdarzeń ekstremalnych znacząco zaburzających obieg wody. Najpoważniejsze zjawisko miało miejsce we wrześniu w Karkonoszach, gdzie między 12 a 17 września wystąpiły katastrofalne opady atmosferyczne. W tym okresie na stacji meteorologicznej w Jagniątkowie zanotowano sumę 324,2 mm, a na Szrenicy aż 401,4 mm. Szczególnie intensywny był trzydniowy epizod (14–16 września), kiedy spadło łącznie 260,5 mm deszczu. Tak duże opady w krótkim czasie spowodowały gwałtowny wzrost przepływów w karkonoskich potokach i powódź w Kotlinie Jeleniogórskiej. Mimo osiągnięcia rekordowych stanów i przepływów w latach 2016–2024, na terenie zlewni Wrzosówki nie odnotowano poważniejszych szkód, co wskazuje na dużą odporność geoekosystemu tej zlewni na ekstremalne zdarzenia opadowe (Krakowski i in. 2025). W innych zlewniach opady dobowe powyżej 50 mm wystąpiły w czterech stacjach: Wigry, Kampinos, Roztocze i Pogórze Karpackie. Z drugiej strony, istotnym zdarzeniem meteorologicznym ograniczającym obieg wody i powodującym obniżanie poziomu wód powierzchniowych były susze meteorologiczne, czyli okresy kiedy opady nie występują przez

co najmniej 15 dni. Mimo wilgotnego roku 2024, susze wystąpiły w trzech stacjach: Wolin, Łysogóry i Beskid Niski.

W 2024 roku w sieci Stacji Bazowych ZMŚP nie stwierdzono występowania następujących zdarzeń ekstremalnych: silnych mrozów; wczesnego występowania przymrozków; długiego zalegania, gwałtownego przyrostu bądź wytapiania pokrywy śnieżnej; gwałtownych, niszczących burz i gradobicia; trąb powietrznych; długotrwałego utrzymywania się mgły.

5.2. Wody podziemne

Dynamikę zasobów pierwszego poziomu wód podziemnych prezentują dwa wskaźniki: miesięcznych zmian retencji R_M i zagrożenia niżówką hydrogeologiczną k_n. Wskaźniki te dobrze prezentują dynamikę zmian zasobów wód podziemnych mających swobodny kontakt z infiltrującymi wodami opadowymi. Miesięczne wartości tych wskaźników są zależne od zasilania opadowego, ale nie zawsze wykazują identyczne miesięczne zależności. W przypadku wód podziemnych duże znaczenie posiada litologia utworów strefy aeracji, która decyduje o prędkości infiltracji wody. Ponadto duże znaczenie posiadają formy rzeźby terenu, typ użytkowania terenu oraz rozległość strefy alimentacji wód podziemnych. Do analizy wskaźników hydrogeologicznych wykorzystano dane stanu wód podziemnych mających największy wpływ na zmienność poziomu wód powierzchniowych. Należy podkreślić, że warunki hydrogeologiczne w badanych zlewniach mają wybitnie lokalne właściwości, o małym zasięgu przestrzennym, które warunkowane są m.in. budową geologiczną, zasilaniem opadowym, użytkowaniem terenu oraz specyfiką lokalnego systemu drenażu.

Wskaźnik miesięcznych zmian retencji R_M

Wskaźnik miesięcznych zmian retencji R_M określono w oparciu o zależność:

$R_M = [(G_{ppm}–G_{opm})\cdot\mu]$ – dla warstwy wodonośnej ze zwierciadłem swobodnym;

gdzie:

G_{ppm} – ostatni pomiar głębokości położenia zwierciadła w miesiącu poprzednim;

G_{opm} – ostatni pomiar głębokości położenia zwierciadła w miesiącu bieżącym;

μ – współczynnik odsączalności.

Wartości wskaźnika $R_M \leq -0{,}02$ oznaczają spadek retencji, wartości $-0{,}01 \leq R_M \leq 0{,}01$ to retencja bez zmian, a wartości $R_M \geq 0{,}02$ oznaczają wzrost retencji.

W 2024 roku hydrologicznym wartości wskaźnika miesięcznych zmian retencji wykazywały duże zróżnicowanie czasowe i przestrzenne. W przeciwieństwie do lat wcześniejszych, w żadnej ze zlewni nie stwierdzono małej dynamiki miesięcznych zmian retencji. W większości zlewni wystąpiły miesiące ze spadkiem retencji, z jej wzrostem oraz

z retencją bez zmian. Wyjątek stanowiła zlewnia Starej Rzeki na Pogórzu Karpackim, gdzie nie wystąpił wzrost retencji oraz zlewnia Wrzosówki w Karkonoszach, gdzie nie odnotowano miesiąca z retencją bez zmian.

Relatywnie najgorsza sytuacja wystąpiła w Karkonoszach (7 miesięcy ze spadkiem retencji) oraz w Puszczy Boreckiej i Kampinosie (po 6 miesięcy ze spadkiem). W układzie miesięcznym relatywnie najlepsze warunki do retencji wody wystąpiły w pierwszych miesiącach roku hydrologicznego (od listopada do lutego), kiedy w większości zlewni stwierdzono wzrost retencji lub brak jej zmian. Odstępstwa dotyczyły jedynie listopada na Pojezierzu Chełmińskim, stycznia w Karkonoszach oraz lutego na Pogórzu Karpackim i w Beskidzie Niskim, gdzie wystąpił spadek retencji. Od marca do września sytuacja była zdecydowanie gorsza. W szczególności w kwietniu i maju, kiedy to w żadnej z monitorowanych zlewni nie stwierdzono wzrostu retencji, co potwierdza trudne warunki dla odnawiania zasobów wodnych w tym okresie. (Tab. 15).

Tab. 15. Wskaźnik miesięcznych zmian retencji R_M dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2024 roku hydrologicznym

Stacja ZMŚP	**XI**	**XII**	**I**	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**	**VII**	**VIII**	**IX**	**X**
Wolin												
Parsęta												
Puszcza Borecka												
Wigry												
Pojezierze Chełmińskie												
Poznań-Morasko												
Kampinos												
Łysogóry												
Roztocze												
Pogórze Karpackie												
Beskid Niski												
Karkonosze												

spadek retencji | retencja bez zmian | wzrost retencji

analiza niemożliwa z przyczyn metodycznych (źródło – niemożliwe określenie stanu wody)

Pogorszenie retencji wód podziemnych w tym okresie wynikało z stosunkowo niskich opadów wiosną oraz dużej frekwencji dni gorących (średnio 63 dni w roku), w tym fal upałów,

wzmagających ewapotranspirację oraz występowania susz meteorologicznych. W konsekwencji infiltracja wody do warstw podziemnych była ograniczona. Podobnie jak w poprzednich latach nie stwierdzono wyraźnej regionalizacji przestrzennej w zakresie możliwości retencji wody, czego przykładem może być odmienna sytuacja w położonych blisko siebie Stacjach Wigry i Puszcza Borecka. Generalnie przebieg wskaźnika retencji wód podziemnych potwierdził utrzymujący się niekorzystny stan ilościowy wód podziemnych w badanych zlewniach (Tab. 15), co w konsekwencji prowadziło do możliwości wystąpienia zagrożenia pojawienia się niżówki hydrogeologicznej w większości badanych geoekosystemów (Tab. 16).

Wskaźnik zagrożenia niżówką hydrogeologiczną k_n

Wskaźnik zagrożenia niżówką hydrogeologiczną, obliczany jest wyłącznie dla poziomu wodonośnego o zwierciadle swobodnym. Formuła miesięcznego wskaźnika zagrożenia niżówką hydrogeologiczną k_n jest następująca:

$k_n = 1–G/SNGw_{(1994-2021)}$

gdzie:

G – stan aktualny, określany jako głębokość położenia zwierciadła wody, przyjmowany umownie jako pierwszy pomiar w rozpatrywanym miesiącu;

$SNGw_{(1994-2021)}$ – średni niski stan (zwierciadła) wody z okresu wielolecia, określany jako średni z minimalnych rocznych stanów wód podziemnych.

Zasady interpretacji:

$k_n>0,1$ – brak zagrożenia niżówką hydrogeologiczną;

$-0,1\leq k_n\leq 0,1$ – zagrożenie pojawienia się niżówki;

$-0,3\leq k_n\leq -0,2$ – wystąpienie płytkiej niżówki;

$k_n<-0,3$ – wystąpienie głębokiej niżówki.

W 2024 roku hydrologicznym uśrednione wartości wskaźnika zagrożenia niżówką hydrogeologiczną wykazują mniejsze zróżnicowanie czasowo-przestrzenne niż wskaźnik miesięcznych zmian retencji. Największe zagrożenie występowania niżówki stwierdzono na Pojezierzu Chełmińskim (8 miesięcy z płytką niżówką), w Kampinosie (2 miesiące z głęboką i 1 miesiąc z płytką niżówką) oraz w Beskidzie Niskim (1 miesiąc z płytką niżówką). W porównaniu z rokiem 2023 stan wód podziemnych nie uległ większym zmianom, a sytuacja nadal była lepsza niż przed 2023 rokiem. Należy to wiązać z wyższymi, jednak wciąż niewystarczającymi opadami atmosferycznymi. Poprawę zasobów wód podziemnych umożliwiły stosunkowo korzystne warunki opadowe w latach 2021–2023, a wysokie opady w 2024 roku pozwoliły utrzymać tę tendencję. Największą poprawę w stosunku do roku 2023

odnotowano w Poznaniu, gdzie przez 11 miesięcy nie stwierdzono zagrożenia niżówką (efekt bardzo wilgotnego roku). Z kolei największe pogorszenie wystąpiło na Pojezierzu Chełmińskim, gdzie nie stwierdzono ani jednego miesiąca z brakiem zagrożenia niżówką. Należy podkreślić utrzymujący się dobry stan na Wolinie i Roztoczu, gdzie przed 2022 rokiem występowały płytka, a nawet głęboka niżówka. Jednak na Roztoczu, w wyniku ekstremalnie ciepłego roku 2024, we wrześniu i październiku stwierdzono ponownie zagrożenie wystąpienia niżówki (Tab. 16).

Tab. 16. Wskaźnik zagrożenia niżówką hydrogeologiczną k_n dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2024 roku hydrologicznym

Stacja ZMŚP	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Wolin												
Parsęta												
Puszcza Borecka												
Wigry												
Pojezierze Chełmińskie												
Poznań-Morasko												
Kampinos												
Łysogóry												
Roztocze												
Beskid Niski												
Karkonosze												

wystąpienie głębokiej niżówki

wystąpienie płytkiej niżówki

zagrożenie pojawienia się niżówki

brak zagrożenia niżówką

analiza niemożliwa z przyczyn metodycznych (źródło – niemożliwe określenie stanu wody)

Pewne różnice stanu zasobów wód podziemnych określone za pomocą wskaźników R_M i k_n wynikają z przyjętej metody obliczeniowej. Wynikają one z faktu, że wskaźnik zmian retencji R_M przedstawia krótkookresowe zmiany poziomu wód podziemnych, z miesiąca na miesiąc. Natomiast wskaźnik zagrożenia niżówką hydrogeologiczną k_n przedstawia stan wód podziemnych w danym miesiącu na tle wielolecia. Wahania poziomu wód podziemnych są procesem długotrwałym, dlatego negatywne, bądź pozytywne uwarunkowania termiczno-opadowe w danym roku hydrologicznym mogą spowodować zmianę poziomu wód

podziemnych dopiero w kolejnych latach. Stan wód podziemnych ma kluczowe znaczenie dla roślinności, zwłaszcza w obszarach, gdzie rośliny zależą od wód gruntowych. Poprawa stanu wód podziemnych może oznaczać lepsze warunki dla wzrostu roślin, zwłaszcza w obszarach, gdzie wcześniej występowały niżówki hydrogeologiczne. Poprawa stanu wód podziemnych może przyczynić się do stabilizacji ekosystemów, zwiększenia dostępności wody dla roślin, a także pozytywnie wpływać na różnorodność biologiczną. Jednakże, dopiero utrzymanie takiego stanu w kolejnych latach może świadczyć o lepszych warunkach dla wzrostu roślin.

5.3. Wody powierzchniowe

W 2023 roku prowadzono monitoring wód płynących 11 cieków wodnych. Jedynie dla odpływu z jeziora Łękuk (Puszcza Borecka) niemożliwe było prowadzenie pomiarów ze względu na zakłócenia odpływu wody w cieku spowodowane działalnością bobrów.

Tab. 17. Miesięczne średnie wartości współczynnika odpływu [-] i odpływu jednostkowego oraz ekstremalne dobowe odpływy jednostkowe [$dm^{-3} \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$] w 2024 roku hydrologicznym w Stacjach Bazowych ZMŚP

Stacja (Rzeka)	Współczynnik odpływu	Średni miesięczny odpływ jednostkowy	Maksymalny dobowy odpływ jednostkowy	Minimalny dobowy odpływ jednostkowy
	[-]	[$dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$]		
Wolin (Lewińska Struga)	0,42	10,00	16,50	5,30
Parsęta (Parsęta)	0,47	9,98	35,76	5,43
Wigry (Czarna Hańcza)	0,29	5,97	10,60	3,53
Pojezierze Chełmińskie (Struga Toruńska)	0,15	2,69	10,73	0,00
Poznań-Morasko (Różany Strumień)	0,12	2,70	17,60	0,00
Kampinos (Kanał Olszowiecki)	0,03	0,48	3,34	0,00
Łysogóry (Wieniec)	0,43	17,30	399,00	0,00
Roztocze (Świerszcz)	0,11	2,55	7,99	1,10
Pogórze Karpackie (Stara Rzeka)	0,20	5,51	44,98	0,06
Beskid Niski (Bystrzanka)	0,39	11,3	133,69	0,12
Karkonosze (Wrzosówka)	0,70	30,80	1152,60	6,10

Reakcja badanych geoekosystemów w postaci zasilania opadowego i podziemnego widoczna była w 2024 roku w wodach powierzchniowych, zwłaszcza w wodach rzecznych, które stanowią strefę odprowadzania wody z badanych zlewni. Miarą reakcji zlewni na dynamikę obiegu wody mogą być geoindykatory hydrologiczne w postaci współczynnika odpływu i wskaźnika odpływu jednostkowego (Tab. 17) oraz współczynnika miesięcznego przepływu (Ryc. 14).

Współczynnik odpływu

Współczynnik odpływu (α) jest ilorazem warstwy odpływu (O) do warstwy opadu (P). Wyrażany jest w procentach lub jako wartość niemianowana. Wartość współczynnika odpływu informuje, jaka część opadu odpłynęła ciekiem ze zlewni. Współczynnik odpływu w zadanym przedziale czasu (miesiąc, rok) jako wartość niemianowaną oblicza się następująco:

$\propto = O/P$ [-]

gdzie:

O – warstwa odpływu ze zlewni w zadanym przedziale czasu [mm];

P – warstwa opadu w zlewni w zadanym przedziale czasu [mm].

W większości badanych zlewni ZMŚP średni współczynnik odpływu w 2024 roku utrzymywał się na podobnym poziomie jak w latach poprzednich. Jego wartości wahały się od 0,03 w Kanale Olszowieckim w Kampinosie do 0,47 w Parsęcie i 0,70 we Wrzosówce w Karkonoszach. Wilgotny rok 2024 sprawił, że w większości zlewni (z wyjątkiem Czarnej Hańczy na Wigrach) współczynnik odpływu był wyższy niż w 2023 roku, przy czym wzrost zazwyczaj nie przekraczał 15%. Wyjątek stanowiły trzy zlewnie: Lewińska Struga na Wolinie, Różany Strumień w Poznaniu oraz Wieniec w Górach Świętokrzyskich, gdzie współczynnik odpływu zwiększył się odpowiednio 2,8-, 4- i 1,8-krotnie. Dla Wieńca była to najwyższa wartość w całym okresie pomiarowym, w Lewińskiej Strudze wyższe wartości zanotowano tylko w 2013 roku, a w Różanym Strumieniu w 2017 roku. Wzrost wartości współczynnika w zlewniach był konsekwencją wysokich sum opadów atmosferycznych, które w sposób bezpośredni przełożyły się na zwiększenie odpływu fluwialnego.

Zlewnie Niżu Polskiego charakteryzują się spowolnionym obiegiem wody i długim krążeniem wody od strefy alimentacji do strefy drenażu. W tych zlewniach zaledwie kilka-kilkanaście procent (Struga Toruńska, Różany Strumień, Kanał Olszowiecki), a maksymalnie 29-47% (Lewińska Struga, Parsęta, Czarna Hańcza) wody opadowej odpłynęło systemem fluwialnym poza zlewnię. W ciekach o mniejszym współczynniku odpływu, jakość wód opadowych odgrywa mniejsze znaczenie w kształtowaniu jakości wód rzecznych. Długi czas

krążenia wody nie powoduje szybkiej dostawy zanieczyszczeń powierzchniowych ze zlewni do wód rzecznych, jednakże może występować ich kumulacja w glebie czy wodach podziemnych (np. biogenów). Równie wysoką wartość współczynnik odpływu osiągnął w ciekach górskich (Wieniec, Stara Rzeka, Bystrzanka i Wrzosówka), gdzie udział wód opadowych w wodach rzecznych wyniósł odpowiednio od 20 do 70%. W tych zlewniach migracja wody opadowej do koryta rzecznego jest szybka i krótka. Jakość wód opadowych w zlewniach górskich może znacząco wpływać na jakość wody w rzekach. W zlewniach górskich reakcja odpływu rzecznego na opad atmosferyczny jest szybsza i bardziej wyraźna niż w zlewniach nizinnych, czy wyżynnych. W zlewniach górskich nie następuje tak znaczna kumulacja zanieczyszczeń jak w zlewniach nizinnych, ale następuje ich szybkie odprowadzanie systemem fluwialnym.

Zlewnie przekształcone antropogenicznie, o małym udziale lasów (Struga Toruńska, Różany Strumień) cechują się szybkim obiegiem wód powierzchniowych i podziemnych, a migrująca w zlewni woda wykorzystywana jest na cele związane nie tylko z odpływem rzecznym, ale także m.in. dla potrzeb melioracji czy nawadniania.

W roku 2024 zauważalny był ścisły związek pomiędzy sumami opadów atmosferycznych w okresach poprzedzających a aktualnym odpływem ze zlewni. Porównywalne wartości współczynnika odpływu do lat o odmiennych warunkach hydrometeorologicznych (niekorzystnych, suchych 2018-2019 oraz umiarkowanie korzystnych 2020-2022) można tłumaczyć mniejszą retencją oraz znaczącym obniżeniem stanu wód powierzchniowych i podziemnych w bardzo suchych i bardzo ciepłych latach 2018 i 2019. Wyższe opady w latach 2020-2023 stopniowo uzupełniały zasoby wód podziemnych (retencji), jednak nie były wystarczające, czego efektem były niskie i zbliżone wartości współczynnika odpływu. Dopiero kolejny wilgotny rok 2024 spowodował wyraźny wzrost współczynnika odpływu. Na utrzymujące się w latach 2020–2022 niskie wartości wpływały również wysokie temperatury powietrza, które zwiększały straty wody w wyniku ewapotranspiracji, a znaczna część opadów była wówczas zużywana na uzupełnianie deficytu wodnego powstałego w poprzednich latach. Natomiast w 2023 roku, a zwłaszcza w 2024 roku, dostawa wody atmosferycznej była na tyle duża, że nawet bardzo wysokie temperatury nie zakłóciły znacząco wielkości odpływu fluwialnego.

Wskaźnik odpływu jednostkowego

Odpływ jednostkowy (q) jest miarą odpływu ze zlewni, opisującą odpływ wody w jednostce czasu z jednostki powierzchni zlewni i wyrażaną w $dm^{-3} \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$. Obliczenia

odpływu jednostkowego dokonuje się z uwzględnieniem średniego przepływu w danym okresie (doba, miesiąc, rok) na podstawie formuły:

$$q=1000Q/A\ [dm^{-3}\cdot s^{-1}\cdot km^{-2}],$$

gdzie:

Q – średni przepływ w zadanym przedziale czasu (np. doba, miesiąc, rok) [$dm^{-3}\cdot s^{-1}$];

A – powierzchnia zlewni [km^2].

W badanych zlewniach ZMŚP w 2024 roku średni miesięczny wskaźnik odpływu jednostkowego (Tab. 17) przyjmował niskie wartości, poniżej 5 $dm^{-3}\cdot s^{-1}\cdot km^{-2}$ w większości zlewni nizinnych i wyżynnych. Wyjątek stanowiły Parsęta i Czarna Hańcza, w których monitorowane są cieki o większych przepływach oraz Lewińska Struga i Wieniec, w których notowano rekordowe przepływy w 2024 roku. Z kolei w zlewniach górskich (Stara Rzeka, Bystrzanka i Wrzosówka) odpływ jednostkowy był również wysoki, co wynikało z małej powierzchniowo strefy alimentacji i szybkiego obiegu wody, dużych spadków terenu generujących spływ powierzchniowy i szybszą dostawę wody z systemu stokowego do korytowego.

W 2024 roku odpływ jednostkowy w zlewniach ZMŚP cechował się dużym zróżnicowaniem regionalnym i w wielu przypadkach osiągał wartości wyższe niż w latach wcześniejszych. Najwyższe średnie miesięczne wartości wskaźnika odpływu wystąpiły w zlewniach górskich: we Wrzosówce w Karkonoszach (30,8 $dm^{-3}\cdot s^{-1}\cdot km^{-2}$), w Bystrzance w Beskidzie Niskim (11,3 $dm^{-3}\cdot s^{-1}\cdot km^{-2}$) oraz w Starej Rzece na Pogórzu Karpackim (5,5 $dm^{-3}\cdot s^{-1}\cdot km^{-2}$) a także w Parsęcie (10,0 $dm^{-3}\cdot s^{-1}\cdot km^{-2}$), która odznacza się stosunkowo wysokimi wartościami q niezależnie od warunków meteorologicznych (Tab. 17). Bardzo wysokie wartości odnotowano również w zlewniach o specyficznych warunkach retencyjnych – w Lewińskiej Strudze (10,0 $dm^{-3}\cdot s^{-1}\cdot km^{-2}$) i w Wieńcu (17,3 $dm^{-3}\cdot s^{-1}\cdot km^{-2}$), gdzie odpływ rzeczno-jeziorny lub budowa geologiczna powodują na co dzień spowolnioną reakcję na zasilanie, ale w wilgotnym 2024 roku skutkowały wyraźnym wzrostem odpływu. W pozostałych zlewniach nizinnych wartości q były z reguły niższe i nie przekraczały 5 $dm^{-3}\cdot s^{-1}\cdot km^{-2}$, co wynika z większej powierzchni stref alimentacji, łagodniejszych spadków terenu oraz intensywniejszej retencji glebowej i podziemnej. Tym samym w 2024 roku na tle lat wcześniejszych zaznaczyło się nie tylko wyraźne zróżnicowanie przestrzenne, ale i większy udział zlewni o wysokich wartościach odpływu jednostkowego.

Współczynnik miesięcznego przepływu

Podstawą oceny ustroju rzecznego w zlewni jest analiza zmienności przepływu w cyklu rocznym z uwzględnieniem danych z wielolecia. Wykorzystuje się w tym celu średnie miesięczne wartości przepływu z wielolecia oraz średnie roczne wartości odpływu z wielolecia. Wartości miesięcznych współczynników przepływu obliczane są w sytuacji dysponowania przynajmniej pięcioletnim ciągiem obserwacji hydrologicznych. W związku z powyższym, w przeprowadzonej analizie nie uwzględniono Stacji Pogórze Karpackie, która dysponuje krótszą serią pomiarową. Wartości współczynnika mogą być wyrażane jako liczba niemianowana lub w procentach. W przypadku każdego miesiąca roku hydrologicznego współczynnik oblicza się według formuły (łącznie 12 wartości):

$k=SQ_{mi}/SQ_r$,

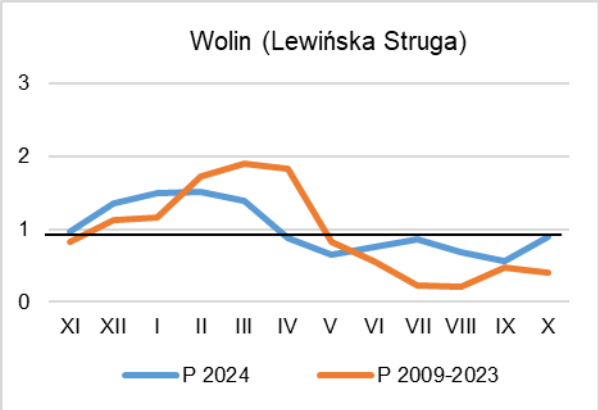
gdzie:

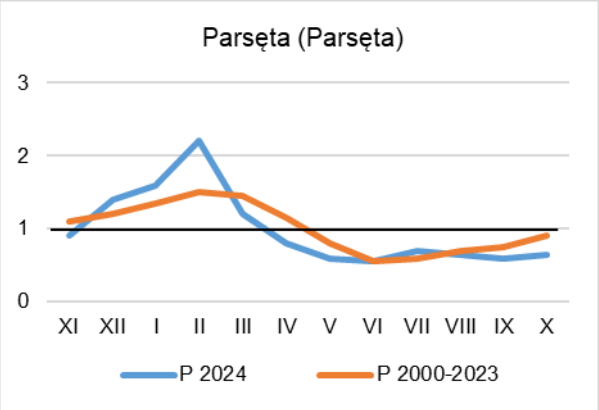
SQ_{mi} – średni przepływ j-tego miesiąca w wieloleciu;

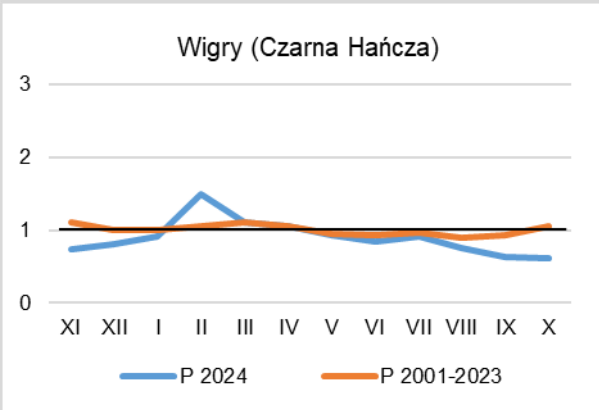
SQ_r – średni przepływ roczny w wieloleciu.

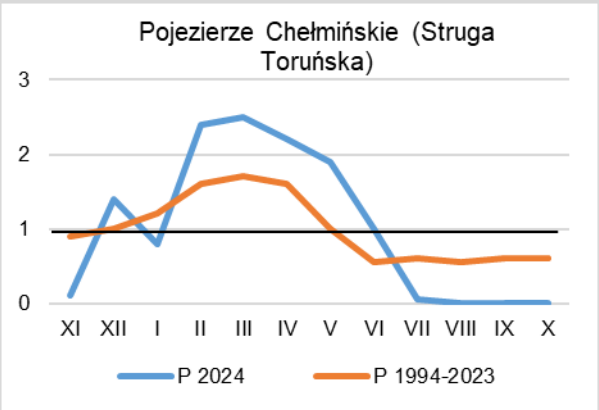
Wartość współczynnika przekraczająca 1 oznacza miesiąc z występującymi wezbraniami i przepływami powyżej wartości średniej rocznej. Wartość poniżej 1 oznacza miesiąc występowania przepływów niższych od średniej rocznej.

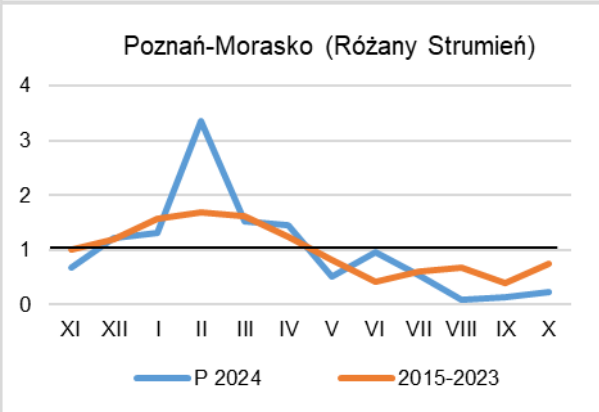
W roku 2024 współczynnik miesięcznych przepływów odbiegały od wartości średnich z wielolecia i był zróżnicowane regionalnie (Ryc. 14). Najbardziej typowy przebieg miały przepływy: Parsęty, Czarnej Hańczy i Świerszcza, w których zaznaczył się wyraźny wzrost współczynnika w lutym. We wszystkich zlewniach zaznaczyły się wyższe przepływy w półroczu zimowym, w szczególności od grudnia do lutego, co wynikało z wysokich sum opadów atmosferycznych przy ograniczonej ewapotranspiracji w tym okresie. Wyjątkowa sytuacja miała miejsce w zlewni Wrzosówki w Karkonoszach, gdzie obok kulminacji zimowej wystąpił drugi, wyjątkowy wzrost przepływów we wrześniu. Był on związany z ekstremalnymi opadami w dniach 12-17 września, które spowodowały gwałtowny wzrost przepływów w karkonoskich potokach oraz powódź w Kotlinie Jeleniogórskiej. Generalnie najniższe wartości współczynników notowano w miesiącach letnich i jesiennych (czerwiec-październik), kiedy to cztery monitorowane cieki okresowo lub stale nie prowadziły wody (Struga Toruńska, Różany Strumień, Kanał Olszowiecki i Wieniec).

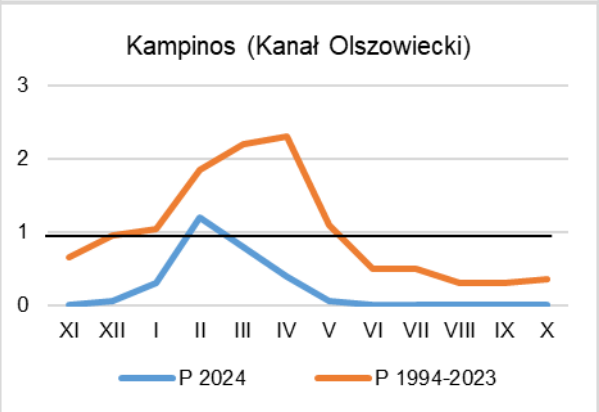

Wolin (Lewińska Struga)
3
2
1
0
XI XII I II III IV V VI VII VIII IX X
P 2024
P 2009-2023

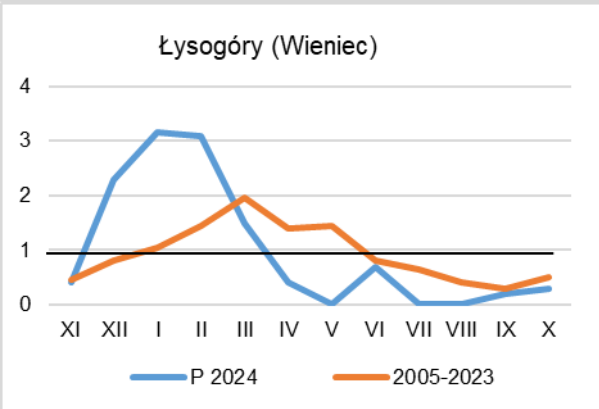

Parsęta (Parsęta)
3
2
1
0
XI XII I II III IV V VI VII VIII IX X
P 2024
P 2000-2023

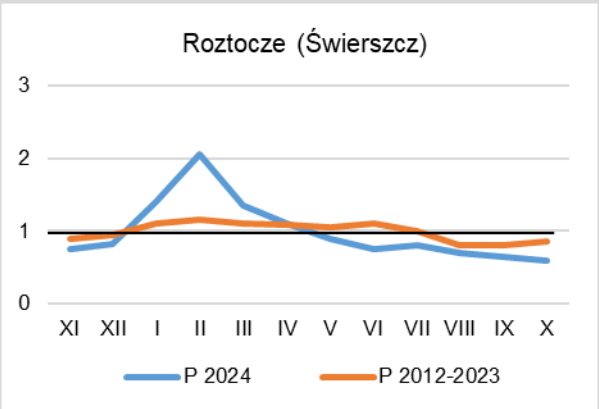

Wigry (Czarna Hańcza)
3
2
1
0
XI XII I II III IV V VI VII VIII IX X
P 2024
P 2001-2023

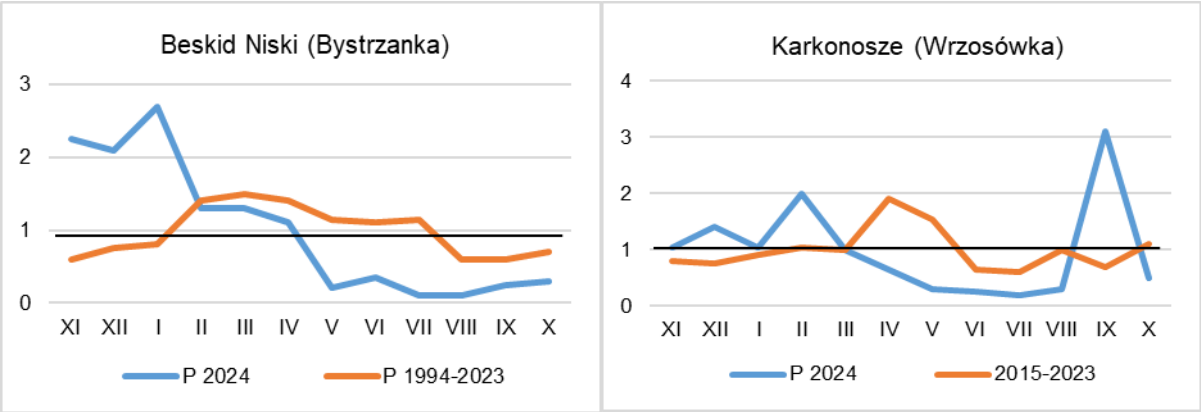

Pojezierze Chełmińskie (Struga Toruńska)
3
2
1
0
XI XII I II III IV V VI VII VIII IX X
P 2024
P 1994-2023


Poznań-Morasko (Różany Strumień)
4
3
2
1
0
XI XII I II III IV V VI VII VIII IX X
P 2024
2015-2023


Kampinos (Kanał Olszowiecki)
3
2
1
0
XI XII I II III IV V VI VII VIII IX X
P 2024
P 1994-2023


Łysogóry (Wieniec)
4
3
2
1
0
XI XII I II III IV V VI VII VIII IX X
P 2024
2005-2023


Roztocze (Świerszcz)
3
2
1
0
XI XII I II III IV V VI VII VIII IX X
P 2024
P 2012-2023



Ryc. 14. Zmienność czasowa współczynników miesięcznych przepływu w roku hydrologicznym 2024 na tle zmienności czasowej wartości współczynników miesięcznych przepływu z wielolecia

5.4. Skrócony bilans wodny

Jednym ze sposobów określenia bilansu wodnego w danym przedziale czasu (np. miesiącu, roku, wieloleciu) jest porównanie ilości wody jaka dostaje się do zlewni z opadami atmosferycznymi oraz ilości wody jaka z niej odpływa korytem rzecznym. Dla długich okresów i dużych powierzchniowo obszarów wprowadza się uogólnienia pozwalające na uzyskanie skróconego bilansu wodnego, polegającym na zestawieniu opadu atmosferycznego i odpływu powierzchniowego. Skrócony bilans wodny lepiej oddaje mechanizm i specyfikę obiegu w zlewniach niż klimatyczny bilans wodny, który jest wskaźnikiem umożliwiającym określenie stanu uwilgotnienia środowiska (oceny aktualnych zasobów wodnych) i jest określany jako różnica pomiędzy przychodami wody (w postaci opadów), a stratami w procesie parowania (ewapotranspiracji).

W niniejszym opracowaniu skrócony bilans wodny stanowi różnicę między roczną sumą opadów atmosferycznych P [mm], a roczną wysokością warstwy odpływu H_{pow} [mm]. Uzyskane wartości uproszczonego bilansu wodnego P=H+S, stanowią wówczas ilość wody uczestniczącą w obiegu wody S, którą stanowią zarówno straty wynikające m.in. z parowania E i odpływu podziemnego H_{pod}, jak i zysk wody w zlewni związany ze zmianami jej retencji ΔR.

Określając uproszczony roczny bilans wodny w zlewniach ZMŚP dla 2024 roku wykorzystano parametry: P – średnią roczną sumę opadu obszarowego [mm], H – średnią roczną wielkość odpływu powierzchniowego roku [mm], S – średnią roczną wysokość strat bilansowych (parowanie, odpływ podziemny i zmiany retencji), tzw. deficyt odpływu [mm].

Analiza uproszczonego bilansu wodnego w 2024 roku wykazała wyraźną zmienność przestrzenną przy jednocześnie względnie korzystnych warunkach hydrometeorologicznych sprzyjających retencji wody w badanych zlewniach. Największy deficyt odpływu wody

odnotowano w Łysogórach (678,1 mm) i na Pogórzu Karpackim (695,7 mm), natomiast najmniejszy w Lewińskiej Strudze (427,3 mm) i Wrzosówce (423,3 mm). W przypadku Lewińskiej Strugi wynikało to z wyjątkowo wysokich przepływów zarejestrowanych w 2024 roku, natomiast w Wrzosówce jest to cecha charakterystyczna dla zlewni górskich, gdzie odpływ fluwialny stanowi duży udział w bilansie wodnym. W porównaniu do lat wcześniejszych zaznaczyła się większa jednorodność wielkości deficytu odpływu pomiędzy poszczególnymi stacjami. W strefie nizinnej średni deficyt wyniósł 520,5 mm, w wyżynnej 579,3 mm, a w górskiej 548 mm, przy czym odchylenie standardowe dla analizowanych 11 zlewni było stosunkowo niewielkie i wyniosło jedynie 93,5 mm (Tab. 18). Na tle warunków z poprzedniego roku, w czterech zlewniach (Wolin, Łysogóry, Pogórze Karpackie i Beskid Niski) deficyt odpływu w 2024 roku był niższy niż w 2023 roku. Średnia wartość deficytu odpływu w 2024 roku (539 mm) była zbliżona do tej z lat ciepłych i normalnych pod względem opadów, takich jak 2016 (521 mm), 2020 (531 mm), 2021 (507 mm) czy 2023 (527 mm). Z kolei w porównaniu z suchymi i ciepłymi latami 2015, 2018 i 2019, kiedy średni deficyt odpływu wynosił odpowiednio 431, 428 i 470 mm, wartości z 2024 roku były wyraźnie wyższe. Największy deficyt odpływu w ostatnim dziesięcioleciu odnotowano jednak w roku 2017, wyjątkowo wilgotnym, kiedy wyniósł on aż 617 mm.

Tab. 18. Miesięczne wysokości warstwy opadu i odpływu [mm] oraz skróconego bilansu wodnego [mm] w 2024 roku hydrologicznym w zlewniach ZMŚP

Stacja (zlewnia)	P Opad atmosferyczny	H_{pow} Odpływ powierzchniowy	S Deficyt odpływu $P-H_{pow}$
	[mm]		
Wolin (Lewińska Struga)	742,0	314,7	427,3
Parsęta (Parsęta)	857,4	314,4	543,0
Wigry (Czarna Hańcza)	648,6	188,7	459,9
Pojezierze Chełmińskie (Struga Toruńska)	593,5	86,2	507,3
Poznań-Morasko (Różany Strumień)	699,6	84,5	615,2
Kampinos (Kanał Olszowiecki)	585,8	15,3	570,5
Łysogóry (Wieniec)	838,9	358,3	480,6
Roztocze (Świerszcz)	758,6	80,5	678,1
Pogórze Karpackie (Stara Rzeka)	869,1	173,4	695,7
Beskid Niski (Bystrzanka)	880,1	355,0	525,1
Karkonosze (Wrzosówka)	1389,4	966,1	423,3

Reasumując, znaczna ilość wody dostarczanej w 2024 roku wraz z opadami, która była wyższa od średniej wieloletniej, tracona była na parowanie terenowe. Straty te, przy bardzo wysokich temperaturach powietrza w 2024 roku mogły wynosić około 380-400 mm rocznie (Awłasiewicz 1953). Generalnie w monitorowanych zlewniach warunki do odbudowy zasobów wodnych można ocenić jako umiarkowane. Pod względem opadowym sytuacja była korzystna dla retencji wodnej w badanych geoekosystemach, co znalazło swoje odzwierciedlenie w dobrej jakości wód krążących w zlewniach oraz względnie sprzyjających warunkach życia roślin i zwierząt. Należy jednak pamiętać, że bardzo wysokie temperatury – w tym fale upałów – istotnie zwiększały ewapotranspirację, co ograniczało realne możliwości retencyjne i częściowo neutralizowało pozytywny efekt wysokich sum opadów.

6. GEOINDYKATORY JAKOŚCI WODY W EKSPERYMENTALNYCH GEOEKOSYSTEMACH ZLEWNI RZECZNYCH I JEZIORNYCH ZMŚP

Przedstawione poniżej geowskaźniki zostały zaproponowane przez Szpikowskiego (2012) oraz zostały uwzględnione m.in. w ostatnich opracowaniach stanu geoekosystemów Polski w latach 2016-2019 (Tylkowski, Kostrzewski 2017, 2018; Majewski, Kostrzewski 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024).

W określeniu prawidłowości funkcjonowania badanych geoekosystemów ZMŚP istotne jest określenie stanu jakościowego wody, zwłaszcza na tych etapach jej obiegu, które związane są z dostawą i odprowadzaniem wody ze zlewni, czyli w opadach atmosferycznych i odpływie rzecznym. Charakterystyka jakości opadów pozwala na określenie roli czynników allochtonicznych, które wpływają na dynamikę dostawy substancji rozpuszczonych do zlewni badawczych ZMŚP. Z kolei analiza stężeń, a zwłaszcza ładunków substancji rozpuszczonych w wodach rzecznych będąca funkcją krążenia wody w zlewniach ZMŚP umożliwia określenie ich roli i wpływu na geoekosystemy zewnętrzne – poza zlewniami ZMŚP. Analiza atmosferycznej dostawy ładunków substancji rozpuszczonych i ich odprowadzania rzecznego pozwala na określenie właściwości obiegu materii w zlewniach ZMŚP – za pomocą bilansu denudacyjnego.

W opracowaniu opisano geowskaźniki charakteryzujące jakościowe właściwości wód krążących w badanych zlewniach:

- klasyfikacja jakości pH/SEC opadów atmosferycznych,
- wskaźnik udziału czynników kwasogennych w zakwaszaniu opadów,
- wskaźnik chlorkowo-sodowy i stężenie substancji rozpuszczonych w opadach atmosferycznych,
- stan chemiczny wód podziemnych,
- stężenie substancji rozpuszczonych w wodach rzecznych i klasyfikacja elementów fizyko-chemicznych wód powierzchniowych,
- bilans jonów denudacyjnych i biogennych.

6.1. Opady atmosferyczne

Opady atmosferyczne cechują się przeważnie niskim stężeniem substancji rozpuszczonych i obniżonym odczynem. W zlewniach badawczych ZMŚP obserwowane jest wyraźne zróżnicowanie fizykochemicznych właściwości opadów atmosferycznych, które związane jest ze zróżnicowanym czasowo-przestrzennie oddziaływaniem czynników naturalnych oraz zanieczyszczeń antropogenicznych.

Klasyfikacja pH/SEC opadów atmosferycznych

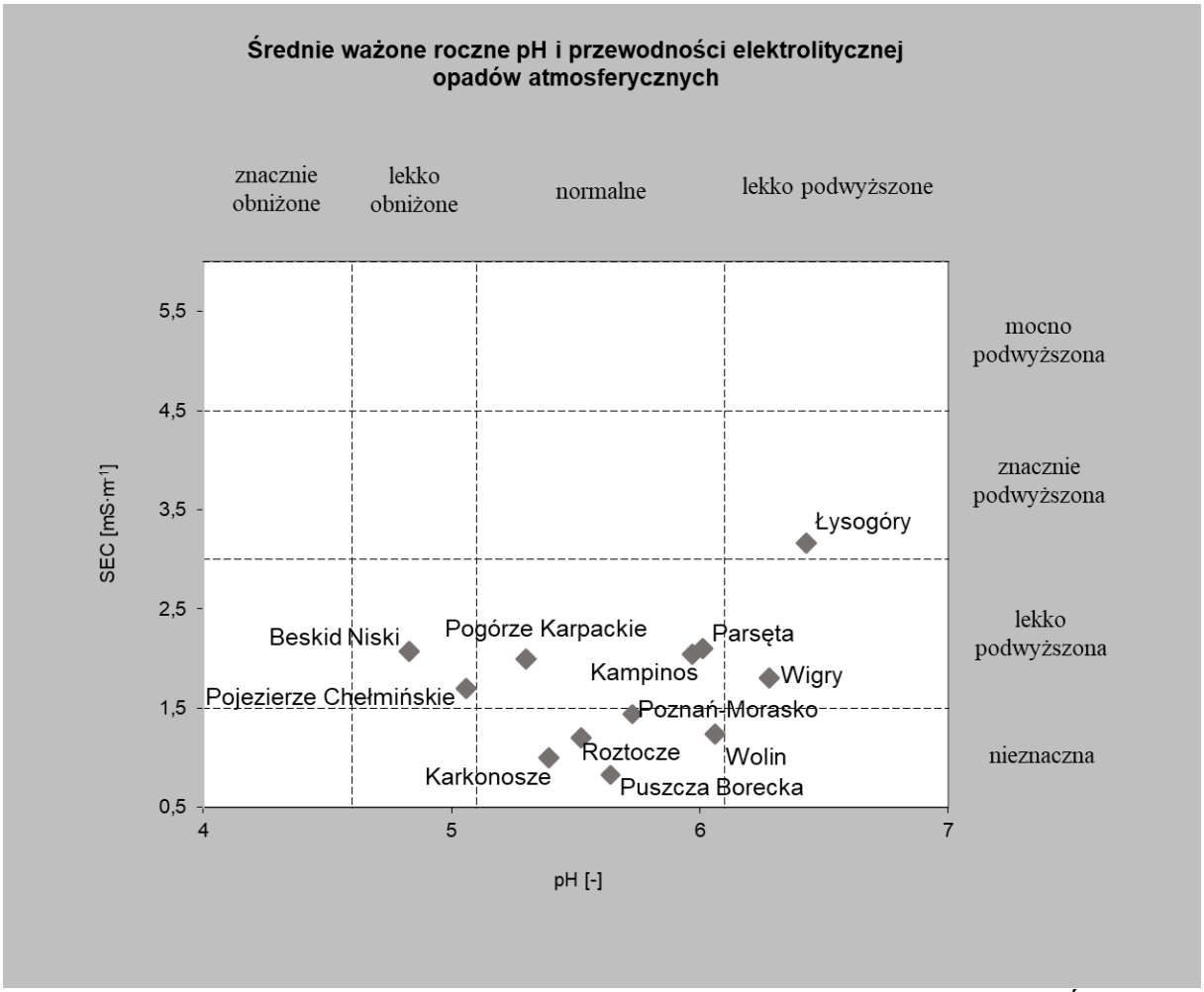
Wskaźnik ten został określony na podstawie tzw. klasyfikacji austriackiej jakości opadów atmosferycznych (Jansen i in. 1988). Ze względu na jego dużą przydatność do oceny odczynu i przewodności elektrolitycznej opadów atmosferycznych został wprowadzony do obligatoryjnego stosowania w sprawozdaniach Stacji Bazowych ZMŚP. Klasyfikacja pH/SEC ukazuje czasowe zróżnicowanie jakości wód opadowych (trendy i tendencje) w zróżnicowanych geoekosystemach Polski. W zakresie przewodności elektrolitycznej właściwej wskaźnik jest podzielony na 6 klas jakościowych (Tab. 19). W odniesieniu do odczynu wody opadowej klasyfikacja pH/SEC opadów atmosferycznych zawiera 5 klas jakościowych (Tab. 20) (Szpikowski 2012). Wskaźnik klasyfikacji pH/SEC opadów atmosferycznych w 2024 roku przedstawiono na rycinie 15.

Tab. 19. Klasyfikacja przewodności elektrolitycznej wód opadowych (wg Jansena i in. 1988)

średnia roczna ważona przewodność elektrolityczna SEC [$mS \cdot m^{-1}$]	klasa przewodności wód opadowych
SEC <= 1,5	nieznaczna
1,5 < SEC <=3,0	lekko podwyższona
3,0 < SEC <= 4,5	znacznie podwyższona
4,5 < SEC <=6,0	mocno podwyższona
6,0 < SEC <= 10,0	silnie podwyższona
SEC > 10,0	bardzo silnie podwyższona

Tab. 20. Klasyfikacja odczynu wód opadowych (wg Jansena i in. 1988)

średnia roczna ważona wartość odczynu wody pH [-]	klasa odczynu wód opadowych
pH <=4,1	silnie obniżony
4,1 < pH <= 4,6	znacznie obniżony
4,6 < pH <= 5,1	lekko obniżony
5,1 < pH <= 6,1	normalny
6,1 < pH <= 6,5	lekko podwyższony
pH > 6,5	znacznie podwyższony



Ryc. 15. Klasyfikacja pH i SEC opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2024 roku (dla opadu całkowitego)

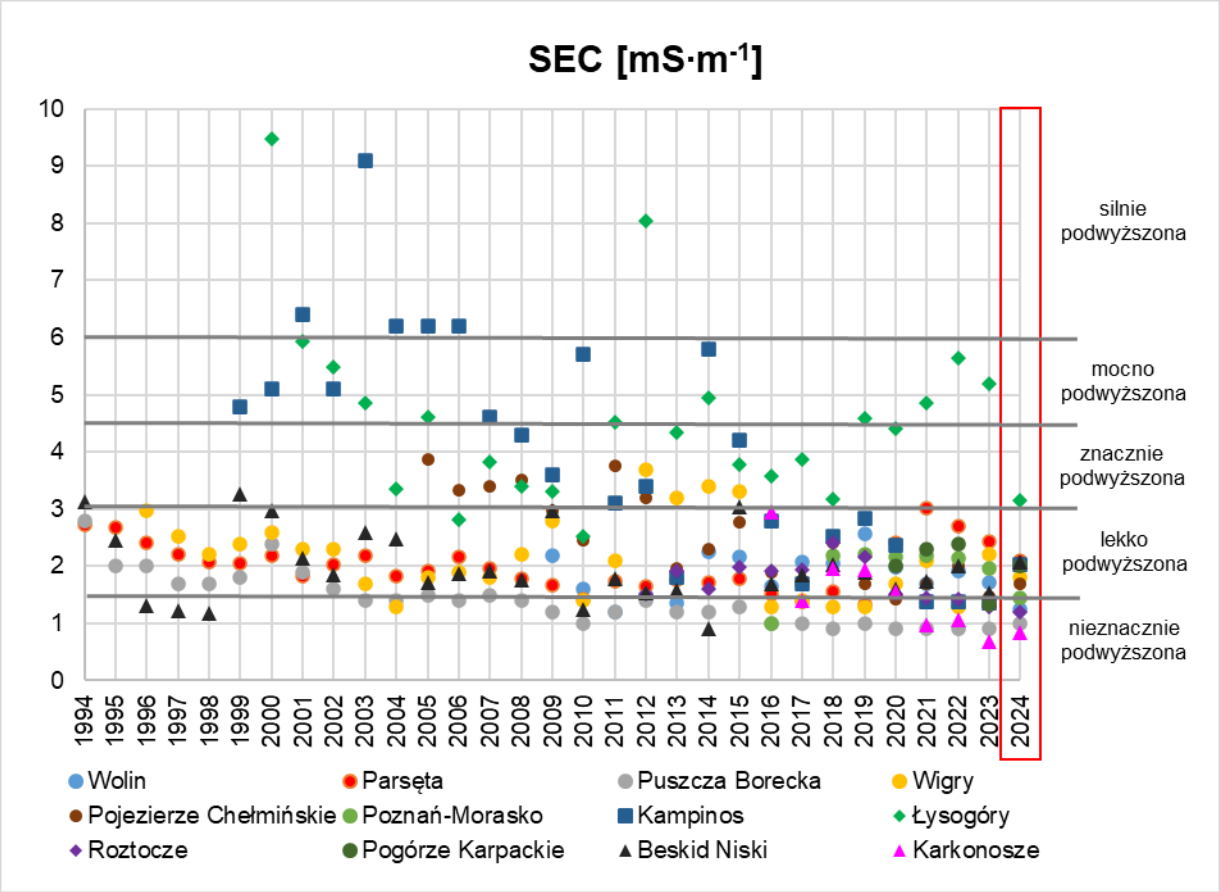
Wskaźnik klasyfikacji SEC opadów atmosferycznych w 2024 roku hydrologicznym w zakresie średniej ważonej przewodności elektrolitycznej (Ryc. 15) charakteryzował się następującymi właściwościami:

- przewodność nieznaczną stwierdzono w pięciu stacjach: Wolin, Puszcza Borecka, Poznań-Morasko, Roztocze i Karkonosze;
- przewodność lekko podwyższoną stwierdzono w sześciu stacjach: Parsęta, Wigry, Pojezierze Chełmińskie, Kampinos, Pogórze Karpackie i Beskid Niski;
- przewodność znacznie podwyższoną stwierdzono w Stacji Łysogóry.

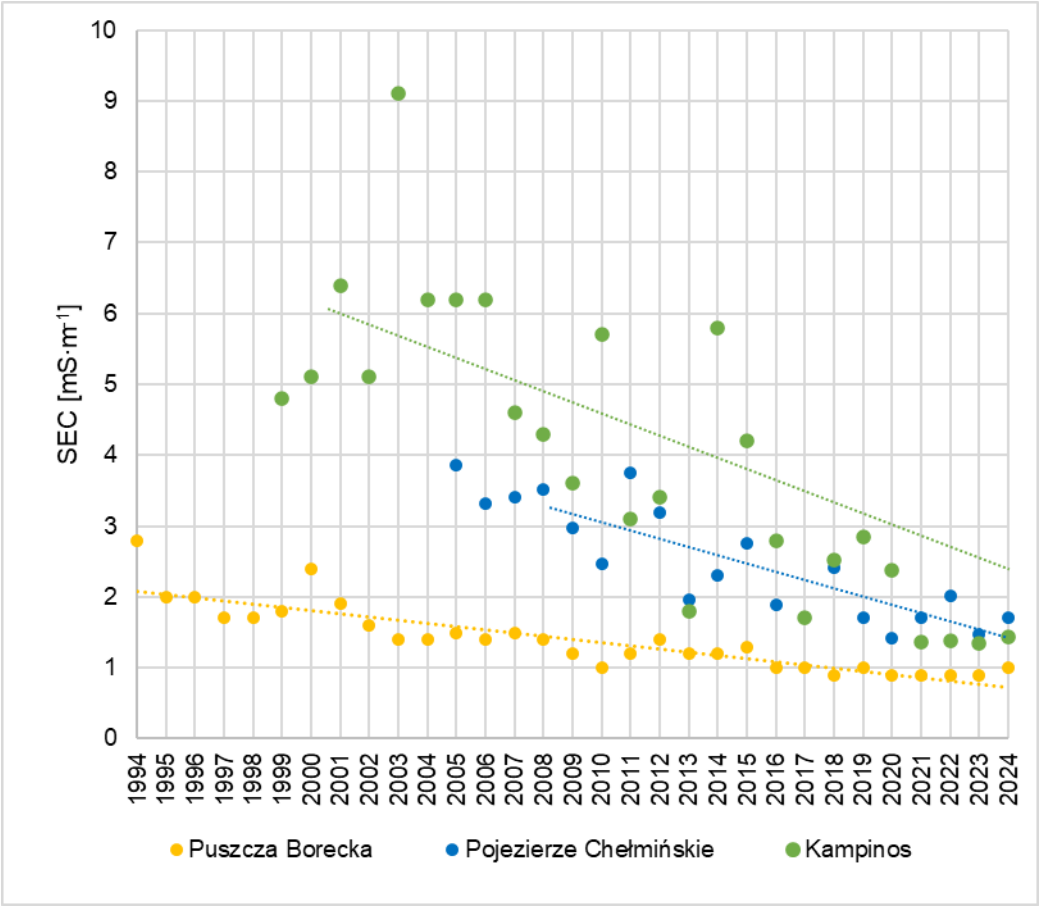
W porównaniu z rokiem 2023 jakość opadów atmosferycznych pod względem przewodności w większości stacji pozostała na podobnym poziomie. Poprawę odnotowano w Wolinie i Poznaniu-Morasku (spadek z klasy lekko podwyższonej do nieznacznej), natomiast pogorszenie wystąpiło w Kampinosie i na Pogórzu Karpackim (z klasy nieznacznej do lekko podwyższonej). Wyraźnie gorszą, na tle innych stacji, jakość opadów w Górach Świętokrzyskich można wiązać z wyniesieniem obszaru zlewni Wieńca o 100–300 m ponad

otoczenie, co zwiększa podatność tego regionu na wpływ zarówno lokalnych, jak i odległych emisji przemysłowych i transportowych. Warto podkreślić, że w żadnej innej stacji nie stwierdzono przewodności zakwalifikowanej do klasy znacznie podwyższonej (Ryc. 16).

Wieloletni przebieg zmienności przewodności elektrolitycznej wskazuje w większości stacji bazowych na korzystny trend spadku stężenia substancji rozpuszczonych w wodach opadowych. Istotny statystycznie trend spadkowy mineralizacji opadów ($p<0,05$) stwierdzono w 3 stacjach posiadających długie serie pomiarowe: Puszczy Boreckiej, Pojezierzu Chełmińskim i Kampinosie. Dziesięcioletni trend spadku SEC wynosi od 0,43 $mS \cdot m^{-1}$ w Puszczy Boreckiej do 1,53 $mS \cdot m^{-1}$ w Kampinosie (Ryc. 17).



Ryc. 16. Zmienność czasowa SEC opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2024 roku hydrologicznym na tle wielolecia



Ryc. 17. Istotne statystycznie trendy spadku SEC w opadach atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP – Puszcza Borecka, Pojezierze Chełmińskie i Kampinos

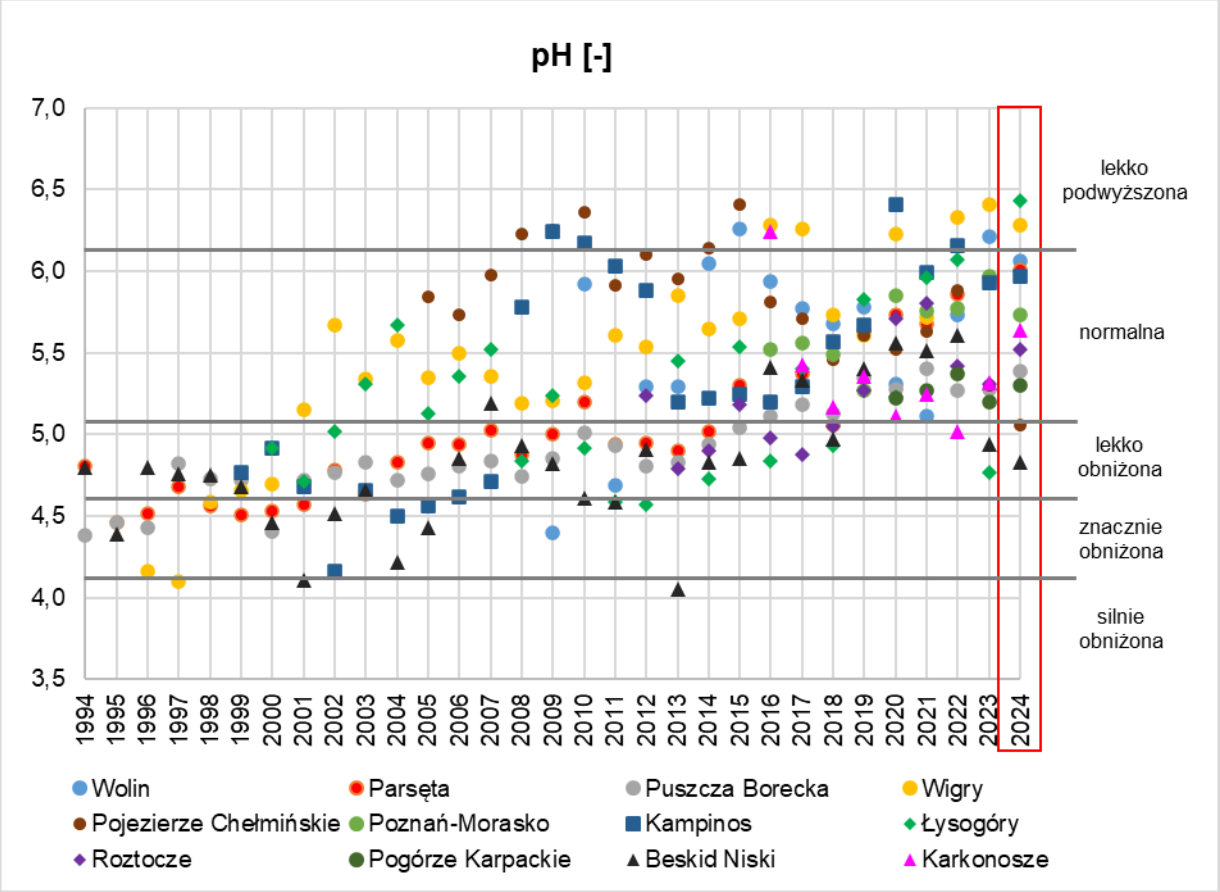
Klasyfikacja odczynu opadów atmosferycznych w 2024 roku hydrologicznym (Ryc. 15) przedstawiała się następująco:

- pH lekko podwyższone stwierdzono w dwóch stacjach: Wigry i Łysogóry;
- pH normalne stwierdzono w ośmiu stacjach: Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Poznań-Morasko, Kampinos, Roztocze, Pogórze Karpackie i Karkonosze;
- pH lekko obniżone stwierdzono w dwóch stacjach: Pojezierze Chełmińskie i Beskid Niski.

W porównaniu z rokiem 2023 odczyn opadów w większości stacji pozostał na podobnym poziomie. Zmiany odnotowano m.in. w stacji Pojezierze Chełmińskie (z pH normalnego w 2023 roku do lekko obniżonego w 2024 roku) oraz w Łysogórach (z pH lekko obniżonego w 2023 roku do lekko podwyższonego w 2024 roku). Na Wolinie z kolei pH, które rok wcześniej było lekko podwyższone, w 2024 roku powróciło do normalnego (Ryc. 18).

Zmienność czasowa odczynu wód opadowych wykazuje korzystną tendencję do zmniejszania zakwaszenia – wzrostu wartości pH w stacjach bazowych ZMŚP. Istotny

statystycznie trend wzrostu pH opadów ($p<0,05$) odnotowano w sześciu stacjach bazowych: Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Kampinos, Roztocze i Beskid Niski. Dziesięcioletni trend spadku kwasowości wynosi od 0,27 w Puszczy Boreckiej do 0,71 pH na Roztoczu (Ryc. 19).

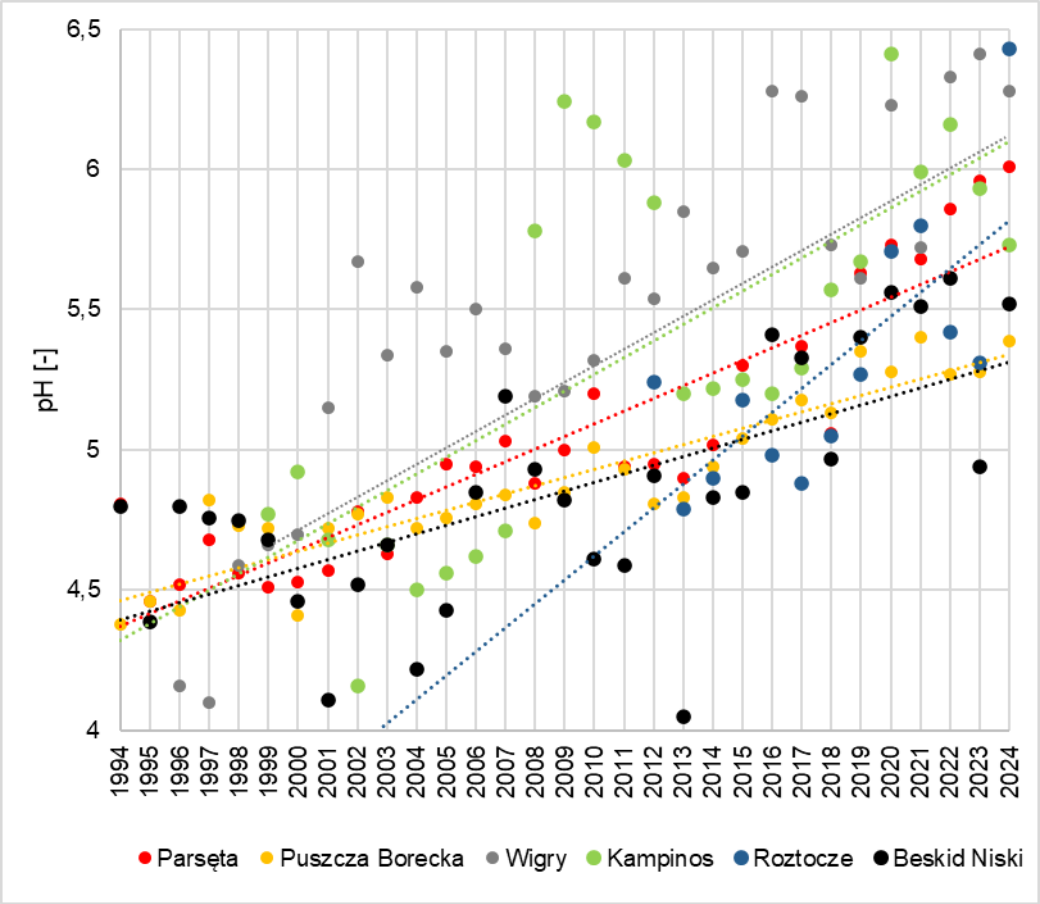


Ryc. 18. Zmienność czasowa kwasowości opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2024 roku hydrologicznym na tle wielolecia

Cechą charakterystyczną zmienności odczynu opadów w Polsce w ostatnich trzech dekadach był znaczny spadek kwasowości opadów atmosferycznych, np. w Stacjach: Parsęta, Puszcza Borecka i Wigry odczyn opadów na poziomie charakterystycznym dla wód znacznie zakwaszonych utrzymywał się do lat dziewięćdziesiątych XX wieku (Ryc. 18). W XXI wieku odczyn wzrósł do lekko obniżonego lub normalnego. Pod względem czasowo-przestrzennym największy progres odczynu opadów odnotowano w Kampinosie, na co wpłynęła m.in. poprawa jakości powietrza atmosferycznego w aglomeracji warszawskiej. Dla stacji położonych w Górach Świętokrzyskich (Łysogóry) oraz dla Wolina nie można stwierdzić istotnej statystycznie tendencji zmiany odczynu opadów (Ryc. 18, Ryc. 19).

Należy podkreślić, że w 2024 roku jakość atmosferycznej dostawy wody do badanych zlewni była dobra. W 2024 roku opady miały raczej niską mineralizację i normalny odczyn.

Mała koncentracja substancji rozpuszczonych i niska kwasowość opadów w 2024 roku w większości geoekosystemów (poza zlewnią Wieńca w Górach Świętokrzyskich) mogą świadczyć o względnie niskiej antropopresji i małej dostawie zanieczyszczeń do atmosfery.



Ryc. 19. Istotne statystycznie trendy wzrostu odczynu (spadku zakwaszenia) opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP – Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Kampinos, Roztocze i Beskid Niski

Wskaźnik udziału czynników kwasogennych w zakwaszaniu opadów atmosferycznych

Wskaźnik udziału czynników kwasogennych w zakwaszaniu opadów atmosferycznych jest zdefiniowany jako stosunek średnich ważonych stężeń jonów NO_3^- i SO_4^{2-} wyrażonych w mikroekwiwalentach na dm^{-3} (Kostrzewski i in. 2007). Jeśli wskaźnik przyjmuje wartość poniżej 1 – w zakwaszaniu większy udział ma SO_4^{2-}, wartości powyżej 1 wskazują na dominację NO_3^- w zakwaszaniu, natomiast wartość 1 dotyczy równoważnego udziału SO_4^{2-} i NO_3^- w zakwaszaniu wód opadowych (Szpikowska 2011). Wskaźnik oblicza się za pomocą formuły:

$WCK = SJ\ NO_3^-/SJ\ SO_4^{2-}$ [-]

gdzie:

WCK – wskaźnik czynników kwasogennych w zakwaszaniu opadów;

SJ NO_3^- – stężenie jonów NO_3^- [meq·dm^{-3}];

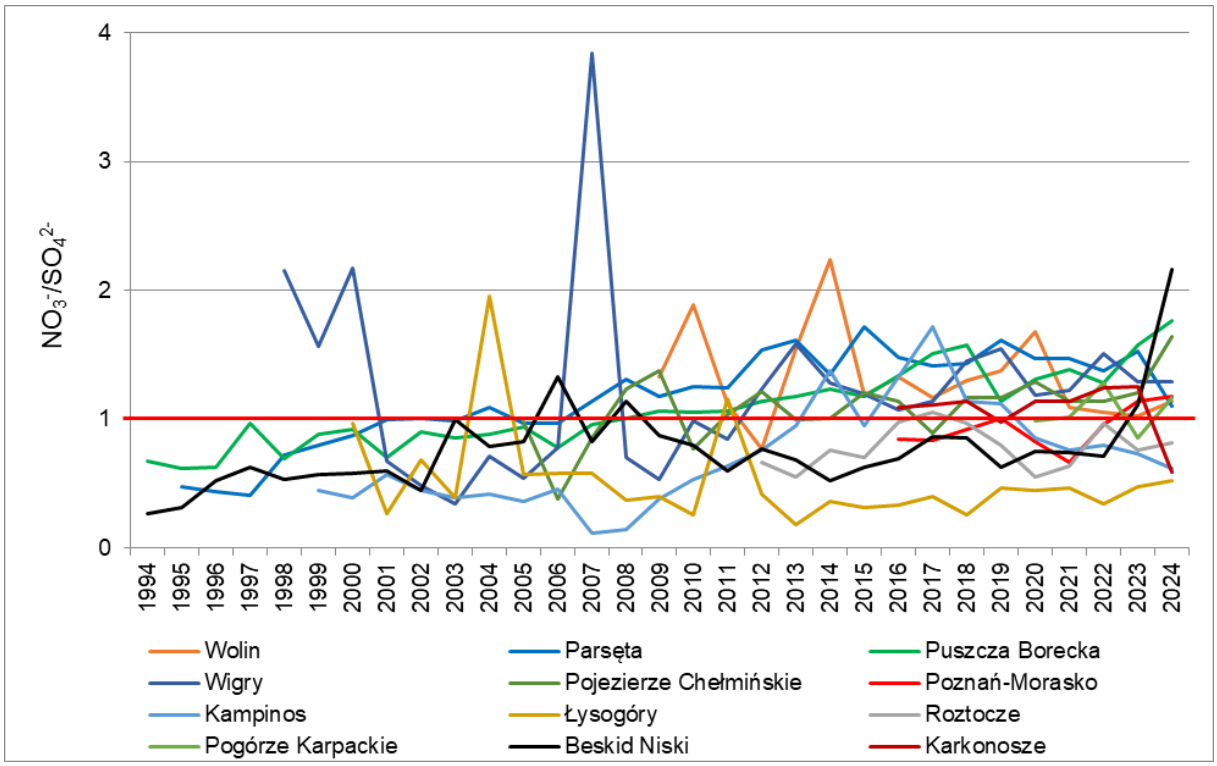
SJ SO_4^{2-} – stężenie jonów SO_4^{2-} [meq·dm^{-3}].

Zmiany zachodzące w chemizmie wód opadowych, podziemnych i powierzchniowych upoważniają do wykorzystywania tego wskaźnika kwasogennego ujmującego relację stężenia jonów azotanowych do jonów siarczanowych. Obecność tych jonów może wskazywać na zmiany zachodzące m.in. w jakości powietrza oraz opadów atmosferycznych, co wywiera wpływ na jakość wody w kolejnych etapach jej obiegu – wód podziemnych i powierzchniowych. Za kwasowość opadów atmosferycznych w około 60-70% odpowiada dwutlenek siarki, zaś tlenki azotu za pozostałe 30-40% (Isidorow, Jaroszyńska 1998).

Analiza wieloletnia (1994-2024) zmienności czasowej wskaźnika udziału czynników kwasogennych w monitorowanych zlewniach wskazuje, że (Ryc. 20):

- od drugiej dekady XXI wieku w większości monitorowanych zlewni utrzymuje się przewaga NO_3^- nad SO_4^{2-}, co świadczy o rosnącym znaczeniu zanieczyszczeń komunikacyjnych;
- do pierwszej dekady XXI wieku na zakwaszenie opadów większy wpływ wywierały zanieczyszczenia ze spalania paliw kopalnych (m.in. wskutek ogrzewania obiektów w sezonie zimowym);
- w 2024 roku większy udział NO_3^- w zakwaszaniu opadów stwierdzono w ośmiu stacjach, głównie w północnej Polsce: Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie, Poznań-Morasko, a także na Pogórzu Karpackim i w Beskidzie Niskim;
- przewagę SO_4^{2-} stwierdzono w stacjach położonych w strefie wyżyn: Łysogóry, Roztocze, a także w Kampinosie i Karkonoszach.

Na podstawie wieloletniej serii pomiarowej, zaobserwowano zależność przestrzenną większego udziału NO_3^- w zakwaszaniu opadów w Polsce północnej i zachodniej, z kolei większego udziału SO_4^{2-} w Polsce południowo-wschodniej. W porównaniu z rokiem 2023 zmiany były niewielkie. W Poznaniu po raz trzeci w dziewięcioletniej serii pomiarowej (i drugi rok z rzędu) stwierdzono przewagę NO_3^-, natomiast w Beskidzie Niskim przewaga NO_3^- utrzymuje się drugi rok z rzędu (wcześniej odnotowana w 2008 roku). Tendencja czasowa wskaźnika udziału czynników kwasogennych ukazuje większą presję w zakwaszaniu opadów czynnika związanego z zanieczyszczeniami komunikacyjnymi (azotany) niż z zanieczyszczeniami pochodzącymi ze spalania paliw kopalnych (siarczany).



Ryc. 20. Zmiany wskaźnika czynników kwasogennych w zakwaszaniu wód opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP w wieloleciu 1994-2024

Wskaźnik chlorkowo-sodowy i stężenie substancji rozpuszczonych w opadach atmosferycznych

O regionalnym zróżnicowaniu antropogenicznego zanieczyszczenia opadów atmosferycznych w strefach krajobrazowych Polski można wnioskować na podstawie wartości stężenia jonów chlorkowych i sodowych. Zawartość sodu oraz chlorków w opadzie atmosferycznym zależy głównie od napływu mas powietrza polarnomorskiego, zasobnego w aerozole pochodzenia morskiego (Cl^- i Na^+). W niezanieczyszczonej wodzie opadowej stężenie jonów Cl^- i Na^+ jest stosunkowo małe (poniżej 5 $mg \cdot dm^{-3}$). Opad atmosferyczny jest stałym rozproszonym źródłem chlorków i sodu występującym na obszarze całego kraju, a ich naturalna koncentracja powinna zmniejszać się w miarę oddalania się od morza. Dlatego najwyższe „naturalne" stężenia jonów Cl^- i Na^+ powinny występować w nadmorskiej strefie nizinnej, na pobrzeżu Bałtyku (Stacja Bazowa Wolin). Niższe stężenia jonów Na^+ i Cl^- w opadach powinny cechować strefę pojezierną Niżu Polskiego (np. Stacje Bazowe Parsęta, Puszcza Borecka, Pojezierze Chełmińskie). Z kolei najniższe stężenia jonów Cl^- i Na^+ powinny być w opadach w stacjach położonych najdalej od strefy nadmorskiej (strefa wyżyn polskich – Stacje Roztocze i Łysogóry oraz strefa gór– Stacje Pogórze Karpackie, Beskid Niski i Karkonosze).

Przestrzenne zróżnicowanie stężenia jonów Cl^- i Na^+ w wodach opadowych w 2024 roku można rozpatrywać w Stacjach Bazowych dla 3 transektów południkowych:

- transekt zachodni obejmuje strefy: nadmorską (Wolin) → pojezierzy (Parsęta, Poznań-Morasko) → gór (Karkonosze);
- transekt środkowy obejmuje strefy: pojezierzy (Pojezierze Chełmińskie) → nizin (Kampinos) → wyżyn (Łysogóry) → gór (Pogórze Karpackie, Beskid Niski);
- transekt wschodni obejmuje strefy: pojezierzy (Puszcza Borecka, Wigry) → wyżyn (Roztocze).

Gradient stężenia jonów Cl^- i Na^+ wyznaczono także w transekcie równoleżnikowym, w strefie młodoglacjalnej Niżu Polskiego (Stacje ZMŚP: Wolin → Parsęta → Puszcza Borecka → Wigry). W transektach południkowych i równoleżnikowym stężenie jonów chlorkowych i sodowych powinno ulegać redukcji w miarę oddalania się od wybrzeża Bałtyku (Tab. 21).

W 2024 roku, podobnie jak w latach wcześniejszych, rozkład przestrzenny stężenia jonów pochodzenia morskiego w Polsce nizinnej wykazywał wyraźną tendencję spadku koncentracji jonów Cl^- i Na^+ wraz z oddalaniem się od wybrzeża Bałtyku. W strefie nadmorskiej (Wolin) średnie ważone stężenie jonów chlorkowych i sodowych było najwyższe (odpowiednio 0,82 i 0,62 mg·dm^{-3}). W miarę oddalania się od strefy nadmorskiej stężenie tych jonów malało i wynosiło: w strefie pojezierzy (średnio dla Stacji: Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie i Poznań-Morasko) Cl^- 0,67 i Na^+ 0,41 mg·dm^{-3}, a w strefie nizin (Kampinos) Cl^- 0,72 i Na^+ 0,31 mg·dm^{-3}. W transekcie równoleżnikowym strefy młodoglacjalnej Niżu Polskiego występował spadek stężenia zarówno chlorków, jak i sodu w opadach – odpowiednio od 0,82 mg Cl·dm^{-3} i 0,62 mg Na·dm^{-3} w Wolinie do 0,47 mg Cl·dm^{-3} i 0,25 mg Na·dm^{-3} w Puszczy Boreckiej oraz 0,48 mg Cl·dm^{-3} i 0,26 mg Na·dm^{-3} w Wigrach. W tym transekcie wyróżniała się stacja Parsęta, gdzie odnotowano wyższe wartości (1,18 mg Cl·dm^{-3} i 0,79 mg Na·dm^{-3}). Było to odstępstwo od spodziewanego gradientu, które wynikało z nieco wyższych niż średnia wieloletnia stężeń w tej stacji, podczas gdy na Wolinie stężenia były niemal dwukrotnie niższe od wartości charakterystycznych dla wielolecia. Warto jednak podkreślić, że stężenia jonów chlorkowych i sodowych pozostają na bardzo niskim poziomie w całej strefie nizinnej.

Średnie stężenia jonów chlorkowych i sodowych w strefie wyżynnej (1,37 mg Cl dm^{-3} i 0,52 mg Na dm^{-3}) były wyższe od występujących w strefie nizinnej i pojeziernej. Stężenie jonów chlorkowych były nawet wyższe niż w regionie nadmorskim, dotyczy to charakterystyki opadów w Górach Świętokrzyskich, ponieważ na Roztoczu stężenia są niższe niż np. w Kampinosie. Taka sytuacja może świadczyć o antropogenicznym zanieczyszczeniu opadów

atmosferycznych, którego źródłem są pobliskie elektrownie, ciepłownie, zakłady przemysłowe, gospodarstwa domowe, jak również komunikacja. Stacja Łysogóry jest podatna na napływ zanieczyszczeń pochodzenia lokalnego, jak również bardziej odległego (głównie z kierunków: zachodniego oraz północno-zachodniego i południowo-zachodniego), poprzez położenie na wyniesieniu (100-300 m ponad otaczające tereny).

Tab. 21. Średnie stężenie substancji rozpuszczonych w wodach opadowych w zlewniach ZMŚP w 2024 roku

Stacja ZMŚP	Strefa krajobrazowa	S-SO_4	N-NO_3	N-NH_4	Cl	Na	K	Mg	Ca
		[mg·dm^{-3}]							
Wolin	nadmorska	0,25	0,25	0,46	0,82	0,62	0,19	0,09	0,51
Parsęta	pojezierzy	0,25	0,24	0,45	1,18	0,79	0,14	0,33	2,93
Puszcza Borecka		0,22	0,34	0,51	0,47	0,25	0,09	0,06	0,17
Wigry		0,30	0,34	0,90	0,48	0,26	0,29	0,14	0,64
Pojezierze Chełmińskie		0,30	0,43	0,66	0,41	0,18	0,15	0,17	0,94
Poznań-Morasko		0,32	0,33	0,65	0,79	0,55	0,22	0,10	0,51
Kampinos	nizin	0,70	0,38	1,27	0,72	0,31	0,32	0,23	1,32
Łysogóry	wyżyn	1,04	0,48	1,78	2,28	0,90	0,38	0,34	1,81
Roztocze		0,35	0,25	0,30	0,46	0,14	0,22	0,08	1,09
Pogórze Karpackie	gór średnich	0,47	0,48	0,52	0,50	0,15	0,16	0,05	1,18
Beskid Niski		0,28	0,53	0,23	0,35	0,25	0,18	0,14	2,02
Karkonosze		0,39	0,20	0,18	0,34	0,79	0,12	0,03	0,22

W zachodnim transekcie południkowym w 2024 roku nie wystąpiła wyraźna tendencja spadku stężeń jonów sodowych i chlorkowych wraz z oddalaniem się od morza. Wyjątkowo niskie stężenia w nadmorskiej Stacji Wolin (0,82 mg Cl·dm^{-3} i 0,62 mg Na·dm^{-3}), które można wiązać z większą frekwencją opadów efektywnych, były niższe w położonej dalej na południe Stacji Parsęta (1,18 mg Cl·dm^{-3} i 0,79 mg Na·dm^{-3}), a także zbliżone do wartości w Poznaniu (0,79 mg Cl·dm^{-3} i 0,55 mg Na·dm^{-3}), na które może wpływać negatywne oddziaływania aglomeracji poznańskiej. W położonych najbardziej na południe Karkonoszach, stężenia jonów chlorkowych były najniższe w transekcie (0,34 mg Cl·dm^{-3}), jednak już stężenia jonów sodowych były porównywalne z tymi z Wolina i Poznania (0,79 mg Na·dm^{-3}). Podwyższone stężenia jonów sodowych w Karkonoszach pojawiły się po zmianie metodyki i pomiarach opadu całkowitego, a nie opadu mokrego. Przyczyny tego zjawiska nie są jednak jednoznaczne

i wymagają dalszych badań, m.in. w kierunku oceny udziału depozycji suchej oraz lokalnych uwarunkowań środowiskowych.

W środkowym transekcie południkowym tendencja spadku stężenia jonów chlorkowych i sodowych wraz z oddalaniem się od morza została wyraźnie zaburzona w strefie wyżynnej. Najwyższe stężenia wystąpiły w Łysogórach (2,28 mg $Cl \cdot dm^{-3}$ i 0,90 mg $Na \cdot dm^{-3}$), a najniższe w Beskidzie Niskim (0,35 mg $Cl \cdot dm^{-3}$ i 0,25 mg $Na \cdot dm^{-3}$). Należy podkreślić poprawę jakości opadów atmosferycznych w strefie gór, gdzie w poprzednich latach notowane były wyższe stężenia niż w Polsce nizinnej. W strefie nizin stężenia były pośrednie – niższe niż na wyżynach, ale wyższe niż w górach (Pojezierze Chełmińskie 0,41 mg $Cl \cdot dm^{-3}$ i 0,18 mg $Na \cdot dm^{-3}$; Kampinos 0,72 mg $Cl \cdot dm^{-3}$ i 0,31 mg $Na \cdot dm^{-3}$).

We wschodnim transekcie południkowym, podobnie jak w zachodnim, nie stwierdzono wyraźnej tendencji spadku stężeń jonów chlorkowych i sodowych w kierunku południowym. Stężenia bardzo zbliżone w całym transekcie: w Puszczy Boreckiej (0,47 mg $Cl \cdot dm^{-3}$ i 0,25 mg $Na \cdot dm^{-3}$, w Wigrach: (0,48 mg $Cl \cdot dm^{-3}$ i 0,26 mg $Na \cdot dm^{-3}$) oraz na Roztoczu 0,46 mg $Cl \cdot dm^{-3}$ i 0,14 mg $Na \cdot dm^{-3}$). Wskazuje to na brak wyraźnej przewagi depozycji morskiej nad lokalnymi źródłami zanieczyszczeń, a w przypadku Roztocza – również na stosunkowo dobrą jakość opadów atmosferycznych.

Wyższe stężenia jonów chlorkowo-sodowych w Polsce południowo-wschodniej, a w szczególności w Górach Świętokrzyskich, mogą być przejawem zanieczyszczenia opadów atmosferycznych, wskutek dominacji napływu mas powietrza z kierunku zachodniego, z uprzemysłowionej i zurbanizowanej części Polski, np. pochodzących z unoszenia pyłów, a także z emisji kwasu solnego i chlorku amonu z zakładów przemysłowych (Sapek 2009). Na stan kontaminacji powietrza w regionie świętokrzyskim wpływ mają zarówno lokalne źródła emisji (elektrownie, ciepłownie, zakłady przemysłowe, gospodarstwa domowe i komunikacja), jak i dalekosiężna migracja zanieczyszczeń przemieszczających się wraz z masami powietrza z kierunków południowego, południowo-zachodniego i zachodniego. Wskazują na to m.in. analizy zdjęć satelitarnych dokumentujące szybki transport pyłów i aerozoli (Kozłowski i in. 2025). Należy jednakże podkreślić, że stężenia chlorków i sodu w całej Polsce były dość niskie i nie przekroczyły wartości 5 $mg \cdot dm^{-3}$.

Analiza średniego stężenia substancji rozpuszczonych w wodach opadowych w 2024 roku wykazała pewne różnice przestrzenne (Tab. 21). Na jakość opadów atmosferycznych większy wpływ wywierały czynniki lokalne (np. użytkowanie terenu) i regionalne (np. oddziaływanie Bałtyku, źródła zanieczyszczeń), a nie kontynentalne (np. cyrkulacja atmosferyczna i napływ mas powietrza).

6.2. Wody podziemne

Stan chemiczny wód podziemnych

Dla oceny stanu chemicznego wód podziemnych wykorzystano zasady określone w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 11 października 2019 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych (Dz. U. 2019, poz. 2148). W przypadku, gdy dysponowano tylko jednym punktem monitoringu wód podziemnych, stan chemiczny określony w punkcie badawczym przyjęto za stan chemiczny całej zlewni. Za stan chemiczny całej zlewni, w której znajduje się kilka punktów badawczych, przyjęto stan najniższy nawet w przypadku gdy określono go tylko w jednym z punktów badawczych.

Zlewnie ZMŚP położone są w następujących jednolitych częściach wód podziemnych (JCWPd): Wolin (5), Parsęta (9), Puszcza Borecka (21), Wigry (22), Pojezierze Chełmińskie (39), Poznań-Morasko (60), Kampinos (64), Łysogóry (102), Roztocze (90), Pogórze Karpackie (149), Beskid Niski (151), Karkonosze (107).

W opracowaniu określono klasy jakości wód podziemnych w zlewniach ZMŚP jedynie dla wybranych (nie wszystkich) elementów fizykochemicznych zawartych w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej (2019):

- elementy ogólne (odczyn, przewodność elektrolityczna);
- elementy nieorganiczne (azotany, jon amonowy, chlorki, fosforany, magnez, potas, siarczany, sód, wapń, wodorowęglany).

W 2024 roku wody podziemne we wszystkich jednolitych częściach wód podziemnych występujących w zlewniach ZMŚP, z wyjątkiem Parsęty, posiadały dobry stan chemiczny (Tab. 22). O zakwalifikowaniu wód tej zlewni do stanu słabego oraz do niezadowalającej klasy jakości wody zaważyły podwyższone zawartości azotu azotanowego. Klasy jakości wody w żadnej z pozostałych zlewni podziemnych nie były gorsze od klasy zadowalającej, dla której wartości elementów fizykochemicznych są podwyższone w wyniku naturalnych procesów zachodzących w wodach podziemnych lub słabego wpływu działalności człowieka. Odczyn wody zakwalifikowany do klasy IV występował w zlewniach położonych w strefie wyżynnej (Łysogóry i Roztocze). Należy zaznaczyć, że niski odczyn wód wynikał z czynników naturalnych i nie wpływał na obniżenie zarówno klasy jakości wody, jak i stanu chemicznego.

Na obszarach nizinnych wody podziemne w większości zlewni zaklasyfikowano do klasy zadowalającej (Puszcza Borecka, Wigry, Poznań-Morasko, Kampinos). Klasę dobrą uzyskały jedynie zlewnie Lewińskiej Strugi (Wolin) i Strugi Toruńskiej (Pojezierze Chełmińskie), natomiast klasę niezadowalającą stwierdzono w zlewni górnej Parsęty.

O zakwalifikowaniu większości zlewni nizinnych do klasy zadowalającej w głównej mierze zdecydowały wyższe stężenia jonów wapnia i wodorowęglanowych. W strefach wyżynnych i górskich o klasie jakości w głównej mierze decydował odczyn. Do klasy dobrej zakwalifikowano tylko Beskid Niski; klasę zadowalającą uzyskały pozostałe cztery zlewnie: Łysogóry, Roztocze, Pogórze Karpackie i Karkonosze. W porównaniu z rokiem 2023 odnotowano poprawę jakości wód podziemnych. Lepszą jakość, w porównaniu z rokiem 2023, stwierdzono w przypadku: odczynu (Karkonosze), przewodności elektrolitycznej właściwej (Wolin i Puszcza Borecka), jonów sodu (Wolin) i jonów chlorkowych (Pogórze Karpackie). W żadnej zlewni nie zanotowano pogorszenia klasy któregokolwiek z elementów fizykochemicznych.

Tab. 22. Klasy jakości wody i stan chemiczny wód podziemnych w zlewniach ZMŚP w 2024 roku wg wybranych elementów fizykochemicznych

Stacja ZMŚP	Odczyn	PEW	Ca	Na	Mg	K	PO_4	HCO_3	Cl	SO_4	NO_3	NH_4	Klasa jakości wody	Stan chemiczny
	[-]	[mS·m^{-1}]	[mg·dm^{-3}]											
Wolin	I	II	II	I	I	I	I	I	II	II	I	I	dobra	dobry
Parsęta	I	I	II	I	I	I	I	I	I	I	IV	I	niezadowalająca	słaby
Puszcza Borecka	I	I	III	I	I	I	bd	III	I	I	I	I	zadowalająca	dobry
Wigry	I	II	III	I	I	I	bd	II	I	I	II	I	zadowalająca	dobry
Pojezierze Chełmińskie	I	I	I	I	I	I	I	II	I	I	I	I	dobra	dobry
Poznań-Morasko	I	II	III	I	I	I	I	III	II	II	I	I	zadowalająca	dobry
Kampinos	I	II	III	I	I	I	bd	III	I	II	I	I	zadowalająca	dobry
Łysogóry	IV	I	I	I	I	I	I	I	II	I	I	I	zadowalająca	dobry
Roztocze	IV	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	zadowalająca	dobry
Pogórze Karpackie	III	I	II	I	I	I	I	I	I	I	III	I	zadowalająca	dobry
Beskid Niski	I	I	II	I	I	I	I	II	I	I	II	I	dobra	dobry
Karkonosze	III	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	zadowalająca	dobry

Klasy jakości: I bardzo dobra, II dobra, III zadowalająca, IV niezadowalająca, V zła

6.3. Wody powierzchniowe

Stężenie substancji rozpuszczonych w wodach rzecznych i klasyfikacja elementów fizyko-chemicznych wód powierzchniowych

W 2024 roku monitoring fluwialnego odpływu wody i substancji rozpuszczonych prowadzono w 11 ciekach wodnych. Jedynie dla odpływu z jeziora Łękuk (Puszcza Borecka) niemożliwe było prowadzenie tego zadania ze względu na zakłócenia odpływu wody w cieku spowodowane działalnością bobrów.

Odpływ fluwialny stanowi podstawową drogę odprowadzania substancji rozpuszczonych. W odpływie rzecznym najważniejszym źródłem dostawy substancji rozpuszczonych jest dostawa atmosferyczna i zasilanie z drenażu wód podziemnych. Badania ZMŚP wykazują, że w znacznym stopniu na skład chemiczny wód rzecznych wpływa działalność człowieka, szczególnie na obszarach zurbanizowanych oraz intensywnie wykorzystywanych rolniczo (Szpikowski 2012).

Analiza składu chemicznego wód rzecznych w 2024 roku podobnie jak w poprzednich latach pozwoliła zakwalifikować je wg klasyfikacji Altowskiego i Szwieca (Macioszczyk 1987) do wód prostych o następujących typach hydrochemicznych:

- wodorowęglanowo-wapniowy (Lewińska Struga, Świerszcz, Bystrzanka);
- wapniowo-wodorowęglanowo-siarczanowych (Parsęta, Kanał Olszowiecki);
- wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowy (Czarna Hańcza, Struga Toruńska, Stara Rzeka);
- wapniowo-wodorowęglanowo-chlorkowych (Różany Strumień);
- siarczanowo-chlorkowo-wapniowo-magnezowo-sodowy (Wieniec);
- siarczanowo-wodorowęglanowo-wapniowo-sodowych (Wrzosówka).

Mineralizacja wód rzecznych i transport ładunku substancji rozpuszczonych determinowane są przepływem wody. Dynamika przewodności elektrolitycznej właściwej (SEC – wskaźnik mineralizacji wód rzecznych) zależy od wielkości przepływu i wykazuje zależność odwrotnie proporcjonalną. Najwyższe wartości SEC występują podczas niskich stanów wód, kiedy w wodach rzecznych jest znaczący udział wysoko zmineralizowanych wód podziemnych. Natomiast najniższe wartości SEC występują podczas wysokiego przepływu wody, zwłaszcza w trakcie wezbrań roztopowych i opadowych, kiedy wody rzeczne ulegają rozcieńczaniu w wyniku znacznej dostawy niskozmineralizowanego deszczu i śniegu. Przewodność elektrolityczna właściwa (SEC) w 2024 roku cechowała się dużym zróżnicowaniem przestrzennym (Tab. 23). Mineralizacja wód była zbliżona do wartości notowanych w latach wcześniejszych – zarówno suchych, jak i wilgotnych, o zróżnicowanych przepływach – co wskazuje na ograniczony wpływ bieżących warunków meteorologicznych na przewodność wód rzecznych w badanych geoekosystemach. Najwyższą przewodność elektrolityczną właściwą, podobnie jak w latach poprzednich, zarejestrowano w Strudze Toruńskiej (92,50 $mS \cdot m^{-1}$) i Różanym Strumieniu (93,52 $mS \cdot m^{-1}$), co związane było m.in. ze znacznymi przekształceniami antropogenicznymi zlewni (zmiany użytkowania terenu, deforestacja zlewni dla potrzeb urbanizacji i rolnictwa) oraz dostawą zanieczyszczonych wód

do cieków – mocno zmineralizowanych wód ze spływu powierzchniowego i podziemnego z obszarów rolniczych (nawozy) i miejskich (ścieki). W pozostałych ciekach nizinnych (Lewińska Struga, Parsęta, Czarna Hańcza i Kanał Olszowiecki) wartości SEC mieściły się w przedziale 32,64 do 60,93 $mS \cdot m^{-1}$. Najniższą wartość przewodności elektrolitycznej stwierdzono we Wrzosówce w Karkonoszach (2,11 $mS \cdot m^{-1}$). W strefie wyżynnej (średnia mineralizacja 19,63 $mS \cdot m^{-1}$) i górskiej (średnia mineralizacja 25,47 $mS \cdot m^{-1}$) (Tab. 23) odpływ wody ze zlewni jest szybszy i udział nisko zmineralizowanych wód opadowych w systemie rzecznym jest największy. Zmienność przestrzenna wartości SEC w 2024 roku była zależna od litologii utworów przypowierzchniowych zlewni i związanej z nią jakości drenowanych wód podziemnych, typu zasilania wód rzecznych, reżimu odpływu wody oraz w mniejszym stopniu od uwarunkowań pogodowych. Prawidłowością odpływu materii rozpuszczonej w systemie fluwialnym jest większy jej ładunek w strefie nizinnej niż wyżynnej, a zwłaszcza w strefie górskiej. W regionach nizinnych przeważają procesy denudacji chemicznej (materia rozpuszczona w ciekach), a w regionach górskich dominują procesy denudacji mechanicznej (materia zawieszona i wleczona w ciekach).

Tab. 23. Średnie stężenie substancji rozpuszczonych w wodach rzecznych w zlewniach ZMŚP w 2024 roku

Stacja (zlewnia)	Strefa krajobrazowa	$S\text{-}SO_4$	$N\text{-}NO_3$	$N\text{-}NH_4$	Cl	Na	K	Mg	Ca	HCO_3	SEC	pH
		[$mg \cdot dm^{-3}$]									[$mS \cdot m^{-1}$]	[-]
Wolin (Lewińska Struga)	nadmorska	7,53	0,13	0,05	17,40	11,69	2,35	6,00	45,37	143,19	32,64	7,32
Parsęta (Parsęta)	pojezierzy	14,43	1,89	0,31	7,79	5,87	2,21	4,87	75,72	193,28	39,70	7,84
Wigry (Czarna Hańcza)		8,62	2,51	0,16	27,05	19,36	6,82	11,96	71,15	268,18	57,19	8,18
Pojezierze Chełmińskie (Struga Toruńska)		34,90	10,05	0,26	61,80	20,40	9,88	19,02	157,00	331,00	92,50	7,90
Poznań-Morasko (Różany Strumień)		30,90	2,72	0,11	80,05	41,05	4,28	13,38	147,76	371,06	93,52	7,86
Kampinos (Kanał Olszowiecki)	nizin	46,77	2,55	0,06	22,61	10,94	1,31	11,47	108,08	169,75	60,93	7,20
Łysogóry (Wieniec)	wyżyn	13,89	0,82	0,20	9,10	5,78	0,77	3,20	13,79	8,68	16,05	6,50
Roztocze (Świerszcz)		4,53	0,21	0,17	2,40	2,16	0,96	1,41	43,31	125,50	23,20	7,50
Pogórze Karpackie (Stara Rzeka)	gór średnich	13,51	0,59	0,05	25,30	19,07	3,54	13,01	66,67	229,10	46,70	7,83
Beskid Niski (Bystrzanka)		6,21	1,08	0,02	5,88	10,40	3,48	5,08	39,30	146,10	27,60	6,93
Karkonosze (Wrzosówka)		1,85	0,14	0,03	0,76	1,48	0,28	0,38	1,47	3,19	2,11	5,75

Odczyn wód rzecznych w 2024 roku również był zbliżony do wartości z lat wcześniejszych, jednak cechował się mniejszym zróżnicowaniem przestrzennym niż mineralizacja wody. Zdecydowana większość cieków miała odczyn obojętny ~8 pH. Jedynie cieki górskie (Wieniec w Górach Świętokrzyskich i Wrzosówka w Karkonoszach) posiadały odczyn bardziej kwaśny, poniżej 6,5 pH. Kwaśny odczyn w tych ciekach nie był jednak wynikiem zanieczyszczenia antropogenicznego, ale był efektem budowy geologicznej i rozpuszczania kwaśnych skał magmowych. Monitorowane cieki odznaczały się dominacją w miarę stabilnego w ciągu roku zasilania podziemnego. Na jakość wód rzecznych (m.in. mineralizacji i odczynu wody) nie wpłynęły nawet ekstremalne zdarzenia hydrologiczne (Tab. 17) związane z ograniczonym odpływem wody w niektórych zlewniach (np. Różany Strumień, Kanał Olszowiecki).

Zasady klasyfikacji i oceny stanu wód powierzchniowych zawarte są w Rozporządzeniu 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, które w zakresie swojej regulacji wdraża rapową dyrektywę wodną oraz dyrektywy ją zmieniające. Ocenę stanu wód powierzchniowych wykonuje się w odniesieniu do jednolitych części wód (JCWP).

Zlewnie rzeczne ZMŚP występują w następujących jednolitych częściach wód powierzchniowych:

- Wolin (Lewińska Struga RW60001035569),
- Parsęta (Parsęta od źródeł do Gęsiej RW6000104417),
- Puszcza Borecka (Żabinko LW30555),
- Wigry (Czarna Hańcza do jez. Wigry RW8000096439),
- Pojezierze Chełmińskie (Bacha od Zgnijki do ujścia RW20001128989),
- Poznań-Morasko (Warta od Kopli do Wełny RW600012185999),
- Kampinos (Kanał Olszowiecki RW2000152729689),
- Łysogóry (Pokrzywianka RW2000062348529),
- Roztocze (Wieprz od Jacynki do zb. Nielisz RW20000624179),
- Pogórze Karpackie (Gróbka do Wyrwy RW2000092139439),
- Beskid Niski (Ropa od zb. Klimkówka do Sitniczanki RW2000042182779),
- Karkonosze (Wrzosówka do Podgórnej RW60000216287).

Na ocenę stanu wód powierzchniowych składa się ocena stanu (potencjału) ekologicznego oraz ocena stanu chemicznego. Stan/potencjał ekologiczny ocenia się z kolei na podstawie wyników badań elementów biologicznych, które są decydujące oraz wspierających je wskaźników fizykochemicznych i hydromorfologicznych. Zakres realizowanego programu ZMŚP wody powierzchniowe – rzeki umożliwia dokonanie klasyfikacji wybranych elementów fizykochemicznych wody. Wartości graniczne fizykochemicznych elementów jakości wód odnoszą się do Rozporządzenia 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. W zlewniach ZMŚP w 2024 roku monitoring jakości wód płynących dotyczył następującego zakresu (Tab. 24):

- wskaźniki charakteryzujące stan fizyczny, w tym warunki termiczne: temperatura wody;
- wskaźniki charakteryzujące warunki tlenowe (warunki natlenienia) i zanieczyszczenia organiczne: tlen rozpuszczony;
- wskaźniki charakteryzujące zasolenie (przewodność, siarczany, wapń, magnez, chlorki);
- wskaźniki charakteryzujące zakwaszenie (odczyn);
- wskaźniki charakteryzujące warunki biogenne (azot amonowy, azot azotanowy, fosfor ogólny).

W oparciu o powyższe wskaźniki fizykochemiczne można stwierdzić, że stan elementów fizykochemicznych pozostaje na podobnym poziomie od roku 2016, choć w 2024 roku zaznaczyło się nieznaczne pogorszenie. W 2024 roku tylko w dwóch ciekach – Lewińskiej Strudze i Świerszczu – średni stan badanych elementów fizykochemicznych odpowiadał normom stanu dobrego, choć i tam pojedyncze wskaźniki zaklasyfikowano do II klasy (BZT_5 w Lewińskiej Strudze oraz odczyn w Świerszczu). W pozostałych dziewięciu ciekach (Parsęta, Czarna Hańcza, Struga Toruńska, Różany Strumień, Kanał Olszowiecki, Wieniec, Stara Rzeka, Bystrzanka i Wrzosówka) klasyfikacja wskazuje na stan poniżej dobrego (Tab. 24). Należy jednak podkreślić, że w wielu przypadkach obniżenie klasy nie wynikało z antropopresji, lecz z naturalnych uwarunkowań geochemicznych zlewni. Dotyczy to zwłaszcza podwyższonych stężeń jonów wapnia i magnezu, związanych z litologią (np. iły warwowe i pyły bogate w wapń w zlewni Kanału Olszowieckiego), czy siarczanów, których źródłem może być rozkład materii organicznej w siedliskach bagiennych i torfowych. Podobnie w przypadku Czarnej Hańczy czy

Parsęty wysokie wartości niektórych wskaźników są charakterystyczne dla naturalnych procesów zachodzących w systemie wodnym, a nie dla presji antropogenicznej. Z kolei w zlewniach rolniczych i miejskich (Struga Toruńska, Różany Strumień) obniżenie klasy rzeczywiście może mieć związek z działalnością człowieka.

Tab. 24. Klasyfikacja wybranych elementów fizykochemicznych wód płynących w zlewniach ZMŚP w 2024 roku wg Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021

Stacja ZMŚP (zlewnia)	Temperatura	O_2	BZT_5	Odczyn	PEW	Ca	Mg	PO_4	Cl	SO_4	$N\text{-}NO_3$	$N\text{-}NH_4$	Klasyfikacja elementów fizykochemicznych
	[°C]	[mg·dm^{-3}]		[-]	[mS·m^{-1}]	[mg·dm^{-3}]							
Wolin (Lewińska Struga)	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2 dobra
Parsęta (Parsęta)	1	1	1	<2	1	2	1	1	1	1	1	1	<2 poniżej dobrego
Wigry (Czarna Hańcza)	1	1	1	2	2	1	<2	bd	<2	I	<2	2	<2 poniżej dobrego
Pojezierze Chełmińskie (Struga Toruńska)	1	1	1	1	<2	<2	<2	1	<2	<2	<2	2	<2 poniżej dobrego
Poznań-Morasko (Różany Strumień)	1	1	1	1	<2	<2	1	1	<2	<2	2	1	<2 poniżej dobrego
Kampinos (Kanał Olszowiecki)	1	2	1	1	<2	<2	<2	bd	2	<2	<2	1	<2 poniżej dobrego
Łysogóry (Wieniec)	1	1	1	<2	1	1	1	1	1	1	1	1	<2 poniżej dobrego
Roztocze (Świerszcz)	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2 dobra
Pogórze Karpackie (Stara Rzeka)	1	1	2	<2	2	<2	2	<2	2	1	1	1	<2 poniżej dobrego
Beskid Niski (Bystrzanka)	1	1	1	<2	2	1	1	<2	2	1	2	1	<2 poniżej dobrego
Karkonosze (Wrzosówka)	1	1	1	<2	1	1	1	1	1	1	1	1	<2 poniżej dobrego

Ocenę jakości wód jeziornych zlewni ZMŚP dokonano w oparciu o wybrane (nie wszystkie) wskaźniki fizykochemiczne zawarte w Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z 2021 r.:

- wskaźniki charakteryzujące warunki tlenowe i zanieczyszczenia organiczne (tlen rozpuszczony);
- wskaźniki charakteryzujące zasolenie (przewodność);
- grupa wskaźników charakteryzujących warunki biogenne (fosfor ogólny).

Analiza powyższych 3 wskaźników fizykochemicznych w 2024 roku pozwoliła na zakwalifikowanie jezior: Gardno (Stacja Wolin), Czarnego (Stacja Parsęta), Łękuk (Stacja

Puszcza Borecka) oraz Kamionkowskiego (Stacja Pojezierze Chełmińskie) do bardzo dobrej klasy jakości wody (Tab. 25).

Tab. 25. Jakość wód stojących w 2024 roku wg wybranych elementów fizykochemicznych (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021)

Stacja Bazowa ZMŚP Jezioro	Wolin Gardno	Parsęta Czarne	Poj. Chełmińskie Kamionkowskie	Puszcza Borecka Łękuk
Tlen rozpuszczony [mg O_2/l]	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra
Przewodność [mS·cm^{-1}]	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra
Fosfor ogólny [mg·dm^{-3}]	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra

Zagrożenie eutrofizacją wód powierzchniowych

Eutrofizacja jest naturalnym procesem przyrodniczym, który w przypadku oligotroficznych jezior polodowcowych oznacza proces stopniowego, wieloletniego użyźniania i wypełniania zbiornika jeziornego materiałem pochodzenia autochtonicznego i allochtonicznego. Końcowym etapem naturalnej eutrofizacji jest przekształcanie jezior w bagna i torfowiska oraz późniejsza ich przemiana w ekosystemy lądowe. W ostatnim czasie można obserwować przyspieszoną eutrofizację w wyniku antropogenicznych zmian użytkowania terenu w zlewniach, m.in. poprzez wylesienia, rozwój rolnictwa i urbanizację. Aktualne przyspieszenie eutrofizacji jest wynikiem zwiększonej dostawy zanieczyszczeń, głównie biogenów pochodzących ze ścieków bytowo gospodarczych i przemysłowych oraz w wyniku stosowania nawozów w rolnictwie (Withers i in. 2014). Również antropogeniczne zmiany użytkowania terenu (np. z leśnych na rolne) generują przyspieszenie eutrofizacji wód powierzchniowych, w wyniku szybszego krążenia wody w przekształconych geoekosystemach i dostawy nutrientów. Pierwiastkami sprzyjającymi rozwojowi glonów i makrofitów wodnych są węgiel, azot i fosfor. Nadmierne stężenie związków azotu, a zwłaszcza fosforu powoduje eutrofizację, czyli i nadmierny, niepożądany wzrost niepożądanych organizmów żywych (glonów oraz wyższych form życia roślinnego), zarówno w wodach jeziornych jak i rzecznych, w wyniku czego następują niepożądane zakłócenia biologicznych stosunków w środowisku wodnym oraz pogorszenie jakości tych wód. „W środowisku wodnym najczęściej spotykana jest sytuacja, gdy występuje nadmiar węgla i azotu, tzn. ograniczanie wielkości produkcji pierwotnej powodowane jest niedoborem fosforu, z czego wynika zagrożenie szybkiego przyrostu biomasy roślin, ze wszystkimi negatywnymi konsekwencjami, w wyniku zwiększonego zasilania wód tym pierwiastkiem” (Rynkiewicz 2007). W związku z powyższym

największe zagrożenie eutrofizacją dla wód powierzchniowych występuje w przypadku przekroczenia norm stężenia fosforu.

Eutrofizacja jest jednym z największych zagrożeń dla jakości wód powierzchniowych, dlatego określenie stopnia eutrofizacji wód jest niezbędne dla wypełnienia dyrektyw Unii Europejskiej, m.in. ściekowej 91/271/EWG, azotanowej 91/676/EWG i ramowej dyrektywy wodnej 2000/60/WE.

Poniżej przedstawiono analizę wyników uzyskanych w ramach programu H1 pod kątem zagrożenia wystąpienia zjawiska eutrofizacji. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z 2021 r., sposób oceny osiągnięcia celów środowiskowych dla obszarów wrażliwych na eutrofizację wywołaną zanieczyszczeniami pochodzącymi ze źródeł komunalnych uwzględnia wyniki oceny stanu wód oraz wartości osiągniętych wskaźników biologicznych i elementów fizykochemicznych z grup wskaźników chrakteryzujących warunki tlenowe i warunki biogenne. Spośród wskazanych elementów w ramach ZMŚP w wodach powierzchniowych rzecznych bada się tlen rozpuszczony, BZT5, azot azotanowy i fosfor ogólny. W związku z tym ocena zagrożenia eutrofizacją w zlewniach eksperymentalnych ZMŚP ma charakter cząstkowy i jest jedynie pewnym przybliżeniem. Dotrzymanie norm dla stanu dobrego (1 lub 2 klasa) oznacza brak eutrofizacji.

W 2024 roku, przy uwzględnieniu ograniczonego zakresu badań, zagrożenie eutrofizacją można stwierdzić w pięciu ciekach, przy czym odpowiadały za to różne elementy fizykochemiczne: w Czarnej Hańczy i Strudze Toruńskiej – przekroczenia norm stanu dobrego dla azotu azotanowego, w Kanale Olszowieckim – dla azotu azotanowego i tlenu rozpuszczonego, a w Starej Rzece i Bystrzance – dla fosforu ogólnego (Tab. 26). Przekroczenie wartości progowych stężenia związków azotu w Strudze Toruńskiej można wiązać z rolniczym użytkowaniem zlewni i nawożeniem azotowym. W przypadku Kanału Olszowieckiego sytuacja mogła być efektem niskich stanów wód i niewielkich przepływów – w 2021 roku, przy wyższych stanach i przepływach, wskaźnik ten mieścił się w 1 klasie jakości. W pozostałych sześciu monitorowanych ciekach dostępne dane nie wskazują na zagrożenie eutrofizacją.

W 2024 roku, z pewnym prawdopodobieństwem z uwagi na ograniczony zakres badań, zagrożenie eutrofizacją można stwierdzić w pięciu ciekach, przy czym wpływ na to miały różne elementy fizykochemiczne: w Czarnej Hańczy i Strudze Toruńskiej – przekroczenia norm stanu dobrego dla azotu azotanowego, w Kanale Olszowieckim – dla azotu azotanowego i tlenu rozpuszczonego, a w Starej Rzece i Bystrzance – dla fosforu ogólnego (Tab. 26). Przekroczenie wartości progowych stężenia związków azotu w Strudze Toruńskiej wynika z rolniczego użytkowania zlewni i stosowania nawozów azotowych. W przypadku Kanału Olszowieckiego

sytuacja mogła być spowodowana niskimi stanami wód i niewielkimi przepływami. W 2021 r. przy wyższych stanach wód i przepływach wskaźnik ten był na poziomie 1 klasy. W pozostałych sześciu ciekach, w oparciu o dostępne dane, zagrożenie eutrofizacji wód płynących prawdopodobnie nie występuje.

Określone Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z 2021 r. wartości progowe stanu dobrego dla zawartości fosforu, jedynego elementu fizykochemicznego badanego w ramach programu H2 – Wody powierzchniowe – jeziora, który można wykorzystać do oceny zagrożenia wód eutrofizacją, w 2024 roku nie zostały przekroczone w żadnym z badanych jezior (Tab. 27), a zatem można przypuszczać, że badane jeziora nie są zagrożone eutrofizacją.

Tab. 26. Wskaźniki eutrofizacji rzek w Stacjach ZMŚP w 2024 roku

Stacja – *ciek*	$P_{og.}$ [mg·dm^{-3}]	$N\text{-}NO_3^-$ [mg·dm^{-3}]	O_2 [mg·dm^{-3}]	BZT5 [mg·dm^{-3}]
Wolin – *Lewińska Struga*	1	1	1	2
Parsęta – *Parsęta*	1	1	1	1
Wigry – *Czarna Hańcza Ujście*	bd	<2	1	1
Poj. Chełmińskie – *Struga Toruńska*	1	<2	1	2
Poznań-Morasko – *Różany Strumień*	1	2	2	1
Kampinos – *Kanał Olszowiecki*	bd	<2	<2	1
Łysogóry – *Wieniec*	1	1	1	1
Roztocze – *Świerszcz Malowany Most*	1	1	1	1
Pogórze Karpackie – *Stara Rzeka*	<2	1	1	2
Beskid Niski – *Bystrzanka*	<2	2	1	1
Karkonosze – *Wrzosówka*	1	1	1	1

Tab. 27. Wskaźniki eutrofizacji jezior w Stacjach ZMŚP w 2024 roku

Stacja – *jezioro*	$P_{og.}$ [mg·dm^{-3}]
Wolin – *Jezioro Gardno*	0,006
Parsęta – *Jezioro Czarne*	0,010
Puszcza Borecka – *Jezioro Łękuk*	0,118
Pojezierze Chełmińskie – *Jezioro Kamionkowskie*	0,024

6.4. Bilans jonów denudacyjnych i biogennych

Obieg materii rozpuszczonej w zlewni jest odzwierciedleniem naturalnych procesów hydrometeorologicznych (m.in. zasilania opadowego, migracji w postaci spływu powierzchniowego i wodami podziemnymi, odpływu fluwialnego) i hydrochemicznych (m.in. wietrzenia i denudacji chemicznej głównie „jonów denudacyjnych", np. siarczany, chlorki, sód, magnez, wapń) oraz działalności antropogenicznej (m.in. dostawy zanieczyszczeń np. „jonów biogennych": azotanów, fosforanów, potasu).

Dla określenia bilansu denudacyjnego substancji rozpuszczonych konieczne jest rozpoznanie warunków wodnych, ponieważ obieg wody w zlewni odgrywa podstawową rolę w przepływie materii (Kostrzewski, Pulina 1992; Kostrzewski i in. 1995; Grodzińska, Laskowski 1996; Mazurek 2000). Przy określaniu bilansu denudacyjnego zlewni niezbędne jest określenie dopływu i odpływu ładunku substancji rozpuszczonych, będących funkcją ilości wody i stężenia substancji chemicznych (Michalska, Szpikowski 2000). Dopływ materii rozpuszczonej mierzony jest za pomocą ładunku substancji chemicznych wnoszonego poprzez wody opadowe (Szpikowska 2004). Natomiast odpływ analizowany jest za pomocą pomiarów ładunku substancji rozpuszczonych w cieku odwadniającym obszar zlewni. Ilość materii odpływającej w korycie rzecznym jest przybliżonym odbiciem aktualnych procesów geochemicznych zachodzących na obszarze zlewni (Froehlich 1982; Kostrzewski, Pulina 1992; Kostrzewski i in. 1995; Tylkowski 2005; Szpikowska, Tylkowski 2006).

Bilans denudacyjny uwzgledniający bilans wodny i materii rozpuszczonej stanowi syntetyczne odbicie zarówno ilościowych jak i jakościowych cech obiegu wody w badanych zlewniach ZMŚP. W opracowaniu przedstawiono bilans jonowy zlewni rzecznych ZMŚP dla 2024 roku, który stanowi różnicę ładunku substancji rozpuszczonych wnoszonego z wodami opadowymi i odpływającego w wodach rzecznych (Tab. 28). W bilansie denudacyjnym uwzględniono tylko jony mierzone zarówno w wodach opadowych, jak i rzecznych. Uwzględniono jony, których głównym źródłem jest denudacja chemiczna (SO_4, Cl, Na, Mg, Ca) oraz dostawa biogeniczna (NO_3, NH_4, K). Analiza bilansu denudacyjnego została przeprowadzona dla zlewni eksperymentalnych od źródła cieku do profilu zamykającego zlewnię. Nie analizowano bilansu denudacyjnego dla zlewni różnicowych Czarnej Hańczy (Wigry) i Strugi Toruńskiej (Pojezierze Chełmińskie).

Analiza bilansu jonowego dla zlewni ZMŚP w ostatnich latach wykazała dodatni budżet dla jonów pochodzenia biogenicznego i dostarczanych przez działalność człowieka (np. poprzez nawożenie) – NO_3, NH_4 i K. Pozostałe składniki chemiczne (jony denudacyjne) występujące w wodach krążących w zlewni cechują się ujemnym bilansem. Ujemny bilans

jonów denudacyjnych jest efektem przewagi ługowania gleb, wietrzenia chemicznego i dalszego ich odprowadzania fluwialnego nad ich dostawą wraz z opadami atmosferycznymi.

We wszystkich poprzednich latach w zlewniach o największej antropopresji zauważyć można było ekstremalnie ujemny bilans jonów denudacyjnych. Zwiększony odpływ materii rozpuszczonej w tych zlewniach, związany był ze znacznym udziałem powierzchni o rolniczym użytkowaniu, które wpływają na szybsze odprowadzanie substancji rozpuszczonych ze zlewni, np. Beskid Niski oraz Parsęta. W zlewniach o dużym udziale lasów (np. Wolin, Roztocze, Karkonosze) znaczna ilość wody i ładunku substancji rozpuszczonych była przechwytywana przez roślinność. Obieg wody w tych zlewniach był spowolniony, co spowodowało że bilans jonów denudacji chemicznej był względnie najniższy. Specyficzna sytuacja występowała w zlewniach o ograniczonym odpływie wody w rzekach, np. Kanał Olszowiecki i Wieniec. W tych zlewniach sezonowo dochodziło do zaniku odpływu fluwialnego, dlatego bilans jonów denudacyjnych w niektórych latach cechował się bilansem dodatnim, co było sytuacją anormalną.

Dla jonów biogennych w poprzednich latach ujemny bilans stwierdzono w zlewniach o znacznym udziale gruntów rolnych (Parsęta, Różany Strumień, Beskid Niski). Na ujemny bilans jonów potasowych w tych zlewniach wpływało przede wszystkim nadmierne wprowadzanie związków potasu i azotu wraz z nawozami rolniczymi oraz w mniejszym stopniu dopływ ścieków gospodarczych. Dodatni bilans biogenów występował zwłaszcza w zlewniach o znacznym udziale obszarów leśnych (np. Wolin, Roztocze, Karkonosze). W tych zlewniach dostarczane z opadami atmosferycznymi nutrienty wykorzystywane były w procesach związanych z rozwojem roślin i w niewielkim stopniu dostarczane były do wód gruntowych i dalej do cieków wodnych.

W 2024 roku sytuacja hydrometeorologiczna kształtująca bilans wodny i warunki obiegu wody, a także krążenia materii rozpuszczonej w zlewniach ZMŚP w większości zlewni nawiązywała do prawidłowości wieloletniej. Wyjątek stanowiły zlewnie Lewińskiej Strugi i Wieńca, w których odnotowano wyjątkowo wysoki ujemny bilans substancji rozpuszczonych. Zjawisko to można wiązać z bardzo dużym odpływem fluwialnym, w znacznym stopniu przypadającym na półrocze chłodne, kiedy przechwytywanie jonów przez roślinność jest ograniczone. We wszystkich zlewniach stwierdzono ujemny bilans jonów denudacyjnych. Dodatni bilans jonów biogennych wystąpił w większości zlewni (np. Kanał Olszowiecki 11,1 $kg \cdot ha^{-1}$, Wieniec 25,5 $kg \cdot ha^{-1}$, Wrzosówka 8,1 $kg \cdot ha^{-1}$). Ujemny bilans nutrientów stwierdzono jedynie w Lewińskiej Strudze (-1,9 $kg \cdot ha^{-1}$) oraz w Bystrzance (-4,7 $kg \cdot ha^{-1}$), w których dostawa biogenów z opadami atmosferycznymi była niższa niż ich odpływ

systemem rzecznym. Wysoki dodatni bilans jonów biogennych występował w zlewniach najbardziej zalesionych, natomiast ujemny, bądź niski dodatni bilans nutrientów związany był z wprowadzaniem nutrientów w związku z nawożeniem gruntów ornych (Beskid Niski) lub z wyjątkowo wysokim odpływem fluwialnym (Wolin).

Najniższy całkowity bilans materii rozpuszczonej w 2024 roku stwierdzono w Lewińskiej Strudze (-659,6 $kg \cdot ha^{-1}$), co było wynikiem wyjątkowo dużego odpływu fluwialnego i należy traktować jako sytuację odstającą od prawidłowości wieloletniej. W pozostałych zlewniach najniższe wartości bilansu (Tab. 28) stwierdzono w zlewniach podlegających największej dynamice energii (woda) i materii (substancje rozpuszczone): Parsęta -290,9 $kg \cdot ha^{-1}$, Pogórze Karpackie -244,5 $kg \cdot ha^{-1}$ i Beskid Niski -254,5 $kg \cdot ha^{-1}$. W tych zlewniach obieg energii (wody) i materii (substancji rozpuszczonych) w 2024 roku był najmniej zaburzony w odniesieniu do prawidłowości wieloletniej. Warto podkreślić, że w niektórych zlewniach (np. Wieniec, Świerszcz) utrzymywały się stosunkowo korzystne warunki hydrometeorologiczne, czego przejawem był kolejny rok z rzędu ujemny bilans materii rozpuszczonej. Z kolei w części zlewni (np. Różany Strumień, Wieniec), mimo okresowego braku odpływu fluwialnego w półroczu letnim, odnotowano ujemny bilans denudacyjny, wynikający z intensyfikacji strat w okresach wzmożonego odpływu i ograniczonej retencji nutrientów.

Analiza deficytu odpływu i dodatnia lub ujemna wartość bilansu denudacyjnego z lat 2015-2024 ukazuje geoekosystemy „stabilne" i „niestabilne" w zakresie obiegu energii (woda) i materii (substancje rozpuszczone) (Ryc. 21).

Za stabilne geoekosystemy uznano zlewnie o ujemnym kierunku bilansu denudacyjnego: Parsętę, Różany Strumień, Bystrzankę i Wrzosówkę. W tych geoekosystemach pomimo zmiannych uwarunkowań meteorologicznych (lata 2015, 2018, 2019 i 2022 – suche, rok 2016 – normalny lub wilgotny, rok 2017 – wilgotny, lata 2020–2021 i 2023 – normalne lub wilgotne, a rok 2024 – wilgotny) ujemny bilans denudacyjny był zachowany. Z kolei za niestabilne uznano zlewnie o zmiennym kierunku bilansu denudacyjnego: Lewińską Strugę, Kanał Olszowiecki, Wieniec i Świerszcz. Ze względu na dopiero trzeci rok pomiarów w Stacji Pogórze Karpackie, dla zlewni Starej Rzeki nie określono jeszcze jej „stabilności". W geoekosystemach uznanych za niestabilne kierunek bilansu denudacyjnego w latach 2015-2023 był zmienny (dodatni lub ujemny). W geoekosystemie Wieńca o niestabilności świadczy pojawiający się dodatni bilans, który jest przejawem pewnych zaburzeń w obiegu wody, zwłaszcza w postaci bardzo niskiego odpływu fluwialnego. O niskim odpływie decyduje głównie antropogeniczny pobór wody z cieku. W przypadku Lewińskiej Strugi dodatni bilans

denudacyjny wystąpił tylko w 2019 roku. Z kolei w zlewni Kanału Olszowieckiego dodatni bilans miał miejsce w 2016 i 2020 roku. W zlewni Świerszcza ujemny bilans wystąpił tylko w latach 2022-2024.

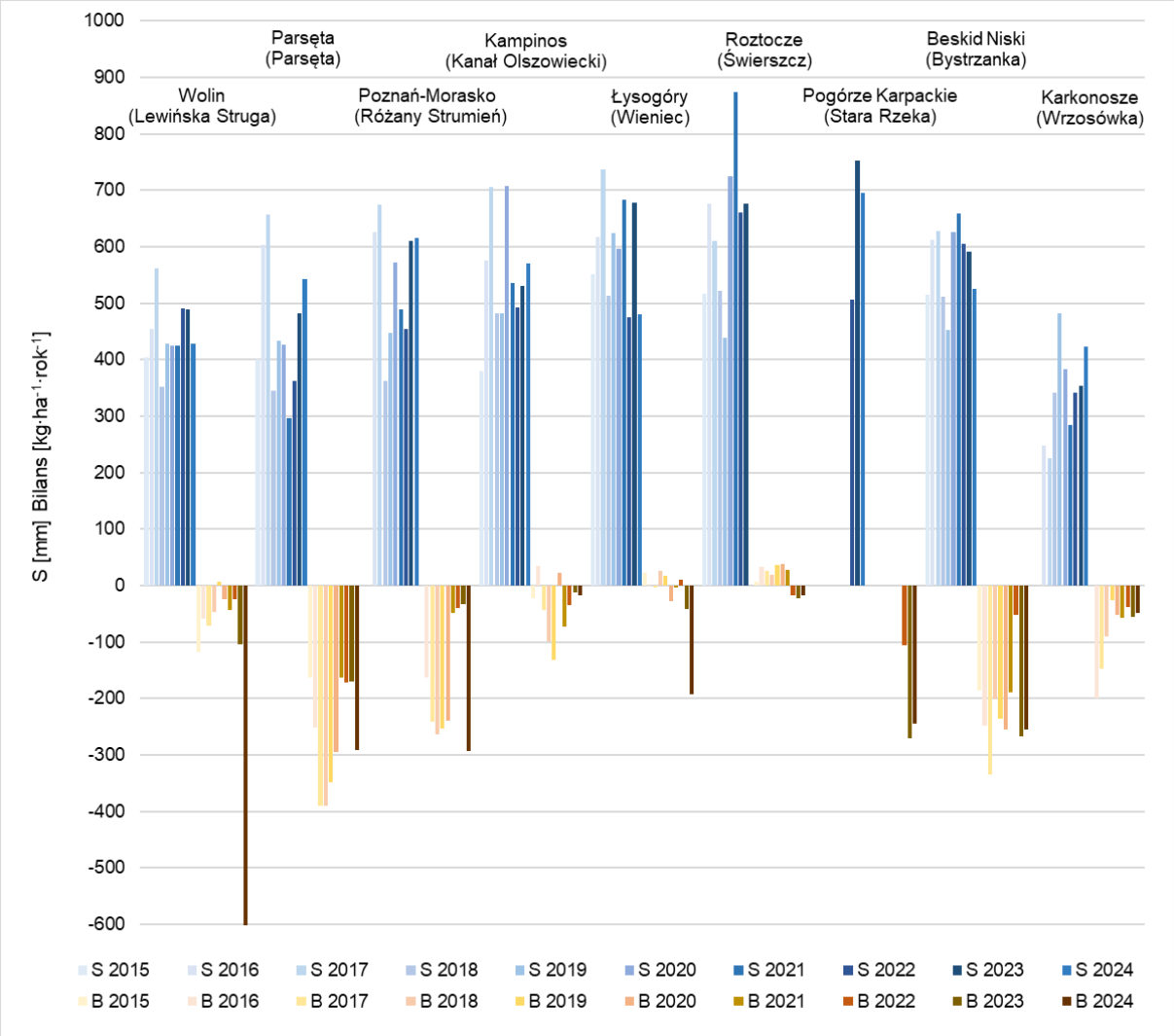
Tab. 28. Bilans jonów denudacyjnych i biogenicznych w zlewniach badawczych ZMŚP w 2024 roku

Stacja (zlewnia)	Wolin (Lewińska Struga)	Parsęta (Parsęta)	Poznań-Morasko (Różany Strumień)	Kampinos (Kanał Olszowiecki)	Łysogóry (Wieniec)	Roztocze (Świerszcz)	Pogórze Karpackie (Stara Rzeka)	Beskid Niski (Bystrzanka)	Karkonosze (Wrzosówka)
Składowe obiegu wody [mm]									
P – Opad atmosferyczny	742,0	857,4	699,6	585,8	838,9	758,6	869,1	880,1	1389,4
Hpow – Odpływ powierzchniowy	314,7	314,4	84,4	15,2	358,3	80,5	173,4	355,0	966,1
S – Deficyt odpływu	**427,3**	**543,0**	**615,2**	**570,6**	**480,6**	**678,1**	**695,7**	**525,1**	**423,3**
Bilans jonów denudacyjnych [kg·ha^{-1}]									
SO_4^{2-}	-62,7	-39,0	-71,6	-6,1	-52,6	-3,0	-58,8	-58,7	-36,6
Cl^-	-45,5	-14,5	-62,1	-1,2	-41,9	1,6	-39,9	-17,8	-2,6
Ca^{2+}	-128,5	-214,3	-121,3	-18,9	-75,2	-26,6	-105,1	-121,7	-11,1
Mg^{2+}	-29,0	-12,6	-10,6	-1,6	-19,3	-0,5	-22,2	-16,8	-3,3
Na^+	-392,1	-11,8	-30,8	-0,6	-29,9	-0,7	-31,9	-34,8	-3,2
Bilans JD	**-657,7**	**-292,1**	**-296,4**	**-28,4**	**-218,9**	**-29,3**	**-257,9**	**-249,8**	**-56,8**
Bilans jonów biogennych [kg·ha^{-1}]									
NO_3^-	0,3	3,0	0,1	2,1	10,4	7,7	12,8	3,6	6,3
NH_4^+	3,2	4,0	5,7	7,4	17,1	2,9	5,4	2,5	2,7
K^+	-5,5	-5,7	-2,8	1,6	-2,0	0,9	-4,9	-10,8	-1,0
Bilans JB	**-1,9**	**1,3**	**3,0**	**11,1**	**25,5**	**11,5**	**13,4**	**-4,7**	**8,1**
Bilans materii rozpuszczonej [kg·ha^{-1}]									
Bilans JD+JB	**-659,6**	**-290,9**	**-293,4**	**-17,3**	**-193,4**	**-17,8**	**-244,5**	**-254,5**	**-48,7**

Wśród badanych geoekosystemów można dokonać pewnej waloryzacji względnej, gdzie za wysokoenergetyczne można uznać zlewnie o średnim wieloletnim bilansie denudacyjnym ≥±100 kg·ha^{-1}·rok^{-1}. Do tych geoekosystemów można zakwalifikować zlewnie: Parsęty, Bystrzanki i Różanego Strumienia. Zlewnię Wrzosówki można zaliczyć do typu umiarkowanego ≥±50 kg·ha^{-1}·rok^{-1}, a zlewnie Świerszcza i Wieńca można zaliczyć do

geoekosystemów niskoenergetycznych ≤±50 kg·ha^{-1}·rok^{-1}. Z kolei zlewnie Lewińskiej Strugi i Kanału Olszowieckiego, ze względu na znaczną dynamikę rocznego bilansu materii rozpuszczonej, balansują na granicy geoekosystemu umiarkowanego (±50-100 kg·ha^{-1}·rok^{-1}) i niskoenergetycznego (Ryc. 21).

Analiza bilansu denudacyjnego badanych zlewni rzecznych jest dobrym wskaźnikiem presji antropogenicznej w zlewniach, zwłaszcza jako indykator nadmiernego wprowadzania biogenów (z nawozami i ściekami bytowymi) do środowiska przyrodniczego.



Ryc. 21. Deficyt odpływu wody i bilans substancji rozpuszczonych w zlewniach ZMŚP w latach 2015-2024. S – deficyt odpływu, B – bilans substancji rozpuszczonych

7. WPŁYW UWARUNKOWAŃ ABIOTYCZNYCH NA PRZYRODĘ OŻYWIONĄ W EKSPERYMENTALNYCH GEOEKOSYSTEMACH ZLEWNI RZECZNYCH I JEZIORNYCH ZMŚP

Wpływ uwarunkowań abiotycznych (związanych ze zmiennością warunków pogodowych oraz właściwościami fizycznogeograficznymi badanych geoekosystemów) na potencjalny stan przyrody ożywionej obejmuje charakterystykę m.in. występowania w 2024 roku termicznych pór roku i sezonu wegetacyjnego. Przedstawiono także syntetyczne wyniki realizacji programów ZMŚP w 2024 roku dotyczące:

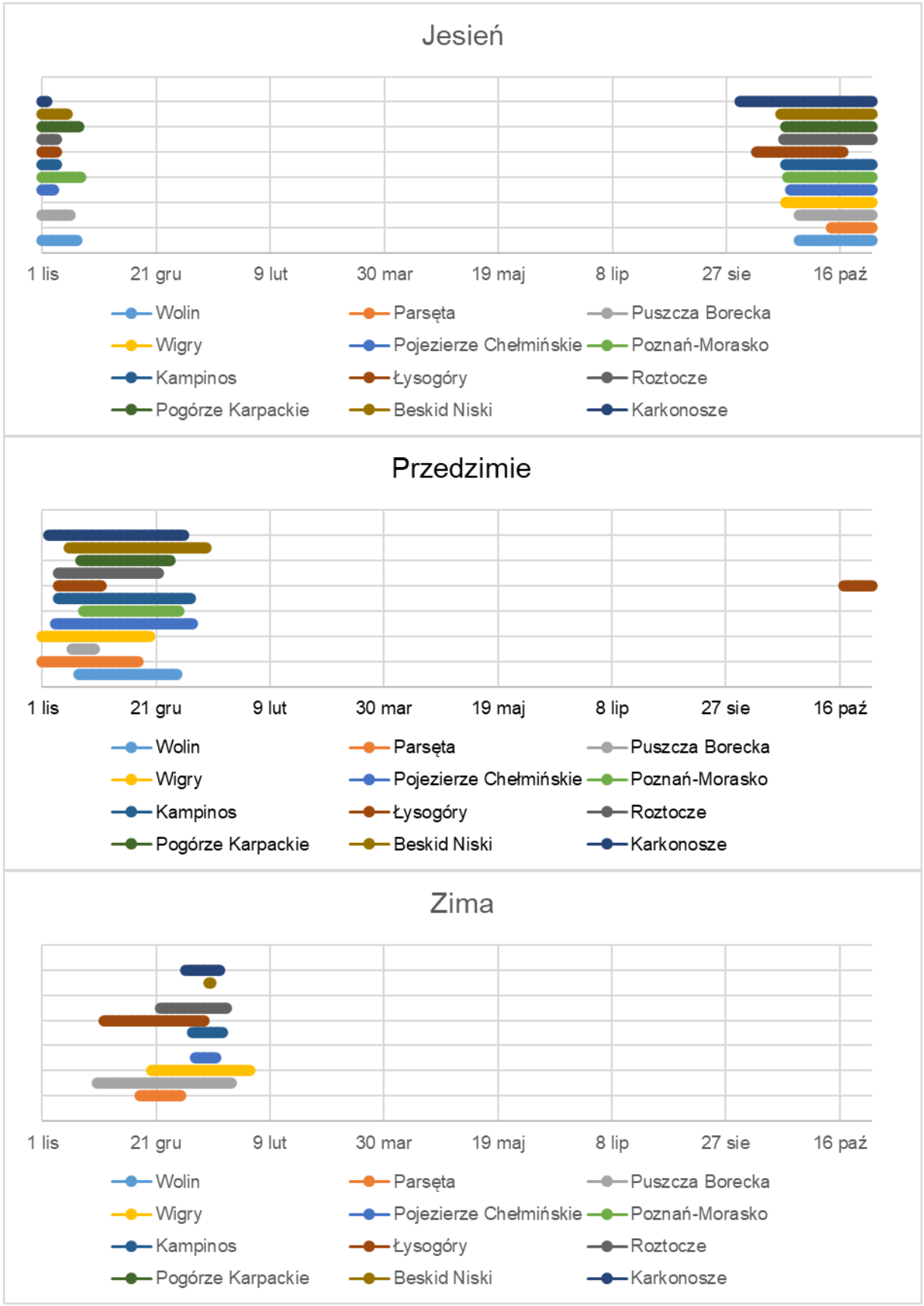
- zanieczyszczenia powietrza,
- uszkodzeń drzew i drzewostanów,
- roślinnych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia,
- hydrobiologii rzek – makrofity i hydromorfologiczna ocena koryt rzecznych,

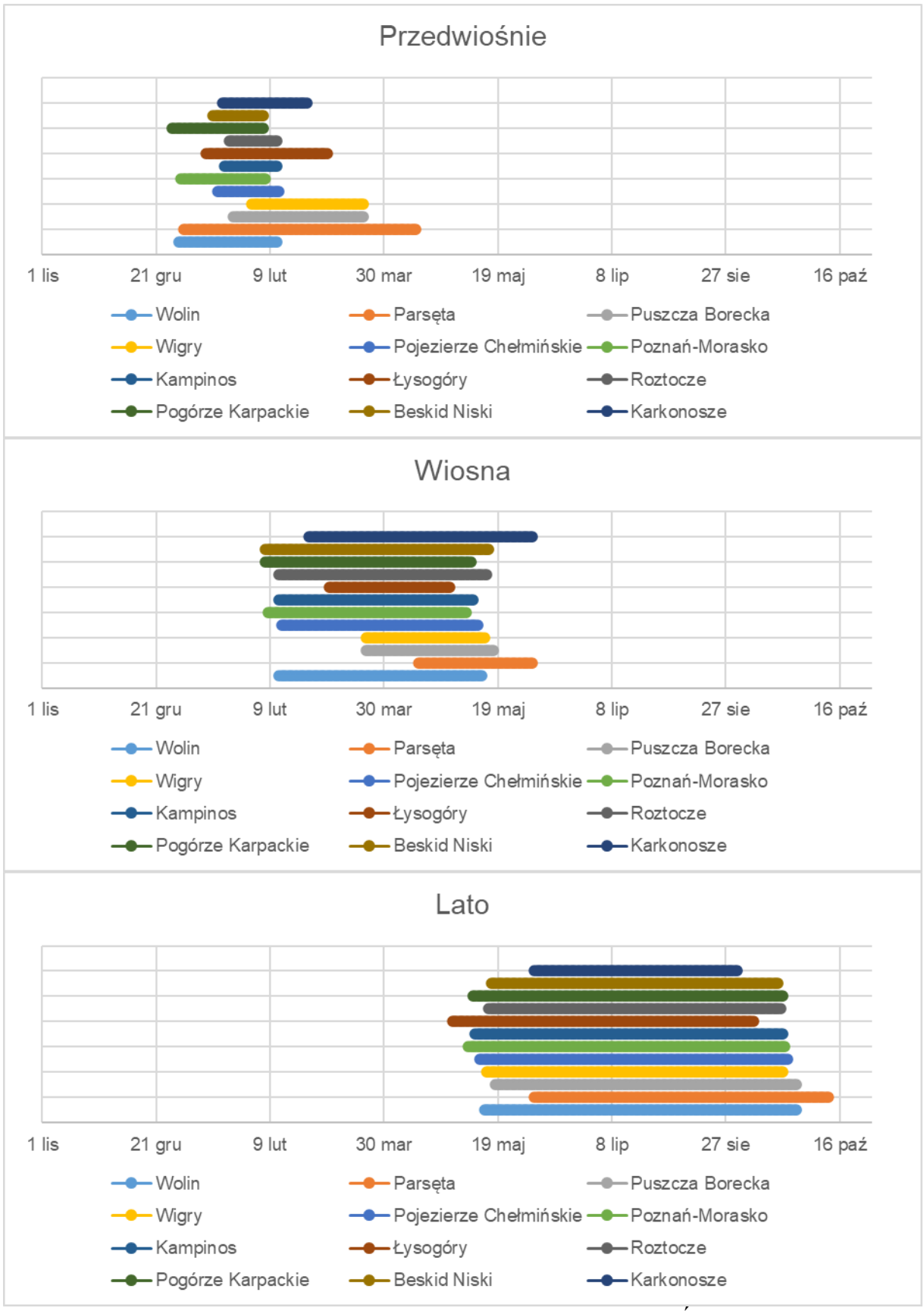
7.1. Termiczne pory roku

Warunki cieplne w 2024 roku znalazły odzwierciedlenie w długości trwania poszczególnych termicznych pór roku. W trzech stacjach (Wolin, Poznań-Morasko i Pogórze Karpackie) nie wystąpiła termiczna zima. W pozostałych monitorowanych geoekosystemach stwierdzono występowanie wszystkich sześciu termicznych pór roku (Ryc. 22). Średnio najdłużej trwało lato (130 dni), ale było krótsze niż w rekordowym 2018 roku (135 dni), a zarazem dłuższe niż w roku 2023 (120 dni) i zdecydowanie dłuższe niż w latach 2021–2022 (odpowiednio 93 i 96 dni). Znacznie krócej trwały: wiosna (79 dni) i jesień (48 dni). Najkrótszymi termicznymi porami roku były natomiast zima (20 dni), przedwiośnie (44 dni) i przedzimie (48 dni). Tak duże wydłużenie okresu lata przy jednoczesnym skróceniu zimy i okresów przejściowych wskazuje na postępujące przesunięcie sezonów termicznych w kierunku warunków cieplejszych, co jest charakterystyczne dla ostatnich lat w Polsce (Czernecki, Miętus 2017).

W 2024 roku nie stwierdzono wyraźnej regionalizacji w występowaniu termicznych pór roku. Brak zimy odnotowano zarówno w zlewniach: nadmorskiej, w pobliżu dużej aglomeracji miejskiej, jak i w Beskidach, co świadczy o dominacji czynników meteorologicznych o charakterze ponadregionalnym. Wpływ czynników lokalnych widoczny był jednak w zlewniach północno-wschodniej Polski (Puszcza Borecka i Wigry) oraz w stacjach położonych wyżej nad poziomem morza (np. Łysogóry). To one decydowały o długości i terminach występowania poszczególnych termicznych pór roku. Najdłużej trwała zima w Puszczy Boreckiej (60 dni), w Łysogórach (45 dni) i w Wigrach (44 dni). Warto jednak

podkreślić, że nawet w tych stacjach zima była znacznie krótsza niż w latach wcześniejszych (Ryc. 23).

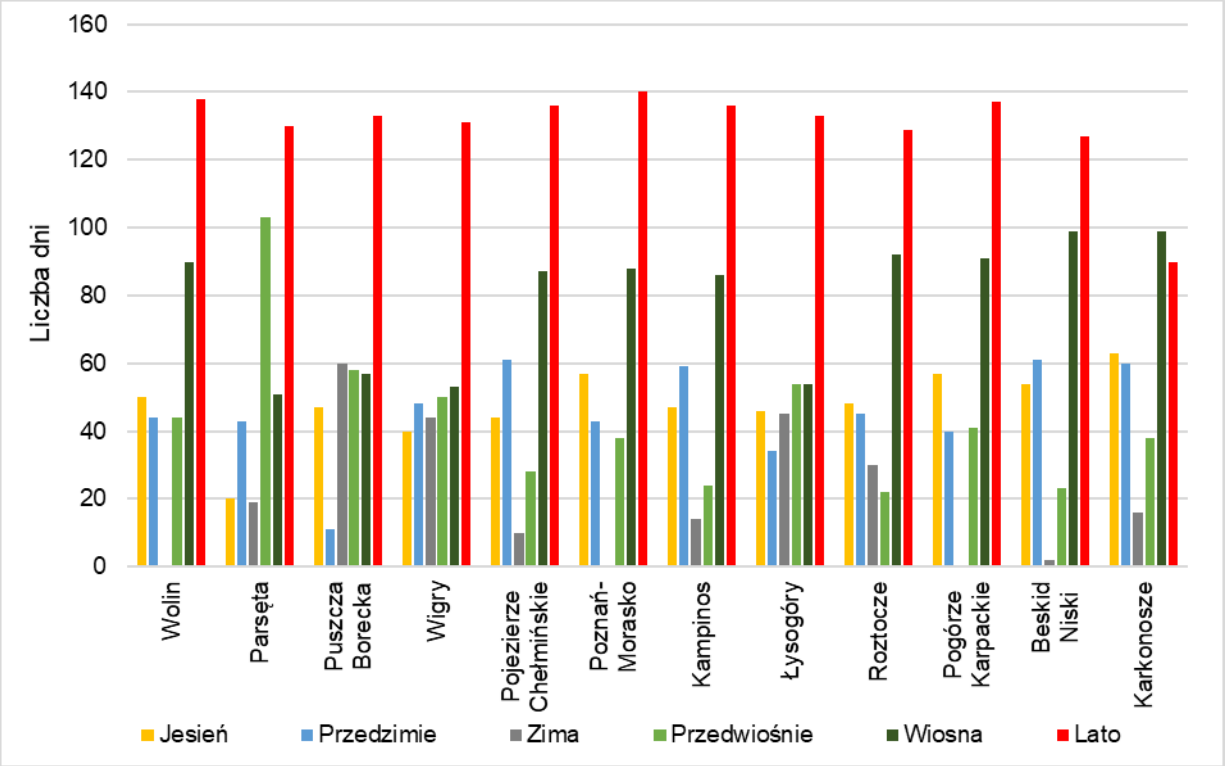




Ryc. 22. Przebieg termicznych pór roku w zlewniach badawczych ZMŚP w 2024 roku

Czas trwania termicznych pór roku generalnie nawiązywał do tendencji wieloletniej. Korzystne warunki termiczne (okres wegetacyjny) dla rozwoju roślinności występowały od początku termicznej wiosny do końca termicznej jesieni. W ośmiu zlewniach (Wolin, Pojezierze Chełmińskie, Poznań-Morasko, Kampinos, Roztocze, Pogórze Karpackie, Beskid Niski i Karkonosze) termiczna wiosna rozpoczęła się wyjątkowo wcześnie, już w lutym – najwcześniej w zlewniach Starej Rzeki i Bystrzanki (7 lutego). W pozostałych zlewniach termiczna wiosna rozpoczęła się w marcu, jedynie w zlewni górnej Parsęty 14 kwietnia. W większości badanych geoekosystemów termiczna jesień trwała do końca roku hydrologicznego. Jedynie w Łysogórach zakończyła się 17 października. Na tle wielolecia szczególnie wyraźnie zaznaczyły się zmiany w relacji długości lata i zimy. Do 2020 roku lato trwało przeciętnie dwukrotnie dłużej niż zima. Od 2021 roku stosunek ten systematycznie się zwiększał: 1,66 w 2021 roku, 2,52 w 2022 roku i 3,24 w 2023 roku. W 2024 roku różnica osiągnęła rekordową skalę – lato (130 dni) było aż 6,5 raza dłuższe od zimy (20 dni). Zjawisko to potwierdza wyraźne przesunięcie sezonów termicznych w stronę warunków cieplejszych.

Reasumując, można stwierdzić, że występowanie termicznych pór roku (czas trwania, daty początku wiosny i końca jesieni) było sprzyjające dla przyrody ożywionej oraz przełożyło się na dogodne warunki występowania sezonu wegetacyjnego i okresu dojrzewania roślin.



Ryc. 23. Czas trwania termicznych pór roku w zlewniach badawczych ZMŚP w 2024 roku

7.2. Sezon wegetacyjny

Rok 2024 był najcieplejszym rokiem w wieloleciu 1994-2024, co przełożyło się na znaczące wydłużenie sezonu wegetacyjnego W porównaniu z rokiem 2023 okres wegetacyjny trwał średnio o 19 dni dłużej i osiągnął przeciętnie 250 dni – od 191 dni w Łysogórach do 281 dni w Poznaniu (Tab. 29). Pomimo bardzo ciepłego roku 2024, w trzech stacjach (Parsęta, Puszcza Borecka i Łysogóry) odnotowano krótszy okres wegetacyjny niż w roku poprzednim. We wszystkich pozostałych zlewniach sezon ten był dłuższy – od 10 dni na Wigrach do aż 79 dni w Karkonoszach. Czas trwania sezonu intensywnej wegetacji o średniej dobowej temperaturze powietrza ≥10°C był również najkrótszy w Łysogórach (125 dni), a najdłuższy w Poznaniu (225 dni).

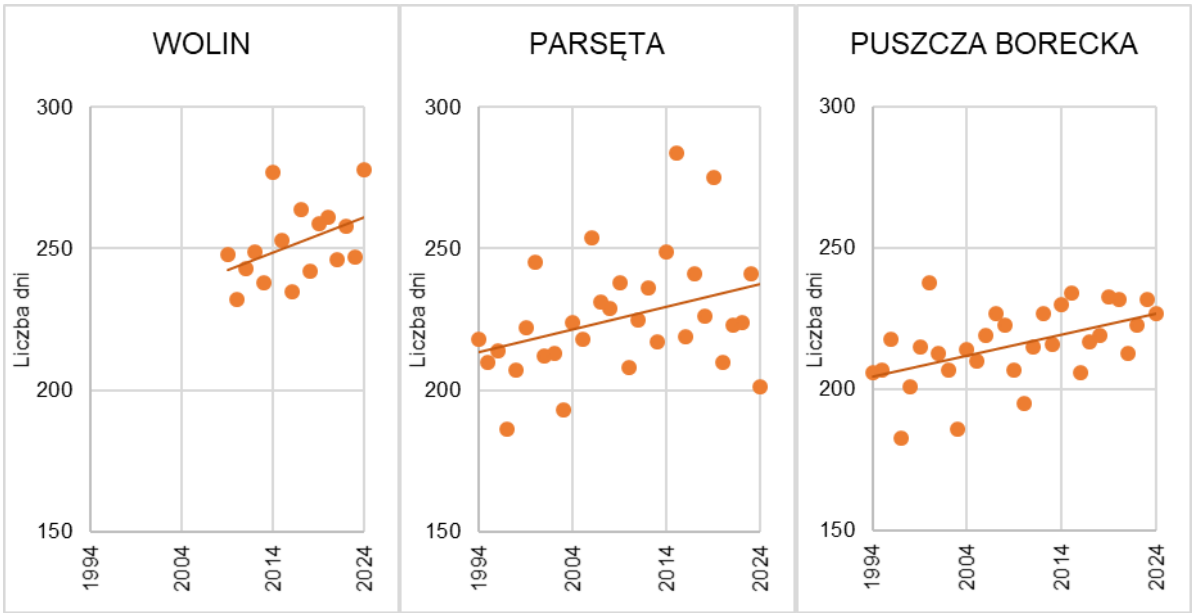
Tab. 29. Sezon wegetacyjny w zlewniach badawczych ZMŚP w 2024 roku

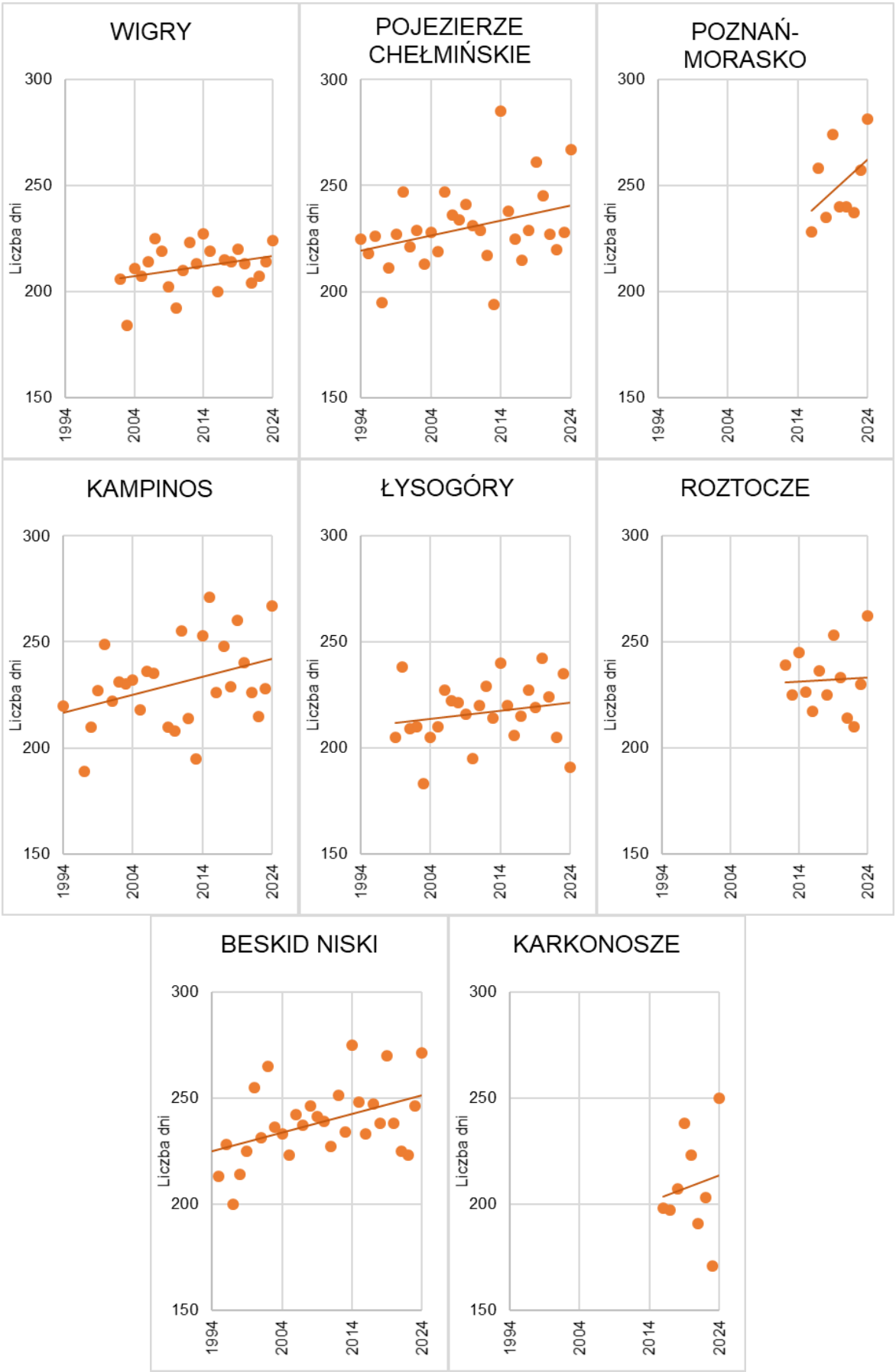
Stacja	Strefa krajobrazowa	Okres wegetacyjny	Okres intensywnej wegetacji
Wolin	nadmorska	278	167
Parsęta	pojezierzy	201	154
Puszcza Borecka		227	178
Wigry		224	174
Pojezierze Chełmińskie		267	180
Poznań-Morasko		281	225
Kampinos	nizin	267	185
Łysogóry	wyżyn	191	125
Roztocze		262	163
Pogórze Karpackie	gór średnich	276	200
Beskid Niski		271	192
Karkonosze		250	186

W 2024 roku czas trwania sezonu wegetacyjnego wykazywał zróżnicowanie regionalne (Tab. 29). Najdłużej trwał w strefie nadmorskiej (278 dni) oraz w strefie górskiej (266 dni), co koresponduje z ekstremalnie wysokimi temperaturami w zlewniach beskidzkich. Na nizinach średnia długość sezonu wegetacyjnego wyniosła 244,5 dnia, jednak wartość tę obniża przede wszystkim Parsęta, gdzie średnia temperatura długo utrzymywała się w okolicach 5°C, a sezon wegetacyjny rozpoczął się dopiero w połowie kwietnia. Najkrócej sezon wegetacyjny trwał w strefie wyżynnej (227 dni), na co wpłynęły warunki wysoko położonej zlewni Wieńca w Górach Świętokrzyskich.

W Stacjach Bazowych ZMŚP rok 2024 był ciepły, bardzo ciepły, a w większości zlewni nawet anomalnie lub ekstremalnie ciepły pod względem termicznym. z latami 2021–2023, również zaliczanymi do ciepłych, ale nieco chłodniejszych, skutkowało to dalszym wydłużeniem okresu wegetacyjnego. W większości monitorowanych zlewni (Wolin, Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie, Poznań-Morasko, Kampinos, Roztocze, Pogórze Karpackie, Beskid Niski i Karkonosze) czas trwania okresu wegetacyjnego w 2024 roku był dłuższy od średniej z wielolecia średnio o 29 dni. Największe różnice wystąpiły na Pojezierzu Chełmińskim i w Kampinosie, gdzie okres ten był dłuższy o 37 dni. Krótszy niż w wielolecie okres wegetacyjny stwierdzono jedynie w stacji Parsęta i w Łysogórach (w obu przypadkach o 25 dni).

Wieloletnie obserwacje sezonu wegetacyjnego w Stacjach Bazowych ZMŚP wykazują wyraźną tendencję wydłużania się czasu jego trwania. Istotny statystycznie trend ($p<0,05$) stwierdzono jednak tylko w dwóch stacjach: Puszczy Boreckiej i Beskidzie Niskim. Średni 20-letni trend wydłużenia sezonu wegetacyjnego w wymienionych zlewniach wynosi 11 dni w Puszczy Boreckiej i 12 dni w zlewni Bystrzanki (Ryc. 24). Wydłużanie się okresu wegetacyjnego świadczy o coraz korzystniejszych warunkach termicznych dla rozwoju roślinności, co jednak przy zwiększającej się liczbie dni gorących i upalnych, w tym fal upałów, prowadzi również do wzmożonej ewapotranspiracji, ograniczającej dostępność wody dla roślinności (por. rozdział 5.1.). Warunki termiczne w 2024 roku (w przeciwieństwie do sum rocznych opadów atmosferycznych) w Stacjach Bazowych ZMŚP były niekorzystne dla rozwoju roślinności. Odznaczało się to m.in. występowaniem fal upałów, które występując w czasie okresu wegetacyjnego negatywnie wpływają na rozwój roślinności.





Ryc. 24. Zmienność czasu trwania okresu wegetacyjnego w Stacjach Bazowych ZMŚP dysponujących ponad 5-letnim okresem pomiarowym

7.3. Zanieczyszczenie powietrza

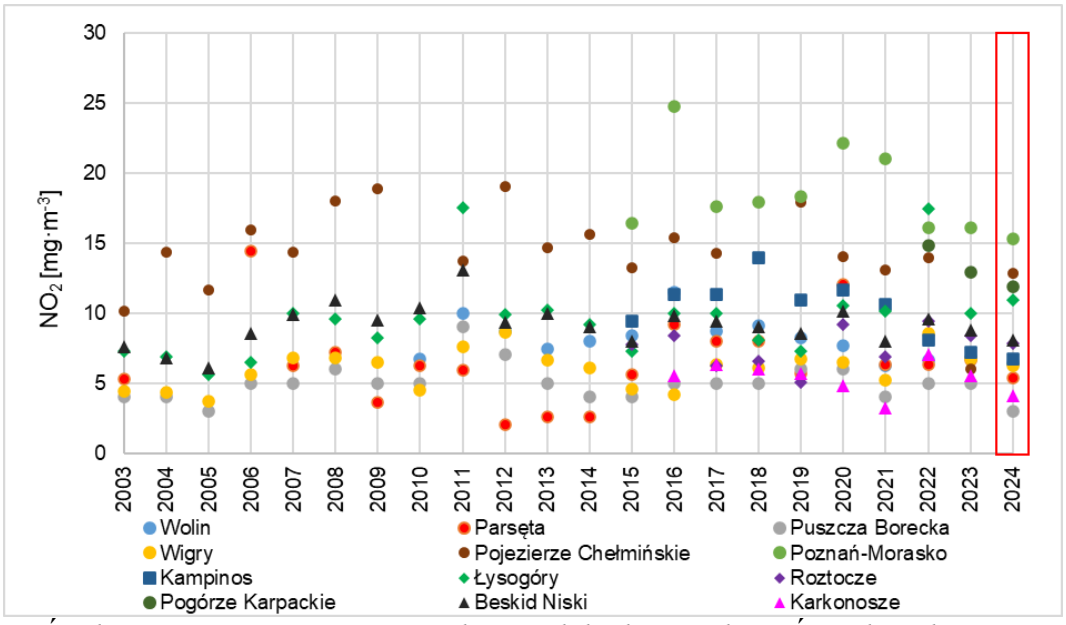
W 2024 roku badania zanieczyszczenia powietrza, obejmujące pomiary stężenia dwutlenku siarki (SO_2) i dwutlenku azotu (NO_2), we wszystkich Stacjach Bazowych prowadzono metodą pasywną. We wszystkich zlewniach średnie roczne stężenia dwutlenku azotu i dwutlenku siarki w powietrzu atmosferycznym w 2023 roku hydrologicznym były zbliżone do wartości z wielolecia 2003-2023 (Tab. 30, Ryc. 25, Ryc. 26). Wyniki pomiarów dwutlenku siarki wykazywały spadek stężenia dwutlenku siarki w okresie 2003-2010, następnie wzrost do lat 2016-2018, kiedy rejestrowano najwyższe stężenia w wieloleciu. Od roku 2019 zauważalny jest systematyczny spadek stężeń, a stężenia w roku 2024, podobnie jak z roku 2023 są na poziomie stężeń sprzed 2016 roku (Ryc. 26). Z kolei w przypadku dwutlenku azotu nie można stwierdzić trendów ani malejących ani rosnących.

Tab. 30. Zanieczyszczenie powietrza – średnie roczne stężenie SO_2 i NO_2 [$\mu g \cdot m^{-3}$] w zlewniach badawczych ZMŚP w 2024 roku

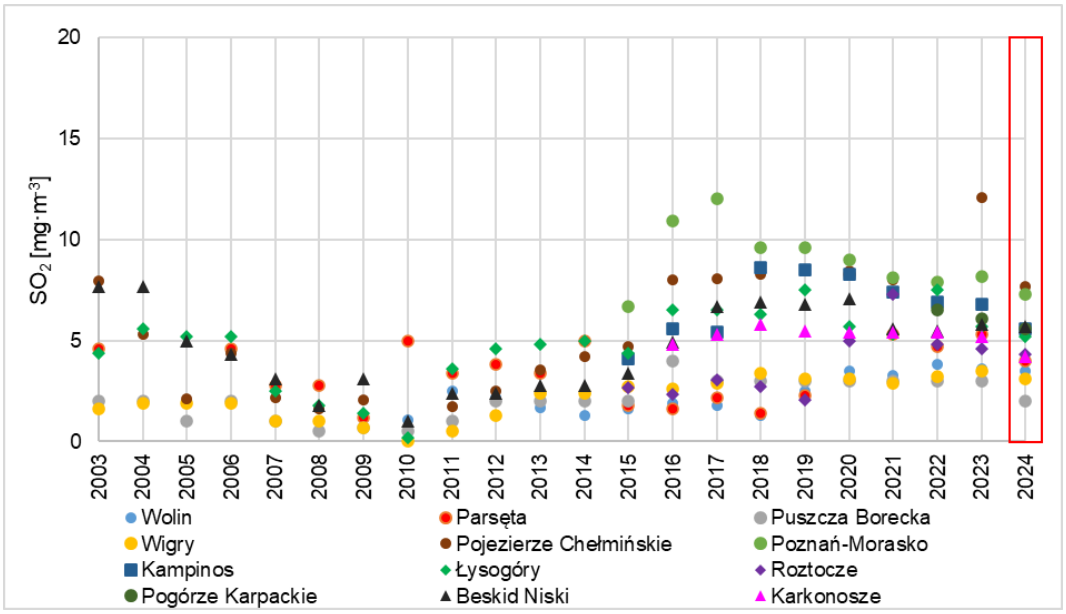
Stacja	Strefa krajobrazowa	NO_2 [$\mu g \cdot m^{-3}$]	SO_2 [$\mu g \cdot m^{-3}$]
Wolin	nadmorska	6,4	3,5
Parsęta	pojezierzy	5,4	4,0
Puszcza Borecka		3,0	2,0
Wigry		6,2	3,1
Pojezierze Chełmińskie		12,8	7,7
Poznań-Morasko		15,3	7,3
Kampinos	nizin	6,7	5,2
Łysogóry	wyżyn	10,9	5,2
Roztocze		7,8	4,3
Pogórze Karpackie	gór średnich	11,9	5,6
Beskid Niski		8,1	5,7
Karkonosze		4,1	4,2

Generalnie najwyższe poziomy zanieczyszczeń powietrza notowano w zlewniach znajdujących się w pobliżu dużych aglomeracji miejskich (Pojezierze Chełmińskie, Poznań-Morasko, Pogórze Karpackie). Szczególna sytuacja ma miejsce w zlewni Wieńca w Górach Świętokrzyskich. Źródłami bezpośrednimi części zanieczyszczeń powietrza, mierzonych w Stacji Bazowej Łysogóry są elektrownie, ciepłownie, zakłady przemysłowe, gospodarstwa domowe i komunikacja. Oprócz lokalnych emitorów do odległości 50-100 km, istotny wpływ na stan kontaminacji powietrza atmosferycznego w całym regionie świętokrzyskim mają odległe ośrodki miejsko-przemysłowe. Do nich należą przede wszystkim Górnośląski Okręg Przemysłowy i dalekosiężna silna migracja zanieczyszczeń z Ostrawsko-

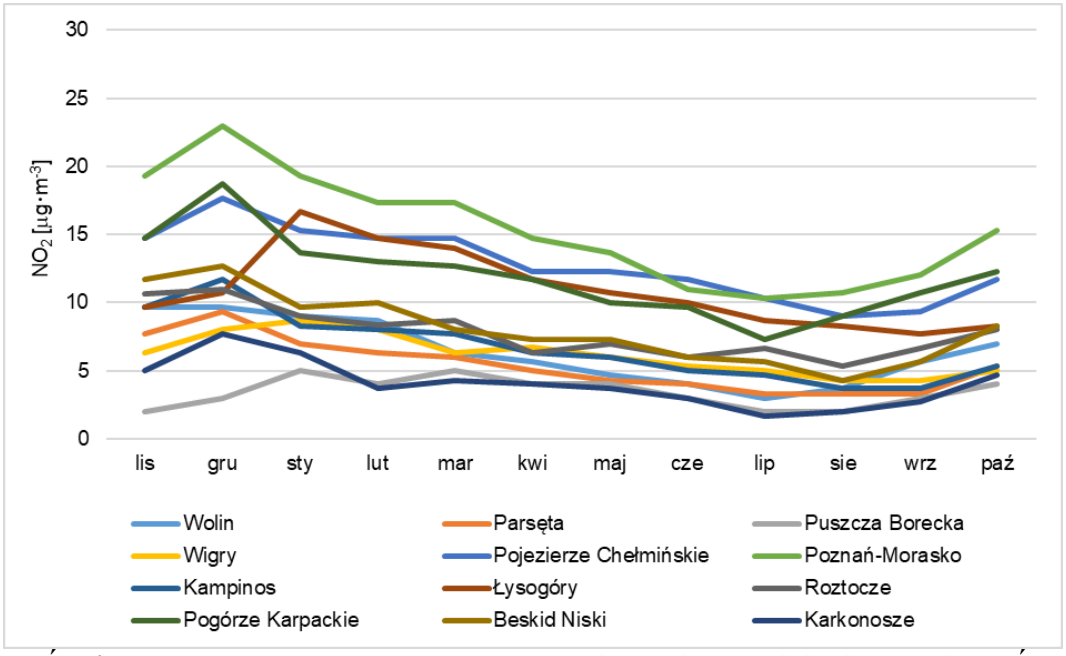
Karwińskiego Okręgu Przemysłowego w Czechach (Kozłowski i in. 2025). Z kolei najniższe stężenia dwutlenku siarki i dwutlenku azotu notowano w Polsce północnej (Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka i Wigry) oraz w Karkonoszach. Roczny przebieg stężeń dwutlenku siarki oraz dwutlenku azotu charakteryzował się występowaniem wyższych wartości w półroczu zimowym, w trakcie trwania sezonu grzewczego. Zależność ta szczególnie widoczna jest w przypadku zlewni położonych blisko dużych aglomeracji miejskich, Stacje: Pojezierze Chełmińskie, Poznań-Morasko i Pogórze Karpackie (Ryc. 27, Ryc. 28).



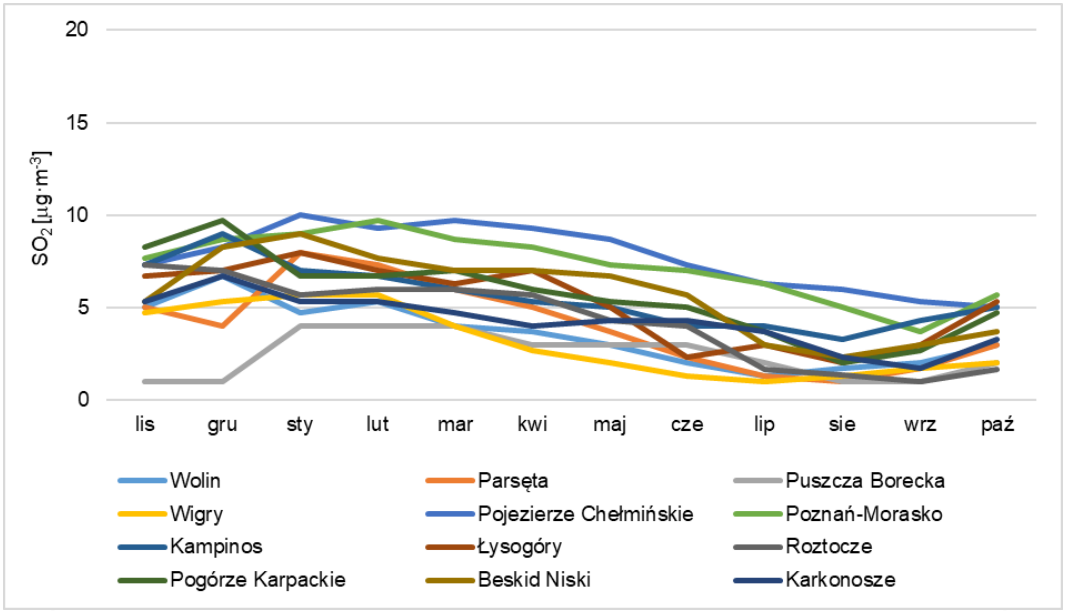
Ryc. 25. Średnie roczne stężenia NO_2 w zlewniach badawczych ZMŚP w latach 2003-2024 (metoda pasywna)



Ryc. 26. Średnie roczne stężenia SO_2 w zlewniach badawczych ZMŚP w latach 2003-2024 (metoda pasywna)



Ryc. 27. Średnie miesięczne stężenia NO_2 w 2024 roku w zlewniach badawczych ZMŚP (metoda pasywna)



Ryc. 28. Średnie miesięczne stężenia SO_2 w 2024 roku w zlewniach badawczych ZMŚP (metoda pasywna)

7.4. Uszkodzenia drzew i drzewostanów

Pomiary uszkodzeń drzew i drzewostanów realizowano w 11 Stacjach Bazowych ZMŚP. W Stacji Pojezierze Chełmińskie w zlewni Strugi Toruńskiej ze względu na brak zwartej powierzchni leśnej program nie jest wykonywany.

Zmiany klimatyczne, a w szczególności tendencja do wzrostu temperatury powietrza i ograniczona dostępność wody w okresie wegetacyjnym, mogą negatywnie wpływać na stan

drzewostanów, które będą bardziej podatne m.in. na gradacje szkodników. W 2024 roku po raz drugi we wszystkich zlewniach pomiary uszkodzeń drzew i drzewostanów przeprowadzono według nowej metodyki – w oparciu o 25 stanowisk rozlokowanych na terenie całej zlewni, możliwe jest więc odniesienie tylko do roku wcześniejszego. Zgodnie z nową metodyką (Zajączkowski 2021), w poszczególnych zlewniach monitorowane są gatunki drzew z dominujących zbiorowisk leśnych. W 2024 roku monitorowano następujące gatunki drzew:

- Buk zwyczajny (*Fagus sylvatica*); Stacje: Wolin, Pogórze Karpackie, Beskid Niski, Karkonosze;
- Dąb szypułkowy (*Quercus robur*); Stacja Puszcza Borecka;
- Jodła pospolita (*Abies alba*); Stacje: Łysogóry, Roztocze, Pogórze Karpackie, Beskid Niski;
- Olsza czarna (*Alnus glutinosa*); Stacja Kampinos;
- Sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris*); Stacje: Parsęta, Wigry, Poznań-Morasko, Kampinos;
- Świerk pospolity (*Picea abies*); Stacje: Puszcza Borecka, Karkonosze.

W większości monitorowanych zlewni dla większości gatunków drzew w 2024 roku zarejestrowano lekką defoliację (11-25%, poziom ostrzegawczy). Wyjątkiem są zlewnie Lewińskiej Strugi na Wolinie oraz Wrzosówki w Karkonoszach, gdzie średnia defoliacja buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica*) wyniosła odpowiednio 3,5% oraz 3,6% i zaklasyfikowano ją do zerowej klasy (0-10%, drzewostany zdrowe). Z kolei w Puszczy Boreckiej (dąb szypułkowy *Quercus robur* oraz świerk pospolity *Picea abies*), w Kampinosie (sosna zwyczajna *Pinus sylvestris*) oraz na Roztoczu (jodła pospolita *Abies* alba) wystąpiła średnia defoliacja (26-60%, drzewostany uszkodzone). W przypadku świerka pospolitego (*Picea abies*) w Karkonoszach oraz buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica*) na Pogórzu Karpackim, klasa drzewostanów zdrowych (10%) została nieznacznie przekroczona (Tab. 31).

W porównaniu z rokiem 2023, defoliacja spadła o więcej niż 1 punkt procentowy (p.p.) w przypadku buka zwyczajnego na Wolinie (-1,7 p.p.), jodły pospolitej w Łysogórach (-1,2 p.p.), olszy czarnej w Kampinosie (-3,5 p.p.) oraz sosny zwyczajnej na Wigrach (-2,0 p.p.) oraz w Kampinosie (-5,2 p.p.). Z kolei wzrost defoliacji większy niż 1 p.p. stwierdzono w przypadku buka zwyczajnego w Beskidzie Niskim (+1,7 p.p.), dębu szypułkowego w Puszczy Boreckiej (+4,9 p.p.), jodły pospolitej na Roztoczu (+3,3 p.p.), Pogórzu Karpackim (+3,1 p.p.) oraz w Beskidzie Niskim (+1,7 p.p.), sosny zwyczajnej w Parsęcie (+1,6 p.p.) i świerku zwyczajnego w Puszczy Boreckiej (+8,3 p.p.). Niewielkie zmiany (<1 p.p.) wystąpiły w przypadku pozostałych drzewostanów (buk zwyczajny i świerk pospolity w Karkonoszach oraz sosna zwyczajna w Poznaniu).

Tab. 31. Średnia defoliacja w zlewniach ZMŚP w 2024 roku hydrologicznym

Stacja	Buk zwyczajny	Dąb szypułkowy	Jodła pospolita	Olsza czarna	Sosna zwyczajna	Świerk pospolity
	Fagus sylvatica	*Quercus robur*	*Abies alba*	*Alnus glutinosa*	*Pinus sylvestris*	*Picea abies*
	Defoliacja [%]					
Wolin	3,5	-	-	-	-	-
Parsęta	-	-	-	-	13,7	-
Puszcza Borecka	-	37,7	-	-	-	32,7
Wigry	-	-	-	-	19,2	-
Poznań-Morasko	-	-	-	-	16,3	-
Kampinos	-	-	-	13,1	29,6	-
Łysogóry	-	-	14,6	-	-	-
Roztocze	-	-	27,9	-	-	-
Pogórze Karpackie	10,2	-	18,7	-	-	-
Beskid Niski	14,1	-	21,3	-	-	-
Karkonosze	3,6	-	-	-	-	11,1

7.5. Roślinne gatunki inwazyjne obcego pochodzenia

Obce geograficznie gatunki inwazyjne roślin są istotnym zagrożeniem dla środowiska przyrodniczego. Powodują one zmiany w naturalnych siedliskach przyrodniczych m.in. poprzez wypieranie gatunków rodzimych, które nie mogą konkurować z gatunkami o szerokiej skali ekologicznej (Tokarska-Guzik i in. 2012). Stąd też inwazje gatunków obcych (roślin i zwierząt) stanowią drugi co do znaczenia (po niszczeniu siedlisk) problem w zakresie ochrony przyrody rodzimej (Genovesi, Shine 2004). Ekspansja roślin inwazyjnych obcego pochodzenia odbywa się głównie dolinami rzecznymi i szlakami komunikacyjnymi (Czyryca 2017).

W 2024 roku zrealizowano badania patrolowe (obserwacje sprawdzające) występowania roślinnych gatunków inwazyjnych na obszarze całych zlewni badawczych w ramach monitoringu ogólnego oraz badania na stałych powierzchniach testowych w ramach monitoringu szczegółowego. W ramach monitoringu ogólnego, w większości zlewni każdego roku monitorowane są inne fragmenty zlewni.

W tabeli 32 przedstawiono charakterystykę występowania gatunków inwazyjnych w badanych zlewniach ZMŚP i dokonano względnej waloryzacji zagrożenia dla funkcjonowania rodzimej flory. Jako wartości graniczne pomiędzy małym, a dużym zagrożeniem ekspansji gatunków inwazyjnych w monitorowanych geoekosystemach przyjęto liczbę 10 gatunków występujących w zlewni. Monitoring ogólny gatunków inwazyjnych realizowany jest na wybranych kwadratach według siatki MGRS na terenie zlewni, dlatego też analizując liczbę

gatunków inwazyjnych w badanych geoekosystemach, istotne jest uwzględnienie obserwacji z lat wcześniejszych, prowadzonych w innych częściach zlewni.

Tab. 32. Występowanie roślinnych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia w zlewniach ZMŚP w latach 2016-2024

Stacja Bazowa	Liczba gatunków obcego pochodzenia w ramach monitoringu ogólnego										Zagrożenie
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	średnio	
Wolin	5	7	7	7	5	5	5	5	5	6	małe
Parsęta	18	18	19	43	18	16	15	18	26	21	duże
Puszcza Borecka	3	5	6	6	6	6	5	6	6	5	małe
Wigry	23	3	14	14	14	14	14	7	14	13	duże
Pojezierze Chełmińskie	68	68	8	8	7	7	7	7	8	21	duże
Poznań-Morasko	23	17	13	5	7	5	3	5	5	10	duże
Kampinos	-	20	20	16	19	11	20	20	12	17	duże
Łysogóry	8	8	7	7	6	6	1	10	14	7	małe
Roztocze	38	38	38	38	28	31	38	20	29	33	duże
Pogórze Karpackie	-	-	-	-	-	-	15	9	11	9	małe
Beskid Niski	-	2	2	6	10	10	10	6	4	6	małe
Karkonosze	5	7	7	5	18	1	18	0	0	7	małe

Stacja Bazowa	Liczba gatunków obcego pochodzenia w ramach monitoringu szczegółowego						Zagrożenie
	2016	2018	2020	2022	2024	średnio	
Wolin	2	2	2	2	2	2	małe
Parsęta	21	16	22	11	20	18	duże
Puszcza Borecka	2	2	2	2	2	2	małe
Wigry	2	2	2	2	1	2	małe
Pojezierze Chełmińskie	2	5	9	9	8	7	małe
Poznań-Morasko	12	9	11	10	10	10	duże
Kampinos	3	3	3	4	3	3	małe
Łysogóry	-	-	-	-	1	1	małe
Roztocze	10	9	9	8	8	9	małe
Pogórze Karpackie	-	-	-	5	5	5	małe
Beskid Niski	1	4	4	4	4	3	małe
Karkonosze	8	7	8	8	8	8	małe

Pod względem występowania roślinnych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia najlepsza sytuacja występowała w obszarach chronionych, na terenach parków narodowych (Wolińskiego, Świętokrzyskiego i Karkonoskiego). Większa liczba gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia w pozostałych parkach narodowych, w których prowadzony jest monitoring w ramach ZMŚP może wynikać m.in. ze znacznej dostępności turystycznej (np. Kampinoski PN) lub wielkości monitorowanej zlewni (np. Roztoczański PN). Zauważono pewną prawidłowość, że mniej gatunków inwazyjnych występowało w zlewniach z dominacją zwartego, leśnego pokrycia terenu, przy równoczesnym braku gęstej sieci komunikacyjnej i hydrograficznej (np. Wolin, Karkonosze) niż w zlewniach o znacznym areale gruntów ornych i zabudowań oraz gęstej infrastrukturze drogowej (np. Poznań-Morasko, Pojezierze Chełmińskie, Parsęta). Do najczęściej stwierdzonych roślinnych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia należą: czeremcha amerykańska (*Padus serotina*), niecierpek drobnokwiatowy (*Impatiens parviflora*) oraz nawłoć kanadyjska (*Solidago canadensis*). W odniesieniu do monitoringu szczegółowego warto podkreślić, że zmienność liczby gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia była w analizowanym okresie wyraźnie mniejsza niż w monitoringu ogólnym. W większości zlewni liczba gatunków utrzymywała się na zbliżonym poziomie w kolejnych latach pomiarowych, co wskazuje raczej na stabilną obecność określonych gatunków niż na dynamiczne zmiany ich liczby

7.6. Hydrobiologia rzek – makrofity i hydromorfologiczna ocena koryt rzecznych

Warunki hydrometeorologiczne w 2024 roku nie zaburzały makrofitowej i hydromorfologicznej oceny koryt rzecznych. Badania prowadzono w pełni sezonu wegetacyjnego, który jest optymalnym okresem do badań makrofitowych i hydromorfologicznych. Badania terenowe w 2024 roku przeprowadzono w czterech Stacjach Bazowych (w każdej zlewni na 3 stanowiskach): Poznań-Morasko (Różany Strumień), Wolin (Lewińska Struga i Kanał Kołczewo), Beskid Niski (Bystrzanka) i Karkonosze (Wrzosówka). W ocenie hydrobiologii rzek wykorzystano opracowanie Jusika i in. (2024).

Na podstawie wyników badań terenowych, które dostarczyły informacji o składzie gatunkowym makrofitów oraz ich pokryciu na stanowiskach, obliczono Makrofitowy Indeks Rzeczny (MIR) (Szoszkiewicz i in. 2010). W celu oceny stanu ekologicznego badanych odcinków cieków obliczone wartości wskaźnika MIR odniesiono do wartości granicznych dla pięciu klas stanu ekologicznego, specyficznych dla różnych typów makrofitowych rzek, określonych w Rozporządzeniu 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).

Wartości wskaźnika MIR wahały się od 15,9 na stanowisku Kanał Kołczewo C do 94,8 na stanowisku Wrzosówka odcinek górny. Cztery stanowiska zaklasyfikowano do bardzo dobrego stanu ekologicznego, trzy do dobrego, cztery do umiarkowanego a jeden do złego stanu ekologicznego. Tylko w przypadku Wrzosówki wystąpiła pełna zgodność klas stanu ekologicznego pomiędzy stanowiskami, związana z niewielką zmiennością wartości wskaźnika MIR (odchylenie standardowe indeksu MIR równe 5,20). Duże różnice indeksu MIR pomiędzy odcinkami badawczymi zaobserwowano w Bystrzance. Odchylenie standardowe indeksu MIR wyniosło 8,83 i spowodowało różnicę jednej klasy stanu ekologicznego pomiędzy odcinkiem górnym i dwoma pozostałymi. Wynikało to z narastającej presji hydromorfologicznej wzdłuż biegu rzeki, związanej z regulacją koryta oraz bliskiej obecności zabudowy mieszkaniowej. Duże różnice indeksu MIR wystąpiły także pomiędzy Lewińską Strugą i Kanałem Kołczewo C. Należy jednak zwrócić uwagę, że były to różne rzeki w obrębie jednej JCWP (Kanał Kołczewo jest dopływem Lewińskiej Strugi). W Różanym Strumieniu odcinek górny zaklasyfikowano do bardzo dobrego stanu ekologicznego, a pozostałe dwa do dobrego. Różnice pomiędzy wartościami wskaźnika MIR nie były jednak zbyt duże (odchylenie standardowe 4,81). Podsumowując, stan ekologiczny Różanego Strumienia, Wrzosówki oraz górnego odcinka Bystrzanki, zbadanych w 2024 roku, wskazuje na brak degradacji troficznej. Odmiennie sytuacja wystąpiła w przypadku Lewińskiej Strugi, Kanału Kołczewo C oraz środkowego i dolnego odcinka Bystrzanki, które należy uznać na zdegradowane troficznie Jusik i in. 2024).

Badania hydromorfologiczne były prowadzone w oparciu o metody: Hydromorfologicznego Indeksu Rzecznego (HIR, Szoszkiewicz i in. 2020) oraz oceny wód płynących – River Habitat Survey (RHS) (Environment Agency 2003), wg polskiej jej wersji. Metoda HIR umożliwia szczegółowy opis koryta rzecznego, strefy przybrzeżnej oraz w pewnym stopniu także doliny rzecznej. Ocena wód płynących w oparciu HIR jest zgodna z wymaganiami Europejskiego Komitetu Normalizacyjnego CEN (*Comiteé Européen de Normalisation*) odnoszącymi się do Ramowej Dyrektywy Wodnej. Z kolei na podstawie metody RHS możliwa jest charakterystyka koryta rzecznego oraz w mniejszym stopniu doliny rzecznej. Dzięki temu możliwa jest ocena stopnia naturalności i przekształcenia morfologicznego cieku (Szoszkiewicz, Gebler 2012). Ocenę stanu hydromorfologicznego metodą RHS wykonano jako wypadkową wskaźników naturalności HQA i przekształcenia siedliska HMS.

Na podstawie metody RHS, cztery z badanych odcinków zaklasyfikowano do pierwszej klasy stanu hydromorfologicznego, były to wszystkie odcinki zlokalizowane na Wrzosówce oraz odcinku środkowym Bystrzanki. Wrzosówka płynie przez naturalne tereny i dlatego charakteryzowała się najwyższą jakością hydromorfologiczną oraz brakiem przekształceń. Obniżenie wartości wskaźników w porównaniu z poprzednimi cyklami badawczymi oraz obniżenie klasy stanu dla odcinka górnego należy wiązać z presją hydrologiczną, (susza) niż pogorszeniem warunków hydromoroflogicznych. Jak wskazano w przypadku Bystrzanki jeden odcinek zaklasyfikowano do dobrego stanu hydromorfologicznego. Ponadto odcinek górny do trzeciej klasy (stan umiarkowany), a najsilniej przekształcony i najmniej naturalny odcinek dolny do klasy piątej. Uwidacznia się w tym przypadku pogarszanie stanu hydromorfologicznego w dole rzeki, co jest jednocześnie efektem wzrostu antropopresji. Niskim stanem hydromorfologicznym (słabym lub złym) charakteryzowały się wszystkie odcinki badanych rzek na stacjach Poznań-Morasko i Wolin. Najniższą klasę stanu hydromorfologicznego (klasa piąta) otrzymał górny odcinek Różanego Strumienia oraz kanał Kołczewo C. Niską ocenę wszystkich odcinków należy uznać za wynikającą z regulacji, nawet dawnych, podejmowanych w dużym stopniu z uwagi na otoczenie tych odcinków (tereny rolnicze lub zurbanizowane). (Jusik i in. 2024).

Porównanie uzyskanych wyników z poprzednimi badaniami przeprowadzonymi w poprzednich cyklach monitoringowych wskazuje na zmianę klasyfikacji stanu ośmiu odcinków rzecznych. Dotyczy to Lewińskiej Strugi na stanowisku Międzywodzie, Kanału Kołczewo C oraz środkowego i dolnego odcinka Wrzosówki, dla których na przestrzeni lat klasyfikacja się nie zmieniła. Dodatkowo w ostatnich dwóch cyklach badawczych nie zmieniła się ocena dolnego odcinka Różanego Strumienia i obecnie znajduje się nadal w czwartej klasie (klasa piąta podczas pierwszych badań). W roku 2024 obniżeniu uległa klasa stanu hydromorfologicznego na podstawie RHS czterech odcinków badawczych. W pierwszych dwóch cyklach badań górny odcinek Różanego Strumienia oraz dolny odcinek Bystrzanki klasyfikowane były w czwartej klasie stanu, a w roku 2024 ocena została obniżona do klasy piątej. Ponadto do klasy drugiej obniżona została ocena górnego odcinka Wrzosówki, co było efektem braku wody w korycie. Obniżona została także ocena górnego odcinka Bystrzanki, która powróciła do klasy trzeciej, tak jak podczas pierwszych badań w roku 2017. Dla pozostałych trzech odcinków klasa uległa podwyższeniu. Były to: odcinek środkowy Różanego Strumienia, Lewińska Struga na Stanowisku Ujście oraz środkowy odcinek Bystrzanki.

Stan geoekologiczny badanych geoekosystemów określono na podstawie niższej wartości otrzymanych wskaźników MIR i RHS. Do bardzo dobrego stanu geoekologicznego

(a klasa) zakwalifikowano Wrzosówkę, do umiarkowanego stanu (3 klasa) zakwalifikowano Bystrzankę, a do złego stanu (4 klasa) należały pozostałe dwa cieki: Lewińska Struga i Różany Strumień (Tab. 33).

Tab. 33. Wartości wskaźnika MIR, RHS i stan geoekologiczny koryt rzecznych w zlewniach ZMŚP (2024)

Stacja ZMŚP (ciek)	**MIR**	**RHS**	**Stan geoekologiczny**
Wolin (Lewińska Struga, Kanał Kołczewo)	3	4	zły
Poznań-Morasko (Różany Strumień)	2	4	zły
Beskid Niski (Bystrzanka)	3	3	umiarkowany
Karkonosze (Wrzosówka)	1	1	bardzo dobry

8. STAN GEOEKOLOGICZNY W EKSPERYMENTALNYCH GEOEKOSYSTEMACH ZLEWNI RZECZNYCH I JEZIORNYCH ZMŚP

Stan środowiska przyrodniczego badanych geoekosystemów określono na podstawie badań obejmujących realizację programów ZMŚP o interwale rocznym i trzyletnim. Wyniki badań ZMŚP obejmują relacje między składowymi elementami krajobrazu geograficznego, np. warunkami pogodowymi, procesami hydrologicznymi i geomorfologicznymi, stanem roślinności, antropopresją itp.

Stan geoekologiczny geoekosystemu oznacza rozpoznanie i określenie stanu przyrody ożywionej i nieożywionej w zasięgu monitorowanej zlewni rzecznej (lub jeziornej), w określonym czasie (doba, dekada, miesiąc, rok, wielolecie) ze wskazaniem kierunków zagrożeń i form ochrony i tendencji rozwoju. Opis stanu geoekologicznego należy dokonać w powiązaniu ze współczesnymi zmianami klimatu, działalnością człowieka, ze wskazaniem zachowania geo- i bioróżnorodności środowiska, z podaniem form zagrożeń oraz przedstawieniem przewidywanych tendencji rozwoju (prognozy).

Stan geoekologiczny roku 2024 został określony na podstawie wyników realizacji corocznego programu ZMŚP w Stacjach Bazowych w 2024 roku z uwzględnieniem stanu z roku poprzedniego (z 2023 roku na 2024 rok). Do oceny dynamiki rocznej stanu geoekologicznego wykorzystano programy: meteorologia, zanieczyszczenie powietrza, chemizm opadów atmosferycznych, chemizm opadu podkoronowego, chemizm spływu po pniach, chemizm roztworów glebowych, metale ciężkie i siarka w porostach, metale ciężkie i siarka w mchach, wody podziemne, opad organiczny, wody powierzchniowe – rzeki, wody powierzchniowe – jeziora, gatunki inwazyjne obcego pochodzenia – rośliny, uszkodzenia drzew i drzewostanów. Uzupełnieniem oceny geoekologicznej w 2024 roku było uwzględnienie także programów realizowanych 1 raz na 3 lata (Tab. 35): zmiany pokrycia terenu i użytkowanie ziemi, struktura i dynamika szaty roślinnej, hydrobiologia rzek – makrofity i hydromorfologiczna ocena koryt rzecznych, ocena usług geoekosystemów. Biorąc pod uwagę krótkookresową (z roku na rok) zmienność tych komponentów środowiska przyrodniczego można założyć, że wyniki z lat 2020-2023 są aktualne także dla 2024 roku.

Celem oceny geoekologicznej jest rozpoznanie oraz określenie jakościowe i ilościowe związków i zależności, o największym natężeniu, pomiędzy analizowanymi elementami środowiska geograficznego, które określają stan geoekologiczny geoekosystemu.

8.1. Potencjał środowiska przyrodniczego w oparciu o ocenę usług geoekosystemów

Potencjał środowiska przyrodniczego badanych geoekosystemów określono na podstawie realizacji programu „Ocena usług geoekosystemów". Ocena potencjału środowiska przyrodniczego do dostarczania usług polegała na porównaniu geoekosystemów (reprezentowanych przez określone typy pokrycia i użytkowania terenu) pod względem ich zdolności do dostarczania usług zaopatrujących, a zwłaszcza regulacyjnych. Metodyka określenia potencjału geoekosystemów oraz wyniki dla poszczególnych zlewni ZMŚP zostały zawarte w opracowaniu Lupy (2024). W procedurze wykorzystano matrycę usług ekosystemów, zawierającą wykaz typów ekosystemów i przypisane im usługi wraz z oceną poziomu usług.

Zdolność geoekosystemów do dostarczania poszczególnych usług oceniano na następujących poziomach: 0 – brak istotnego potencjału; 1 – niski potencjał; 2 – umiarkowanie niski potencjał, 3 – średni potencjał; 4 – wysoki potencjał; 5 – bardzo wysoki (maksymalny) potencjał. Bonitacją objęto 9 usług regulacyjnych:

- kształtowanie klimatu w skali globalnej – trwałe unieruchamianie gazów cieplarnianych (GHG) przez geoekosystemy;
- kształtowanie klimatu w skali lokalnej – oddziaływanie na elementy pogody i klimatu (wiatr, opady, temperaturę, wilgotność, radiację) przez komponenty geoekosystemów, zwłaszcza pokrycie terenu;
- poprawa jakości powietrza – przechwytywanie i filtrowanie pyłów, zanieczyszczeń chemicznych i gazowych;
- poprawa jakości wody – oddziaływanie geoekosystemów na jakość wody, np. poprzez ograniczanie zanieczyszczeń i patogenów;
- regulacja obiegu wody – wpływ na składowe cyklu obiegu wody (np. retencja i regulacja odpływu, naturalny drenaż, stabilizacja poziomu wód i przeciwdziałanie suszom);
- regulacja obiegu biogenów – zdolność geoekosystemu do recyklingu, np. azotu i fosforu;
- ochrona przed erozją – retencja glebowa oraz zdolność do przeciwdziałania erozji gleb i powstawania osuwisk;
- zapylanie i rozprzestrzenianie nasion – pszczoły, ptaki, nietoperze, ćmy, muchy i inne zwierzęta przyczyniające się do reprodukcji roślin poprzez przeniesienie ich pyłków lub nasion;

– kontrola szkodników i przeciwdziałanie plagom – zdolność do zwalczania szkodników i chorób, co czyni rośliny i zwierzęta mniej podatnymi na choroby i pasożyty.

W 2024 roku program „Ocena usług geoekosystemów" był realizowany w czterech Stacjach Bazowych: Łysogóry, Roztocze, Pogórze Karpackie i Beskid Niski. W ocenie usług geoekosystemów wzięto pod uwagę dominację klasy potencjału środowiska przyrodniczego (największy udział procentowy) dla danej usługi. Potencjał środowiska badanych geoekosystemów określono na podstawie sumy punktów z macierzy (Tab. 34), a warunkowany on był głównie strukturą użytkowania i formami pokrycia terenu. Wyróżniono 3 klasy potencjału środowiska: niski (<20 pkt), średni (20-40 pkt) i wysoki (>40 pkt).

Tab. 34. Potencjał środowiskowy w zlewniach ZMŚP na podstawie programu oceny usług geoekosystemów (2024)

Stacja Bazowa	Usługi regulacyjne									Suma pkt	Potencjał środowiska
	kształtowanie klimatu w skali globalnej	kształtowanie klimatu w skali lokalnej	poprawa jakości powietrza	poprawa jakości wody	regulacja obiegu wody	regulacja obiegu biogenów	ochrona przed erozją	zapylanie i rozprzestrzenianie nasion	kontrola szkodników i przeciwdziałanie plagom		
Łysogóry										42	wysoki
Roztocze										41	wysoki
Pogórze Karpackie										35	średni
Beskid Niski										14	niski

Potencjał środowiska przyrodniczego:

0 pkt – brak; 1 pkt – niski; 2 pkt – umiarkowanie niski; 3 –pkt umiarkowany; 4 pkt – wysoki; 5 pkt – bardzo wysoki

Wysokim potencjałem charakteryzowały się 2 analizowane zlewnie ZMŚP, o względnie małych przekształceniach antropogenicznych (Stacje: Łysogóry i Roztocze). Natomiast średni i niski potencjał stwierdzono w zlewniach podlegających większej antropopresji, Stacje: Pogórze Karpackie i Beskid Niski.

8.2. Stan geoekologiczny

W oparciu o realizowany program ZMŚP dokonano waloryzacji stanu geoekologicznego badanych geoekosystemów w oparciu o wyniki z lat 2021-2024 (Tab. 35). Dokonano oceny geoekologicznej komponentów środowiska przyrodniczego (zgodnie

z programem ZMŚP) monitorowanych w stacjach. Uwzględniono właściwości ilościowe i jakościowe oraz tendencje zmian danego komponentu środowiska przyrodniczego.

Waloryzacja stanu geoekologicznego środowiska dla poszczególnych komponentów środowiska przyrodniczego wykonana została w oparciu o następujące kryteria (Tylkowski, Kostrzewski 2018):

- stan dobry +1 pkt – pozytywna zmiana ilościowa lub jakościowa danego komponentu w 2024 roku w odniesieniu do roku 2023; lub zachowanie dobrego stanu z poprzedniego roku;
- stan przeciętny 0 pkt – brak zmiany ilościowej lub jakościowej danego komponentu w 2024 roku na tle roku 2023; lub zachowanie przeciętnego stanu z poprzedniego roku;
- stan słaby -1 pkt – negatywna zmiana ilościowa lub jakościowa danego komponentu w 2024 roku na tle roku 2023; lub zachowanie słabego stanu z poprzedniego roku.

Do oceny stanu środowiska badanych zlewni wzięto pod uwagę wyniki programów realizowanych w rocznym interwale czasowym oraz 1 raz na 3 lata w okresie 2021-2024 (Tab. 35). Poza programem Zmiany użytkowania ziemi i pokrycia terenu, nie uwzględniono wyników z roku 2022, ponieważ w roku 2022 nie były one realizowane. Dla programów realizowanych corocznie była możliwość odniesienia stanu poszczególnych komponentów środowiska przyrodniczego w 2024 roku do roku ubiegłego. Natomiast dla pozostałych programów odniesiono się do wyników badań z wcześniejszego cyklu pomiarowego.

Stan geoekologiczny dla danej zlewni określono jako sumę punktów otrzymanych z punktacji poszczególnych komponentów środowiska przyrodniczego (analizowanych programów ZMŚP): stan dobry ≥10 pkt; stan przeciętny 1-9 pkt; stan słaby ≤0 pkt. Jest to ujęcie o charakterze porównawczym, którego celem jest wyłącznie porównanie miedzy sobą badanych geoekosystemów oraz porównanie z rokiem poprzednim (Tylkowski, Kostrzewski 2018).

Stan geoekologiczny w głównej mierze określany był na podstawie obiegu wody w poszczególnych geoekosystemach. O zakwalifikowaniu danego komponentu środowiska do stanu dobrego, przeciętnego lub słabego decydował stan ilościowy wody na poszczególnych etapach jej obiegu, np. w programie A1 – meteorologia, stan geoekologiczny opiera się na klasyfikacjach: opadowej Kaczorowskiej (1962) oraz termicznej Lorenc (1998) (Tab. 13). W programach, w których badany jest skład chemiczny próbek wodnych, poza stanem ilościowym, brana była pod uwagę również jakość wody. Na przykład w programie H1 – wody powierzchniowe – rzeki, o słabym stanie geoekologicznym mogło zadecydować okresowe zanikanie odpływu fluwialnego, jak również zakwalifikowanie stanu elementów

fizykochemicznych zlewni jako poniżej dobrego – poniżej drugiej klasy (Tab. 24, Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021 r.). Z kolei w przypadku programów biotycznych, o stanie geoekologicznym decydowały wskaźniki przedstawione przy poszczególnych programach. Na przykład w programie K1 – uszkodzenia drzew i drzewostanów do dobrego stanu zaklasyfikowano zlewnie z zerową klasą defoliacji (do 10%), do przeciętnego stanu zlewnie z lekką defoliacją (10-25%), a do stanu słabego zlewnie ze średnią i wyższą defoliacją (powyżej 25%). Z kolei w programie Hydrobiologia rzek – makrofity i hydromorfologiczna ocena koryt rzecznych, stan geoekologiczny opierał się na wartościach wskaźników MIR (Makrofitowy Indeks Rzeczny) i RHS (River Habitat Survey).

Względnie najlepszym stanem geoekologicznym w 2024 roku charakteryzowały się geoekosystemy niepoddawane antropopresji, położone w Parkach Narodowych (Wolin, Karkonosze i Roztocze). Przeciętnym stanem odznaczały się geoekosystemy znajdujące się w Polsce północnej (Parsęta, Puszcza Borecka i Wigry), zlewnia Kanału Olszowieckiego (Kampinos) oraz zlewnie położone w strefie wyżynno-górskiej (Łysogóry, Pogórze Karpackie i Beskid Niski). Z kolei najgorszym stanem charakteryzowały się geoekosystemy poddane silnej antropopresji rolniczej i urbanizacyjnej (Pojezierze Chełmińskie i Poznań Morasko). Zlewnia Różanego Strumienia znajduje się w strefie negatywnego oddziaływania miasta Poznania, a zlewnia Strugi Toruńskiej podlega intensywnej presji rolniczej i oddziaływaniu miasta Toruń. W porównaniu z poprzednim rokiem, stan geoekologiczny w większości monitorowanych zlewni pozostał na podobnym poziomie (różnice ± 1 pkt). Nieznaczną poprawę (+2 pkt) zanotowano na Wolinie, w Wigrach i na Pojezierzu Chełmińskim. Z kolei pogorszenie stanu geoekologicznego (ponad -2 pkt) stwierdzono w Beskidzie Niskim, a wpłynęły na to w głównej mierze niekorzystne uwarunkowania hydrometeorologiczne. Niższe opady oraz wyższa temperatura niż w latach wcześniejszych negatywnie wpłynęły na obieg wody w geoekosystemie (Tab. 35). Przeprowadzona analiza umożliwia nie tylko na określenie aktualnego stanu badanych elementów środowiska przyrodniczego, ale także skali przemian środowiska przyrodniczego analizowanych geoekosystemów w cyklu rocznym, a także wieloletnim.

Tab. 35. Stan geoekologiczny zlewni badawczych ZMŚP w 2024 roku (na podstawie programów o rocznym i trzyletnim interwale czasowym)

Program ZMŚP	Rok	Wolin	Parsęta	Puszcza Borecka	Wigry	Pojezierze Chełmińskie	Poznań-Morasko	Kampinos	Łysogóry	Roztocze	Pogórze Karpackie	Beskid Niski	Karkonosze
Programy 1 raz/rok *+1 pkt stan dobry, 0 pkt stan przeciętny, -1 pkt stan słaby*													
Meteorologia	**2024**												
	2023												
Zanieczyszczenie powietrza	**2024**												
	2023												
Chemizm opadów atmosferycznych	**2024**												
	2023												
Chemizm opadu podkoronowego	**2024**												
	2023												
Chemizm spływu po pniach	**2024**												
	2023												
Chemizm roztworów glebowych	**2024**												
	2023												
Wody podziemne	**2024**												
	2023												
Opad organiczny	**2024**												
	2023												
Wody powierzchniowe – rzeki	**2024**												
	2023												
Wody powierzchniowe – jeziora	**2024**												
	2023												
Gatunki inwazyjne obcego pochodzenia – rośliny	**2024**												
	2023												
Uszkodzenia drzew i drzewostanów	**2024**												
	2023												
Metale ciężkie i siarka w porostach	**2024**												
	2023												
Metale ciężkie i siarka w mchach	**2024**												
	2023												
Programy 1 raz/3 lata *[+1 pkt stan dobry, 0 pkt stan przeciętny, -1 pkt stan słaby]*													
Zmiany pokrycia terenu i użytkowanie ziemi	2022												
Struktura i dynamika szaty roślinnej	2023												
Hydrobiologia rzek – makrofity i hydromorfologiczna ocena koryt rzecznych	2024												
	2023												
	2021												
Ocena usług geoekosystemów	2024												
	2023												
	2021												
Stan geoekologiczny	**2024**	**12**	**7**	**9**	**8**	**-3**	**-2**	**4**	**5**	**10**	**5**	**4**	**12**
	2023	**10**	**8**	**9**	**6**	**-5**	**-2**	**4**	**4**	**11**	**5**	**7**	**12**
	2022	**11**	**8**	**10**	**9**	**-3**	**-2**	**4**	**4**	**11**	**3**	**5**	**14**
	2021	**7**	**7**	**9**	**8**	**-3**	**-2**	**3**	**6**	**10**		**8**	**12**
	2020	**6**	**8**	**9**	**6**	**-6**	**-5**	**-4**	**4**	**6**		**9**	**11**

program nierealizowany w Stacji Bazowej

9. PODSUMOWANIE STANU EKSPERYMENTALNYCH GEOEKOSYSTEMÓW ZLEWNI RZECZNYCH I JEZIORNYCH POLSKI W 2024 ROKU

W 2024 roku hydrologicznym program ZMŚP realizowano w dwunastu stacjach bazowych, których lokalizacja odzwierciedla zróżnicowanie struktury krajobrazowej Polski. Funkcjonowanie monitorowanych eksperymentalnych zlewni ZMŚP, które są uznawane jako reprezentatywne dla danej strefy krajobrazowej, podlegało wpływom czynników naturalnych i antropogenicznych.

W młodoglacjalnej strefie Niżu Polskiego badanych jest sześć geoekosystemów o odmiennych, regionalnych i lokalnych uwarunkowaniach, które decydują o stanie środowiska przyrodniczego: Stacja Wolin odznaczająca się znacznym wpływem Bałtyku na atmosferyczną dostawę ładunku substancji rozpuszczonych, zwłaszcza w postaci aerozoli morskich, Stacja Parsęta, Stacja Puszcza Borecka, Stacja Wigry o względnie niskiej antropopresji, Stacja Pojezierze Chełmińskie wyróżniająca się bardzo dużą antropopresją związaną z funkcjonowaniem zmeliorowanej zlewni o użytkowaniu rolniczym i Stacja Poznań-Morasko charakteryzująca się silną antropopresją spowodowaną położeniem w granicach dużej aglomeracji miejskiej. W strefie nizin środkowopolskich monitorowana jest zlewnia Kanału Olszowieckiego w Stacji Kampinos, w której zaznacza się wpływ zanieczyszczeń atmosferycznych z Warszawy. Dwie Stacje Bazowe znajdują się w strefie wyżyn: Stacja Łysogóry, gdzie obserwowane jest oddziaływanie lokalnych i ponadregionalnych emisji przemysłowych oraz Stacja Roztocze, w której zaznacza się niska antropopresja. Z kolei w strefie górskiej monitorowane są trzy zlewnie: Stacje Pogórze Karpackie i Beskid Niski, gdzie należy zwrócić uwagę na ryzyko zanieczyszczeń transgranicznych ze Słowacji oraz z Krakowa oraz Stacja Karkonosze wyróżniająca się bardzo niską antropopresją.

O funkcjonowaniu i stanie środowiska przyrodniczego badanych geoekosystemów ZMŚP decyduje ich położenie w umiarkowanej strefie morfoklimatycznej, usytuowanie w różnych strefach krajobrazowych, o zróżnicowanej antropopresji. W oparciu o wieloletnie badania stacjonarne, można stwierdzić, że o przemianach środowiska przyrodniczego w umiarkowanej strefie morfoklimatycznej, w największym stopniu decyduje dynamika obiegu wody i materii rozpuszczonej, stymulowana przez uwarunkowania o charakterze lokalnym, regionalnym, a także globalnym.

Sprawą pierwszorzędnej wagi w prezentowanej analizie funkcjonowania eksperymentalnych geoekosystemów zlewni rzecznych i jeziornych była próba ilościowego i jakościowego oddzielenia oddziaływania czynników naturalnych i antropogenicznych.

Problematyka ta ma pierwszorzędne znaczenie w określeniu przyczyn obserwowanych zmian klimatu.

Rok 2024 odznaczał się zróżnicowaniem przestrzennym średniej rocznej temperatury powietrza i rocznej sumy opadów atmosferycznych w monitorowanych zlewniach. Warunki termiczne były niekorzystne, gdyż we wszystkich monitorowanych zlewniach rok 2024 był cieplejszy od wartości normalnej. Wyższe temperatury w 2024 roku wpisują się w trend stale wzrastającej średniej rocznej temperatury powietrza. Istotny statystycznie trend wzrostowy średniej rocznej temperatury powietrza stwierdzono we wszystkich dziesięciu stacjach posiadających przynajmniej 10-letnią serię pomiarową, tj. dla: Wolina, Parsęty, Puszczy Boreckiej, Wigier, Pojezierza Chełmińskiego, Kampinosu, Łysogór, Roztocza, Pogórza Karpackiego i Beskidu Niskiego. Ponadto w pięciu stacjach (Parsęta, Puszcza Borecka, Pojezierze Chełmińskie, Łysogóry i Beskid Niski) stwierdzono również istotny statystycznie trend wzrostowy frekwencji występowania dni gorących, a w czterech stacjach (Parsęta, Pojezierze Chełmińskie, Kampinos i Beskid Niski) również dla dni upalnych. Z kolei w przypadku frekwencji występowania dni mroźnych stwierdzono istotny statystycznie trend spadkowy dla dziewięciu stacji (Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie, Kampinos, Łysogóry, Roztocze i Beskid Niski), a w przypadku dni bardzo mroźnych w ośmiu stacjach (Wolin, Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie, Kampinos, Łysogóry, Roztocze i Beskid Niski).

Warunki opadowe w badanych zlewniach w 2024 roku były korzystne we wszystkich monitorowanych zlewniach. Umiarkowanie korzystne wystąpiły w czterech stacjach (Wigry, Kampinos, Roztocze i Beskid Niski), gdzie był to rok normalny pod względem opadowym, do korzystnych w pozostałych stacjach, gdzie był to rok wilgotny (Parsęta, Puszcza Borecka, Pojezierze Chełmińskie, Łysogóry i Pogórze Karpackie) lub bardzo wilgotny (Wolin, Poznań-Morasko i Karkonosze). Klasyfikacja ilościowa opadów w 2024 roku świadczy o względnym podobieństwie przestrzennym rocznej sumy opadów, co nie jest typowe dla klimatu Polski. Wyjątkiem są zlewnie charakteryzujące się większym wyniesieniem nad poziomem morza (położone w strefie gór zlewnie Starej Rzeki, Bystrzanki i Wrzosówki oraz położona w strefie wyżyn zlewnia Wieńca), odznaczające się stosunkowo wyższą roczną sumą opadów. Generalnie taka sytuacja potwierdza, że na dynamikę i strukturę opadów w Polsce wpływały czynniki globalne, a warunki regionalne i lokalne miały znaczenie drugorzędne.

Na funkcjonowanie środowiska przyrodniczego badanych geoekosystemów wpływał ładunek zanieczyszczeń dostarczony wraz z mokrą depozycją atmosferyczną. Jakość opadów atmosferycznych w 2024 roku pod względem wskaźnika odczynu i przewodności

elektrolitycznej właściwej była bardzo dobra w większości badanych geoekosystemów, poza zlewnią Wieńca w Górach Świętokrzyskich, którą zakwalifikowano do klasy przewodności znacznie podwyższonej. Przewodność nieznaczną stwierdzono w pięciu stacjach: Wolin, Puszcza Borecka, Poznań-Morasko, Roztocze i Karkonosze. W pozostałych stacjach mineralizacja opadów była lekko podwyższona. Odczyn opadów atmosferycznych w porównaniu do roku poprzedniego pozostał na podobnym poziomie. W dwóch stacjach (Wigry i Łysogóry) stwierdzono lekko podwyższone pH, również w dwóch stacjach (Pojezierze Chełmińskie i Beskid Niski) stwierdzono lekko obniżone pH. W pozostałych zlewniach opady mieściły się w grupie opadów o normalnej kwasowości. Należy podkreślić utrzymującą się pozytywną tendencję stabilizacji bądź obniżenia mineralizacji opadów atmosferycznych w większości badanych zlewni. Jakość atmosferycznej dostawy wody do geoekosystemów była dobra.

W 2024 roku potwierdzona została tendencja do większego udziału tlenków azotu niż dwutlenku siarki w zakwaszaniu opadów atmosferycznych. Większy udział dwutlenku siarki w zakwaszaniu opadów stwierdzono tylko w czterech stacjach (Łysogóry, Roztocze, Kampinos i Karkonosze). Powyższe prawidłowości odzwierciedlają sytuację większego wpływu związków azotu (np. NO_2) w zakwaszeniu opadów w Polsce, których źródłem są głównie zanieczyszczenia komunikacyjne. Jedynie w wymienionych wyżej zlewniach większy wpływ w zakwaszeniu opadów w 2024 roku miały siarczany, których źródłem jest zwłaszcza spalanie paliw kopalnych.

Korzystniejsze warunki hydrometeorologiczne w latach 2021-2023, a w szczególności w roku 2024, pozwoliły utrzymać umiarkowanie dobry stan hydrogeologiczny z 2023 roku. Tylko w sierpniu i październiku w Kampinosie stwierdzono występowanie głębokiej niżówki, a frekwencja występowania płytkiej niżówki była zdecydowanie niższa niż przed 2023 rokiem (wystąpiła ośmiokrotnie na Pojezierzu Chełmińskim oraz jednokrotnie w Kampinosie i Beskidzie Niskim). We wszystkich zlewniach wystąpiły miesiące ze spadkiem retencji, w głównej mierze w półroczu letnim, jednak ich frekwencja była niższa niż we wcześniejszych latach. Wyższe stany wody nie wpłynęły znacząco na stan jakościowy wód podziemnych w zlewniach badawczych ZMŚP, w ośmiu (Puszcza Borecka, Wigry, Poznań-Morasko, Kampinos, Łysogóry, Roztocze, Pogórze Karpackie i Karkonosze) z dwunastu zlewni stwierdzono zadowalającą klasę jakości wody, do dobrej klasy zaliczono tylko wody na Wolinie, Pojezierzu Chełmińskim i w Beskidzie Niskim, natomiast podwyższone zawartości jonów azotanowych spowodowały zakwalifikowanie wód podziemnych w zlewni górnej Parsęty do klasy niezadowalającej.

W oparciu o badane wskaźniki fizykochemiczne można stwierdzić, że stan elementów fizykochemicznych wód rzecznych pozostaje na podobnym, przeciętnym poziomie od roku 2016, chociaż w 2024 roku zanotowano kolejny, nieznaczny spadek jakości tych wód. Dwa badane cieki (Lewińska Struga i Świerszcz) posiadały w 2024 roku dobrą klasę elementów fizykochemicznych, a w żadnej zlewni nie stwierdzono bardzo dobrej klasy elementów fizykochemicznych. Z kolei w pozostałych dziewięciu ciekach (Parsęta, Czarna Hańcza, Struga Toruńska, Różany Strumień, Kanał Olszowiecki, Wieniec, Stara Rzeka, Bystrzanka i Wrzosówka) elementy te przekroczyły normy dla dobrego stanu (poniżej drugiej klasy). Należy jednak podkreślić, że w wielu przypadkach obniżenie klasy nie wynikało z antropopresji, lecz z naturalnych uwarunkowań geochemicznych zlewni. O obniżeniu klasy decydowały głównie podwyższone stężenia chlorków, wapnia i magnezu. Ponadto w Strudze Toruńskiej o klasie elementów fizykochemicznych poniżej dobrego zadecydowały również podwyższone wartości stężenia m.in. azotu azotanowego, którego przyczyną jest dominacja rolnego użytkowania zlewni i związane z tym nawożenie pól uprawnych. Stan elementów fizykochemicznych poniżej dobrego w Różanym Strumieniu, gdzie kumulują się negatywne wpływy oddziaływania północnych osiedli miasta Poznania, może być spowodowany dopływem ścieków i w efekcie podwyższeniem mineralizacji wody i wysokimi stężeniami jonów rozpuszczonych, np. chlorków. Z kolei ocena jakości elementów fizykochemicznych wody w monitorowanych 4 jeziorach (Gardno, Czarne, Łękuk i Kamionkowskie) pozwoliła na zakwalifikowanie tych wód do najlepszej klasy jakości wody.

W wodach powierzchniowych nie stwierdzono istotnej tendencji do spadku stężeń związków azotu, co może oznaczać, że stanowią one potencjalne zagrożenie wzmożonej eutrofizacji. Działaniem zapobiegawczym jest w tym przypadku zachowanie stref nadrzecznych i przyjeziornych z naturalnym pokryciem roślinności, w których zachodzi proces redukcji biogenów. Wieloletnie badania ilościowe i jakościowe wód zlewni rzecznych i jeziornych w programie ZMŚP potwierdzają występowanie tendencji do obniżenia stężenia jonów siarczanowych. Związane jest to przede wszystkim ze spadkiem stężenia SO_2 w powietrzu i opadach atmosferycznych. Przykładowo w Puszczy Boreckiej, w latach dziewięćdziesiątych XX wieku, średnie roczne stężenia siarczanów w opadach były większe niż stężenia azotanów, a w kolejnych latach coraz wyraźniej zaznaczała się dominacja jonów azotanowych nad siarczanowymi. Taka sytuacja jest związana z relacjami pomiędzy prekursorami tych związków – tlenkami siarki i azotu w powietrzu – stężenia SO_2 malały w tym okresie wyraźnie, a stężenia NO_2 wykazywały tendencję wzrostową (Degórska i in. 2025). Ta

zależność potwierdza aktualnie większą rolę w kształtowaniu jakości powietrza atmosferycznego przez zanieczyszczenia komunikacyjne niż przemysłowe.

W oparciu o trzydziestoletni okres standaryzowanego monitoringu, realizowanego w ramach programu ZMŚP można stwierdzić, że największe znaczenie na stan, zmienność i przemiany środowiska przyrodniczego geoekosystemów Polski wywierają czynniki antropogeniczne o zasięgu regionalnym (np. dostawa zanieczyszczeń atmosferycznych spoza zlewni badawczych) i lokalnym (np. zmiany użytkowania terenu zlewni ZMŚP). Uwarunkowania fizycznogeograficzne wynikające z położenia zlewni ZMŚP w poszczególnych strefach krajobrazowych Polski mają raczej drugorzędne znaczenie dla określenia mechanizmu funkcjonowania środowiska geograficznego. Jednakże w przypadku analizy niektórych geowskaźników, np. stężenia i udziału w opadach atmosferycznych jonów pochodzenia morskiego (Cl^- i Na^+) możliwa jest regionalizacja jakości opadów atmosferycznych w transektach południkowych i równoleżnikowym. Powyższa regionalizacja chlorkowo-sodowa opadów atmosferycznych corocznie zakłócona jest tylko podwyższonym stężeniem tych jonów w wyżynnej zlewni Wieńca (Stacja Łysogóry), czego przyczyną może być antropopresja, przejawiająca się podatnością na napływ zanieczyszczeń pochodzenia nie tylko lokalnego, ale również bardziej odległego.

Zagrożeniem dla funkcjonowania badanych geoekosystemów są zarówno procesy naturalne (np. ekstremalne zdarzenia hydrometeorologiczne i geomorfologiczne) jak i antropogeniczne związane z dostawą zanieczyszczeń. W 2024 roku nie stwierdzono istotnych zagrożeń w funkcjonowaniu środowiska przyrodniczego badanych zlewni. Wśród naturalnych zjawisk ekstremalnych potencjalnie przekształcających środowisko przyrodnicze badanych geoekosystemów wyróżnić można występowanie fal upałów w siedmiu zlewniach (Wolin, Pojezierze Chełmińskie, Poznań-Morasko, Kampinos, Roztocze, Pogórze Karpackie i Beskid Niski), a także, pomimo wilgotnego roku, suszy meteorologicznej w trzech zlewniach (Wolin, Łysogóry i Beskid Niski). Jednakże okresy bezopadowe nie spowodowały w większości badanych zlewni istotnych dla funkcjonowania środowiska przyrodniczego zmian. Efektem fal upałów i susz meteorologicznych był m.in. okresowy zanik odpływu fluwialnego w zlewniach: Strugi Toruńskiej, Różanego Strumienia, Kanału Olszowieckiego i Wieńca oraz ekstremalnie niskie przepływy w Starej Rzece i Bystrzance.

Istotna dla zachowania i oceny walorów przyrodniczych geoekosystemów Polski była realizacja w 2024 roku w Stacjach Bazowych programów biotycznych (metale ciężkie i siarka w porostach i mchach, uszkodzenia drzew i drzewostanów, bioindykacja dotycząca występowania roślinnych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia, hydrobiologia rzek oraz

struktura i dynamika szaty roślinnej), jak również programu ujmującego zmiany antropogeniczne (ocena usług geoekosystemów). Wartościowanie środowiska przyrodniczego w zlewniach ZMŚP pozwoliło na wypracowanie metodyki wyceny zasobów środowiska przyrodniczego w różnych geoekosystemach Polski oraz określenie potencjału środowiskowego badanych geoekosystemów.

W oparciu o długoletnie rozpoznanie zależności przyczynowo-skutkowych w zlewniach między abiotycznymi i biotycznymi komponentami środowiska przyrodniczego określenie (dla tego samego roku badawczego) zależności regresyjnej jest bardzo trudne, a wręcz niemożliwe. Przyroda ożywiona (np. porosty, makrofity) nie reaguje bezpośrednio i jednoznacznie na rozwój i zagrożenia wynikające z niekorzystnych uwarunkowań abiotycznych (np. warunki hydrometeorologiczne – susze, niżówki; zanieczyszczenia powietrza i opadów atmosferycznych). Na stan i przemiany świata ożywionego wpływa bardzo wiele zmiennych o niekiedy bardzo lokalnym zasięgu przestrzennym (np. warunki pogodowe, litologia, gleby, hydrologia i hydrogeologia), których wzajemne powiązania i zmienność czasowa decyduje o warunkach dla życia i rozwoju roślin i zwierząt. Poza tym stan i przemiany przyrody ożywionej charakteryzują się pewną inercją, gdzie niekorzystne uwarunkowania abiotyczne mogą skutkować dopiero po dłuższym okresie czasu. Dlatego bardzo istotne jest rozpatrywanie reakcji świata biotycznego na niekorzystne uwarunkowania środowiska abiotycznego w dłuższym okresie czasu. Pogorszenie stanu przyrody ożywionej (np. program uszkodzenia drzew i drzewostanów – parametry defoliacja i odbarwienie) może być konsekwencją niekorzystnych uwarunkowań abiotycznych (np. niedobór opadów, zakwaszenie wód opadowych, zanieczyszczenie powietrza) występujących kilka lat wcześniej. Przykładem takiej nie wprost proporcjonalnej i skomplikowanej zależności uwarunkowań abiotycznych do biotycznych były lata 2018 i 2019, kiedy występowały bardzo niekorzystne uwarunkowania abiotyczne (susza meteorologiczna, obniżenie poziomu wód gruntowych, ekstremalne niżówki w ciekach, zanik odpływu fluwialnego), które nie przełożyły się wtedy na pogorszenie jakości wody i zły stan przyrody ożywionej (porosty, makrofity, drzewostany). Taka sytuacja świadczy o dużej bezwładności, odporności i bardzo dobrej jakości środowiska przyrodniczego w badanych zlewniach. Przemiany biotycznych komponentów środowiska przyrodniczego (np. zasięg przestrzenny gatunków i zbiorowisk roślinnych) mogą wynikać z:

1) długookresowego oddziaływania presji będącej efektem m.in. zmian klimatycznych (np. wzrost średniej rocznej temperatury powietrza może skutkować pogorszeniem zdrowotności i zmianą zasięgu występowania, a nawet „wycofania się" gatunków preferujących niższe temperatury, np. świerka w Polsce północno-wschodniej).

Przykładem zmian klimatycznych, generujących zmiany geoekosystemów leśnych są obserwacje dotyczące zmian zbiorowisk leśnych w nadmorskiej strefie brzegowej Bałtyku (Tylkowski 2015b), m.in. w zasięgu Stacji Bazowej Wolin. Dla polskiej strefy brzegowej Bałtyku stwierdzono występowanie trendu wzrostu średniej rocznej temperatury powietrza 0,32°C/10 lat. Skutkiem wzrostu zasobów ciepła, zwłaszcza w sezonie wegetacyjnym, będzie występowanie w ciągu najbliższych 20 lat odpowiednich warunków cieplnych do występowania zbiorowisk leśnych typu *Fagetum* i degradacja zbiorowisk leśnych *Piceetum*. Z kolei może to spowodować wzrost defoliacji i odbarwienia igieł w drzewostanach sosnowych, ich większą podatność na zagrożenia pogodowe (np. wiatr, susze) oraz mniejszą odporność na szkodniki. Jeśli trend wzrostu warunków termicznych się nie zmieni to za 150 lat będą istniały dogodne warunki termiczne dla rozwoju ciepłolubnych lasów typu *Castanetum* i wtedy lasy bukowe będą bardziej podatne na zagrożenia (Tylkowski 2015b);

2) krótkookresowej, nagłej antropopresji związanej ze zmianą warunków siedliskowych (np. zmiany warunków wodnych, nadmiernej dostawy biogenów czy zmiany form użytkowania i pokrycia terenu).

Posiadając w Centralnej Bazie Danych ZMŚP blisko trzydziestoletnie ciągi pomiarowe, uzasadnione jest prognozowanie przyszłych zmian środowiska przyrodniczego w badanych zlewniach. W 2023 roku w raportach Stacji Bazowych ZMŚP przedstawione zostało modelowanie zmian bilansu wodnego i biogeochemicznego (modelowanie Soil and Water Assessment Tool – SWAT). Modelowanie obejmowało m.in. odpływ wody ze zlewni oraz odpływy azotu azotanowego i fosforu. Przeprowadzona została również symulacja odpływu w trzech okresach: 2021-2030, 2031-2040 i 2041-2050 w oparciu o dane klimatyczne uzyskane z internetowego portalu KLIMADA 2.0. Efektem zastosowanego modelowania było uzyskanie informacji w zakresie kierunków rozwoju środowiska przyrodniczego monitorowanych zlewni.

Realizacja programu ZMŚP w ramach monitoringu przyrody ożywionej funkcjonującego w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska posiada duże znaczenie dla ochrony zasobów przyrodniczych Polski. Dziewięć zlewni badawczych ZMŚP (Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Kampinos, Łysogóry, Roztocze, Beskid Niski i Karkonosze) znajduje się w granicach obszarów specjalnej ochrony siedlisk Natura 2000, a sześć zlewni znajduje się w Parkach Narodowych. Wyniki monitoringu zintegrowanego są przydatne dla Parków Narodowych w zakresie sporządzanych planów ochrony przyrody oraz pomagają w realizacji programu Natura 2000, który służy ochronie dziedzictwa przyrodniczego bio- i georóżnorodności Polski zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju.

Należy zwrócić uwagę na edukacyjne i dydaktyczne funkcje realizowanego programu ZMŚP w różnych regionach Polski. Funkcja edukacyjna, np. podczas prezentacji grupom szkolnym, a także w ramach organizowanych poza ZMŚP seminariów i konferencji naukowych, jest doskonałą możliwością przekazywania informacji o aktualnym stanie środowiska przyrodniczego, kierunkach zagrożeń i formach ochrony, jak również kształtowania właściwych postaw w odniesieniu do zrównoważonego rozwoju środowiska przyrodniczego.

W oparciu o dyskusje programu ZMŚP wprowadzono przedmioty Monitoring środowiska przyrodniczego oraz Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego do programu studiów wyższych na kierunkach geografia w większości ośrodków akademickich w Polsce. Inicjatywa ta jest z powodzeniem realizowana, co pomaga w przygotowaniu specjalistów w zakresie monitoringu środowiska przyrodniczego (Kostrzewski i in. 2022).

Należy zwrócić uwagę na przydatność praktyczną wyników monitoringu środowiska przyrodniczego geoekosystemów dla celów zagospodarowania przestrzennego w samorządach lokalnych. Realizacja programu ZMŚP spełnia ważną funkcję planistyczno-decyzyjną, która polega na wykorzystaniu oceny stanu środowiska przyrodniczego monitorowanych geoekosystemów jako podstawy decyzji planistycznych, np. w planach miejscowych zagospodarowania przestrzennego.

Dane pomiarowe z realizacji programu ZMŚP umożliwiają realizację projektów badawczych i aplikacyjnych. W tym zakresie ważnym zadaniem w realizacji programu ZMŚP jest zwiększenie współpracy z Regionalnymi Wydziałami Monitoringu Środowiska GIOŚ, a także z Regionalnymi Dyrekcjami Ochrony Środowiska, z Regionalnymi Dyrekcjami Lasów Państwowych, jak również z władzami samorządowymi. Rozwinięcie współpracy z wyżej wymienionymi jednostkami pozwoli na większe upowszechnienie wyników badań ZMŚP. Włączenie Stacji Bazowych ZMŚP do systemu europejskiego Integrated Monitoring upowszechnia informacje o stanie środowiska przyrodniczego w Polsce, pozwala na studia porównawcze w skali kontynentalnej.

Podstawowym celem ZMŚP na kolejne lata jest wypracowanie i wzmocnienie indywidualności przedmiotowej programu ZMŚP w kompleksowej ocenie stanu i przemian środowiska przyrodniczego Polski oraz ugruntowanie pozycji w monitoringu krajowym i europejskim. Natomiast podstawowym zadaniem w odniesieniu do postawionego celu jest analiza i weryfikacja aktualnego programu ZMŚP w powiązaniu z rozwojem nauk o środowisku i uwarunkowaniach prawnych (konwencje, dyrektywy). Z merytorycznego punktu widzenia najważniejszym zadaniem jest oddzielenie wpływu czynników naturalnych

i antropogenicznych oraz określeniu skali przemian środowiska przyrodniczego, zarówno pod względem jakościowym, jak i ilościowym.

Szczegółowe, kompleksowe opracowania stanu i przemian oraz ukazanie związków przyczynowo-skutkowych w funkcjonowaniu środowiska przyrodniczego w badanych geoekosystemach ZMŚP w 2024 roku na tle wielolecia przedstawiono w raportach Stacji Bazowych ZMŚP, które stanowią załącznik do niniejszego opracowania.

LITERATURA

Awłasiewicz W., 1953: Sposób badania odpływu rzek przy pomocy mapy parowania. Gospodarka Wodna 13(6), 202-205.

Czernecki B., Miętus M., 2017: The thermal seasons variability in Poland, 1951–2010. Theor Appl Climatol 127: 481–493.

Czyryca P., 2017: Zagrożenie inwazyjnymi gatunkami roślin obcego pochodzenia w zlewni Jeziora Gardno (Woliński Park Narodowy). Przegląd Przyrodniczy XXVIII 3: 18-28.

Degórska A., Skotak K., Prządka Z., Bratkowski J., Białoskórska U., Typiak-Nowak D., Syrzycki M., 2025: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Puszcza Borecka w 2024 roku. Warszawa, maszynopis.

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2000/60/WE z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej. Dz. U. UE L00.327 z dnia 22 grudnia 2000 r.

Dyrektywa Rady 91/271/EWG z dnia 21 maja 1991 r. dotycząca oczyszczania ścieków komunalnych. Dz. U. UE L91.135 z dnia 30 maja 1991 r.

Dyrektywa Rady 91/676/EWG z dnia 12 grudnia 1991 r. dotycząca ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego. Dz. U. UE L91.375 z dnia 31 grudnia 1991 r.

Environment Agency, 2003: River Habitat Survey in Britain and Ireland – Field Survey Guidance Manual: 2003 Version. Environment Agency, Warrington.

Froehlich W., 1982: Mechanizm transportu fluwialnego i dostawy zwietrzelin w górskiej zlewni fliszowej. Prace Geogr. IGiPZ PAN, 143.

Genovesi P., Shine C., 2004: European strategy on invasive alien species. Nature and environment, No. 137, Council of Europe Publishing.

Grodzińska K., Laskowski R., 1996: Ocena stanu środowiska i procesów zachodzących w lasach zlewni potoku Ratanica (Pogórze Wielickie, Polska Południowa). Bibl. Monit. Środ. Warszawa.

Herbich J., 2003: Dyrektywa Siedliskowa – założenia, realizacja, perspektywy. Parki Narodowe 2: 3-8.

Isidorow W., Jaroszyńska J., 1998. Chemiczne problemy ekologii, Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok.

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

Jusik S., Gebler D., Szoszkiewicz K., 2024: Hydrobiologia rzek – makrofity i ocena hydromorfologiczna koryta rzecznego. Sprawozdanie z realizacji II etapu umowy GIOŚ/ZP/139/2023/DMŚ/NFOŚiGW pt. „Realizacja programu Zintegrowanego Monitoringu

Środowiska Przyrodniczego (ZMŚP) – nadzór merytoryczny oraz przeprowadzenie badań w latach 2023-2025”,. Poznań, maszynopis

Kaczorowska Z., 1962: Opady w Polsce w przekroju wieloletnim. Prace Geogr. IG PAN (33): 1-102.

Kejna M., Hildebrandt K., Nowak M., Pius B., Rasała Ł., Rutkowski L., Rasała Ł., Sobota I., 2025: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Pojezierze Chełmińskie w 2024 roku. Toruń, maszynopis.

Kejna M., Rudzki M., 2021: Spatial diversity of air temperature changes in Poland in 1961–2018. Theoretical and Applied Climatology 143(3): 1361-1379.

Kijowska-Strugała M., Bochenek W., 2025: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Beskid Niski w 2024 roku. Szymbark, maszynopis.

Klimek M., Bojarczuk A., Krzaklewski P., Michno A., Piątek D., Rajwa-Kuligiewicz A., Siwek J., Stachurska-Swakoń A., Święchowicz J., Szymański W., 2025: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Pogórze Karpackie w 2024 roku. Łazy, maszynopis.

Kolander R., 1999: Stan geoekosystemów Polski w 1998 roku. http://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_1998.pdf

Kostrzewski A., 1993: Geoekosystem obszarów nizinnych. Koncepcja metodologiczna. [W:] A. Kostrzewski (red.), Geoekosystem obszarów nizinnych, Polska Akademia Nauk, Kom. Nauk. Prez. PAN „Człowiek i Środowisko”, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław: 11-17.

Kostrzewski A., 1995: Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego – cele, założenia i zadania. [W:] A. Kostrzewski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Propozycje programowe, Bibl. Monit. Środ., Warszawa: 7-22.

Kostrzewski A., 2003: Obieg wody i jego wpływ na powstanie i funkcjonowanie struktur krajobrazowych strefy młodoglacjalnej (Polska północno-zachodnia, Pomorze Zachodnie). [W:] A. Kostrzewski, J. Szpikowski (red.), Funkcjonowanie geoekosystemów zlewni rzecznych 3: 17-20.

Kostrzewski A., Kruszyk R., Kolander R., 2006: Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Zasady organizacji, system pomiarowy, wybrane metody badań.

Kostrzewski A., Majewski M. (red.), 2018: Stan i przemiany środowiska przyrodniczego geoekosystemów Polski w latach 1994-2015 w oparciu o realizację programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.

Kostrzewski A., Majewski M. (red.), 2021: Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Organizacja, system pomiarowy, metody badań. Wytyczne do realizacji, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.

Kostrzewski A., Marciniak M., Szpikowski J., Majewski M., Szeląg T., 2022: Założenia i realizacja problematyki monitoringu środowiska przyrodniczego w dydaktyce uniwersyteckiej. [W:] A. Kostrzewski, J. Szpikowski, M. Majewski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Współczesne przemiany naturalne i antropogeniczne środowiska przyrodniczego zlewni rzecznych i jeziornych. Poznań: Bogucki Wydawnictwo Naukowe: 59-71.

Kostrzewski A., Mazurek M., Stach A., 1995: Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego – Zasady organizacji, system pomiarowy, wybrane metody badań. Bibl. Monit. Środ., Warszawa.

Kostrzewski A., Mizgajski A., Stępniewska M., Tylkowski J., 2014: The use of Integrated Environmental Programme for ecosystem services assessment. Ekonomia i Środowisko 4 (51): 94-101.

Kostrzewski A., Pulina M. (red.), 1992: Metody hydrochemiczne w geomorfologii dynamicznej. Wybrane problemy. Prace Naukowe UŚ, 1254, Katowice.

Kostrzewski A., Szpikowski J., Szpikowska G., Domańska M., Kruszyk R., Tylkowski J., 2007: Ocena stanu środowiska geograficznego zlewni górnej Parsęty na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w latach 1994-2006. [W:] A. Kostrzewski, A. Andrzejewska (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Program Zintegrowanego Monitoringu Środowiska przyrodniczego a zadania ochrony Obszarów Natura 2000. Bibl. Monit. Środ., Warszawa: 161-174.

Kozłowski R., Szwed M., Przybylska J., Suligowski R., 2025: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Łysogóry w 2024 roku. Kielce, maszynopis.

Krakowski K., Dobrowolski M., Stanek M., Przewoźnik L., Rachwalska P., 2025: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Karkonosze w 2024 roku. Jelenia Góra, maszynopis.

Kruszyk R., 2003: Stan geoekosystemów Polski w 2002 roku. https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2002.pdf

Kruszyk R., 2004: Stan geoekosystemów Polski w roku 2003. https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2003.pdf

Kruszyk R., 2005: Stan geoekosystemów Polski w roku 2004. https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2004.pdf

Kruszyk R., 2006: Stan geoekosystemów Polski w roku 2005. https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2005.pdf

Kruszyk R., 2009: Raport o stanie geoekosystemów Polski w roku 2008. https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2008.pdf

Kruszyk R., 2010: Stan geoekosystemów Polski w roku 2009. https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2009.pdf

Kundzewicz Z.W., 2011: Zmiany klimatu, ich przyczyny i skutki – obserwacje i projekcje. Landform Analysis (15): 39-49.

Lorenc H., 1998: Ocena stopnia realizacji programu "obserwacje meteorologiczne i badania klimatyczne w systemie zintegrowanego monitoringu środowiska" oraz synteza uzyskanych wyników badań za okres 1994-1997. [W:] A. Kostrzewski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie i tendencje rozwoju geoekosystemów Polski. IX Sympozjum ZMŚP, Bibl. Monit. Środ., Warszawa: 113-119.

Lupa P., 2024: Ocena usług geoekosystemów. Sprawozdanie z realizacji II etapu umowy GIOŚ/ZP/139/2023/DMŚ/NFOŚiGW pt. „Realizacja programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (ZMŚP) – nadzór merytoryczny oraz przeprowadzenie badań w latach 2023-2025",. Poznań, maszynopis

Łowicki D., Mizgajski A., 2013: Typology of physical-geographical regions in Poland in line with land-cover structure and its changes in the years 1990-2006. Geographia Polonica 86 (3): 255-266.

Macioszczyk A., 1987: Hydrogeochemia, Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa.

Mackiewicz A., Krzysztofiak L., Romański M., Danilczyk M., 2025: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Wigry w 2024 roku. Krzywe, maszynopis.

Majewski M., Kostrzewski A., 2019: Stan geoekosystemów Polski w roku 2018. https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/Raport_2018.pdf

Majewski M., Kostrzewski A., 2020: Stan geoekosystemów Polski w roku 2019. https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/Raport_2019.pdf

Majewski M., Kostrzewski A., 2021: Stan geoekosystemów Polski w roku 2020. https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2021/11/Raport_2020.pdf

Majewski M., Kostrzewski A., 2022: Stan geoekosystemów Polski w roku 2021. https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2022/09/Raport_2021.pdf

Majewski M., Kostrzewski A., 2023: Stan geoekosystemów Polski w roku 2022. https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2024/02/Raport_2022.pdf

Majewski M., Kostrzewski A., 2024: Stan geoekosystemów Polski w roku 2023. https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2025/01/Raport_2023.pdf

Major M., 2007: Stan geoekosystemów Polski w roku 2006. https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2006.pdf

Major M., 2008: Stan geoekosystemów Polski w roku 2007. https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2007.pdf

Major M., Chudzińska M., Dajdok Z., Kolendowicz L., Kruszyk R., Majewski M., Marciniak M., Okońska M., Półrolniczak M., Stefaniak M., 2025: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Poznań-Morasko w 2024 roku. Poznań, maszynopis.

Manual for Integrated Monitoring, 1998: Finnish Environment Institute, ICP IM Programme Centre, Helsinki, Finland. www.syke.fi/nature/icpim > Manual for Integrated Monitoring, dostęp: 20.05.2020.

Mazurek M., 2000: Zmienność transportu materiału rozpuszczonego w zlewni Kłudy jako przejaw współczesnych procesów denudacji chemicznej (Pomorze Zachodnie). Wyd. Nauk. UAM, Poznań.

Mazurek M., Zwoliński Z., 2000: Funkcjonowanie wybranych geoekosystemów Polski w świetle pomiarów monitoringowych w roku hydrologicznym 1999. http://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_1999.pdf

Mazurek M., Zwoliński Z., 2001: Stan geoekosystemów Polski w roku 2000. https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2000.pdf

Mazurek M., Zwoliński Z., 2002: Stan geoekosystemów Polski w roku 2001. https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2001.pdf

Michalska G.M., Szpikowski J., 2000: Obieg wody w geoekosystemie zlewni górnej Parsęty w roku hydrologicznym 2005. [W:] Funkcjonowanie i monitoring geoekosystemów z uwzględnieniem lokalnych problemów ekologicznych. Ossolineum, Wrocław. Kom. Nauk. Prez. PAN „Człowiek i środowisko", Z. Nauk., 25: 87-104.

Miętus M., Wibig J., 2011: Klimat. Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo. Zmiany klimatu i ich wpływ na środowisko naturalne Polski oraz określenie ich skutków ekonomicznych. IMGW Warszawa-Gdynia-Kraków.

Mizgajski A., Stępniewska M., 2012: Ecosystem services assessment for Poland – challenges and possible solutions. Ekonomia i Środowisko 2 (42): 54-73.

Olszewski A., Andrzejewska A., Gutkowska A., 2025: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Kampinos w 2024 roku. Leszno k. Warszawy – Izabelin, maszynopis.

Pińskwar I., Choryński A., Graczyk D., Kundzewicz Z.W., 2019: Observed changes in extreme precipitation in Poland: 1991–2015 versus 1961–1990. Theoretical and Applied Climatology 135(1): 773-787.

Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej 2019: Z dnia 11 października 2019 r. sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych. Dziennik Ustaw 2019, poz. 2148.

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury 2021: 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. Dziennik Ustaw 2021 poz. 1475.

Rozporządzenie Ministra Środowiska 2012: Z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu, Dziennik Ustaw 2012, poz. 1031.

Rynkiewicz A., 2007: Problemy eutrofizacji wód w Polsce i ich ograniczanie w sposób naturalny. Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, Poznań.

Sapek A., 2009: Współczesne źródła chlorków w środowisku wód śródlądowych. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych nr 40: 455-464.

Solon J., Borzyszkowski J., Bidłasik M., Richling A., Badora K., Balon J., Brzezińska-Wójcik T., Chabudziński Ł., Dobrowolski R., Grzegorczyk I., Jodłowski M., Kistowski M., Kot R., Krąż P., Lechnio J., Macias A., Majchrowska A., Malinowska E., Migoń P., Myga-Piątek U., Nita J., Papińska E., Rodzik J., Strzyż M., Terpiłowski S., Ziaja W., 2018: Physicogeographical mesoregions of Poland: Verification and adjustment of boundaries on the basis of contemporary spatial data. Geographia Polonica, 91 (2): 143-170.

Stach A., 2009: Analiza struktury przestrzennej i czasoprzestrzennej maksymalnych opadów dobowych w Polsce w latach 1956-1980. Wyd. Nauk, UAM, Poznań, 323.

Stachyra P, Maciejewski Z., Radliński B., Sokołowski A., Szpyra E., 2025: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Roztocze w 2024 roku. Zwierzyniec, maszynopis.

Szoszkiewicz K., Gebler D. 2012: Polska wersja systemu oceny stanu hydromorfologicznego rzek River Habitat Survey – nowe zastosowania w praktyce. Gospodarka Wodna 4: 141-146

Szoszkiewicz K., Jusik Sz., Gebler D., Achtenberg K., Adynkiewicz-Piragas M., Radecki-Pawlik A., Okruszko T., Giełczewski M., Marcinkowski P., Pietruczuk K., Przesmycki M., Nawrocki P., Chmist J., Szostak M., 2020: Hydromorphological Index for Rivers (HIR): a new method for hydromorphological assessment and classification for flowing waters in Poland. Journal of Ecological Engineering 21: 271-261.

Szoszkiewicz K., Zbierska J., Jusik S., Zgoła T., 2010: Makrofitowa Metoda Oceny Rzek. Podręcznik metodyczny do oceny i klasyfikacji stanu ekologicznego wód płynących w oparciu o rośliny wodne. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań

Szpikowska G., 2004: Jakość i rola opadów atmosferycznych w systemie denudacyjnym zlewni młodoglacjalnej (Chwalimski Potok, górna Parsęta). [W:] M. Kejna, J. Uscka (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Funkcjonowanie i monitoring geoekosystemów w warunkach narastającej antropopresji, Bibl. Monit. Środ.: 167-176.

Szpikowska G., 2011: Uwarunkowania i zmienność chemizmu wód opadowych, podziemnych i powierzchniowych w zlewni Chwalimskiego Potoku (górna Parsęta). [W:] A. Kostrzewski, M. Samołyk (red.), Funkcjonowanie geoekosystemów w warunkach zmian użytkowania terenu i narastającej antropopresji. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Vol. XXVIII, Biała Góra: 173-186.

Szpikowska G., Tylkowski J., 2006: Denudation balance of the Upper Parsęta catchment in the years 2000-2004. Quaestiones Geographicae 25A: 75-82.

Szpikowski J., 2011: Stan geoekosystemów Polski w roku 2010 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (z wykorzystaniem wybranych geoindykatorów). https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2010b.pdf

Szpikowski J., 2012: Stan geoekosystemów Polski w roku 2011 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (z wykorzystaniem wybranych geoindykatorów). https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2011.pdf

Szpikowski J., Borysiak J., Domańska M., Kostrzewski A., Kruszyk R., Majewski M., Szpikowska G., Szeląg T., Woźniewicz-Szcześniak Z., 2025: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Parsęta w 2024 roku. Storkowo, maszynopis.

Tokarska-Guzik B., Dajdok Z., Zając M., Zając A., Urbisz A., Danielewicz W., Hołdyński Cz., 2012: Rośliny obcego pochodzenia w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem gatunków inwazyjnych. GDOŚ Warszawa.

Tylkowski J., 2005: Sezony transportu fluwialnego górnej Parsęty jako odbicie funkcjonowania rzek Pobrzeża Bałtyku. [W:] Plejstoceńskie i holoceńskie przemiany środowiska przyrodniczego Polski, K. Borówka (Red.), US, INoM, PTG, Szczecin: 58-62.

Tylkowski J., 2013: Stan geoekosystemów Polski w roku 2012 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (z wykorzystaniem wybranych geoindykatorów). https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2012.pdf

Tylkowski J., 2014: Stan geoekosystemów Polski w roku 2013 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2013.pdf

Tylkowski J., 2015a: Stan geoekosystemów Polski w roku 2014 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2014.pdf

Tylkowski J., 2015b: The variability of climatic vegetative seasons and thermal resources at the Polish Baltic Sea coastline in the context of potential composition of coastal forest communities. Baltic Forestry 21 (1): 73-82

Tylkowski J., 2016: Stan geoekosystemów Polski w roku 2015 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2015.pdf

Tylkowski J., Czyryca P., Winowski M., Kostrzewski A., 2025: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Wolin w 2024 roku. Biała Góra, maszynopis.

Tylkowski J., Kostrzewski A., 2017: Stan geoekosystemów Polski w roku 2016 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. https://centrumzmsp.home.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2016.pdf

Tylkowski J., Kostrzewski A., 2018: Stan geoekosystemów Polski w roku 2016 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. https://centrumzmsp.home.amu. edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2017.pdf

Withers P.J.A., Neal C., Jarvie H., Doody D.G., 2014: Agriculture and Eutrophication: Where Do We Go from Here?, Sustainability, 6(9): 5853-5875.

Zajączkowski G., 2021: Programy pomiarowe Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego: Program K1 – Uszkodzenia drzew i drzewostanów. [W:] A. Kostrzewski, M. Majewski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Organizacja, system pomiarowy, metody badań. Wytyczne do realizacji. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Wydawnictwo Naukowe Bogucki, Warszawa: 297-305.

Zwoliński Z., 1997: Stan geoekosystemów Polski w roku hydrologicznym 1996. https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_1996.pdf

Zwoliński Z., 1998: Geoindykatory w badaniach współczesnej dynamiki geoekosystemów. [W:] A. Kostrzewski (red.), Zintegrowany monitoring środowiska przyrodniczego, Funkcjonowanie i tendencje rozwoju geoekosystemów Polski. Bibl. Monit. Środ., Warszawa: 163-167.

http://siedliska.gios.gov.pl/pl/monitoring/metodyka

http://zmsp.gios.gov.pl

Spis rycin

Ryc. 1. Lokalizacja Stacji ZMŚP w strefach krajobrazowych Polski (Kostrzewski i in. 2014 zmienione) 9

Ryc. 2. Lokalizacja Stacji Bazowych Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w podprowincjach fizycznogeograficznych Polski, (Solon i in. 2018, zmienione) 11

Ryc. 3. Lokalizacja Stacji Bazowych ZMŚP w parkach narodowych Polski 17

Ryc. 4. Lokalizacja zlewni badawczych ZMŚP na tle obszarów Natura 2000 w Polsce 18

Ryc. 5. Położenie zlewni Stacji Bazowych ZMŚP w zasięgu obszarów Natura 2000 22

Ryc. 6. Średnie roczne temperatury powietrza w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2024 roku hydrologicznym na tle wielolecia 37

Ryc. 7. Trendy temperatury powietrza w Stacjach Bazowych ZMŚP – Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie, Kampinos, Łysogóry, Roztocze, Pogórze Karpackie i Beskid Niski 37

Ryc. 8. Sumy roczne opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2024 roku hydrologicznym na tle wielolecia 38

Ryc. 9. Przebieg roczny temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2024 roku na tle wielolecia 41

Ryc. 10. Przebieg zmian liczby dni gorących (Tmax>25°C) w latach 1994-2024 w Stacjach Bazowych ZMŚP dysponujących przynajmniej 10-letnim okresem pomiarowym 43

Ryc. 11. Przebieg zmian liczby dni upalnych (Tmax>30°C) w latach 1994-2024 w Stacjach Bazowych ZMŚP dysponujących przynajmniej 10-letnim okresem pomiarowym 43

Ryc. 12. Przebieg zmian liczby dni mroźnych (Tmax<0°C) w latach 1994-2024 w Stacjach Bazowych ZMŚP dysponujących przynajmniej 10-letnim okresem pomiarowym 44

Ryc. 13. Przebieg zmian liczby dni bardzo mroźnych (Tmin<-10°C) w latach 1994-2024 w Stacjach Bazowych ZMŚP dysponujących przynajmniej 10-letnim okresem pomiarowym 44

Ryc. 14. Zmienność czasowa współczynników miesięcznych przepływu w roku hydrologicznym 2024 na tle zmienności czasowej wartości współczynników miesięcznych przepływu z wielolecia 65

Ryc. 15. Klasyfikacja pH i SEC opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2024 roku (dla opadu całkowitego) 70

Ryc. 16. Zmienność czasowa SEC opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2024 roku hydrologicznym na tle wielolecia 71

Ryc. 17. Istotne statystycznie trendy spadku SEC w opadach atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP – Puszcza Borecka, Pojezierze Chełmińskie i Kampinos 72

Ryc. 18. Zmienność czasowa kwasowości opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2024 roku hydrologicznym na tle wielolecia 73

Ryc. 19. Istotne statystycznie trendy wzrostu odczynu (spadku zakwaszenia) opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP – Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Kampinos, Roztocze i Beskid Niski 74

Ryc. 20. Zmiany wskaźnika czynników kwasogennych w zakwaszaniu wód opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP w wieloleciu 1994-2024 76

Ryc. 21. Deficyt odpływu wody i bilans substancji rozpuszczonych w zlewniach ZMŚP w latach 2015-2023. S – deficyt odpływu, B – bilans substancji rozpuszczonych 94

Ryc. 22. Przebieg termicznych pór roku w zlewniach badawczych ZMŚP w 2024 roku 97

Ryc. 23. Czas trwania termicznych pór roku w zlewniach badawczych ZMŚP w 2024 roku 98

Ryc. 24. Zmienność czasu trwania okresu wegetacyjnego w Stacjach Bazowych ZMŚP dysponujących ponad 5-letnim okresem pomiarowym 101

Ryc. 25. Średnie roczne stężenia NO2 w zlewniach badawczych ZMŚP w latach 2003-2024 (metoda pasywna) 103

Ryc. 26. Średnie roczne stężenia SO2 w zlewniach badawczych ZMŚP w latach 2003-2024 (metoda pasywna) 103
Ryc. 27. Średnie miesięczne stężenia NO2 w 2024 roku w zlewniach badawczych ZMŚP (metoda pasywna) 104
Ryc. 28. Średnie miesięczne stężenia SO2 w 2024 roku w zlewniach badawczych ZMŚP (metoda pasywna) 104

Spis tabel

Tab. 1. Charakterystyka położenia zlewni eksperymentalnych ZMŚP w strefach krajobrazowych i dominującej formy pokrycia terenu (Kostrzewski i in. 2014, zmienione) 10
Tab. 2. Charakterystyka fizycznogeograficzna zlewni eksperymentalnych ZMŚP 12
Tab. 3. Podstawowy program pomiarowy realizowany przez Stacje Bazowe ZMŚP w 2024 r. 24
Tab. 4. Programy badawczo-pomiarowe ZMŚP zrealizowane w Stacjach Bazowych ZMŚP przez Ekspertów ZMŚP w 2024 roku 25
Tab. 5. Zakres programów i parametrów pomiarowych ZMŚP wykonanych w Stacjach Bazowych w 2024 roku 26
Tab. 6. Programy specjalistyczne realizowane w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2024 roku 33
Tab. 7. Średnia temperatura powietrza i suma opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2024 roku 35
Tab. 8. Liczba dni charakterystycznych temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2024 roku 46
Tab. 9. Klasyfikacja opadowa dla roku (Kaczorowska 1962, zmienione) 47
Tab. 10. Roczna klasyfikacja opadowa dla Stacji Bazowych ZMŚP 49
Tab. 11. Klasyfikacja termiczna roku wg Lorenc (1998) 50
Tab. 12. Roczna klasyfikacja termiczna dla Stacji Bazowych ZMŚP 51
Tab. 13. Klasyfikacja termiczno-opadowa dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2024 roku 52
Tab. 14. Wartości maksymalne i minimalne temperatur w roku hydrologicznym 2024 w Stacjach Bazowych ZMŚP 53
Tab. 15. Wskaźnik miesięcznych zmian retencji RM dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2024 roku hydrologicznym 56
Tab. 16. Wskaźnik zagrożenia niżówką hydrogeologiczną kn dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2024 roku hydrologicznym 58
Tab. 17. Miesięczne średnie wartości współczynnika odpływu [-] i odpływu jednostkowego oraz ekstremalne dobowe odpływy jednostkowe [dm-3·s-1·km-2] w 2024 roku hydrologicznym w Stacjach Bazowych ZMŚP 59
Tab. 18. Miesięczne wysokości warstwy opadu i odpływu [mm] oraz skróconego bilansu wodnego [mm] w 2024 roku hydrologicznym w zlewniach ZMŚP 66
Tab. 19. Klasyfikacja przewodności elektrolitycznej wód opadowych (wg Jansena i in. 1988) 69
Tab. 20. Klasyfikacja odczynu wód opadowych (wg Jansena i in. 1988) 69
Tab. 21. Średnie stężenie substancji rozpuszczonych w wodach opadowych w zlewniach ZMŚP w 2024 roku 78
Tab. 22. Klasy jakości wody i stan chemiczny wód podziemnych w zlewniach ZMŚP w 2024 roku wg wybranych elementów fizykochemicznych 81
Tab. 23. Średnie stężenie substancji rozpuszczonych w wodach rzecznych w zlewniach ZMŚP w 2024 roku 83
Tab. 24. Klasyfikacja wybranych elementów fizykochemicznych wód płynących w zlewniach ZMŚP w 2024 roku wg Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021 86
Tab. 25. Jakość wód stojących w 2024 roku wg wybranych elementów fizykochemicznych (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021) 87

Tab. 26. Wskaźniki eutrofizacji rzek w Stacjach ZMŚP w 2024 roku 89
Tab. 27. Wskaźniki eutrofizacji jezior w Stacjach ZMŚP w 2024 roku 89
Tab. 28. Bilans jonów denudacyjnych i biogenicznych w zlewniach badawczych ZMŚP w 2023 roku 93
Tab. 29. Sezon wegetacyjny w zlewniach badawczych ZMŚP w 2024 roku 99
Tab. 30. Zanieczyszczenie powietrza – średnie roczne stężenie SO2 i NO2 [µg·m-3] w zlewniach badawczych ZMŚP w 2024 roku 102
Tab. 31. Średnia defoliacja w zlewniach ZMŚP w 2024 roku hydrologicznym 106
Tab. 32. Występowanie roślinnych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia w zlewniach ZMŚP w latach 2016-2024 107
Tab. 33. Wartości wskaźnika MIR, RHS i stan geoekologiczny koryt rzecznych w zlewniach ZMŚP (2024) 111
Tab. 35. Potencjał środowiskowy w zlewniach ZMŚP na podstawie programu oceny usług geoekosystemów (2024) 114
Tab. 36. Stan geoekologiczny zlewni badawczych ZMŚP w 2024 roku (na podstawie programów o rocznym i trzyletnim interwale czasowym) 117