

Dofinansowano ze środków  
Narodowego Funduszu Ochrony  
Środowiska i Gospodarki Wodnej

**Sprawozdanie z realizacji II 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 2023 roku**

**Poznań  
2024**

**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 geosystemów Polski w 2023 roku**  
**na podstawie badań**  
**Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego**

**Poznań 2024**

## 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 JEZIORNÝCH ZMŚP	34
5.1. Warunki pogodowe	34
5.2. Wody podziemne	54
5.3. Wody powierzchniowe	58
5.4. Skrócony bilans wodny	64
6. GEOINDYKATORY JAKOŚCI WODY W EKSPERYMENTALNYCH GEOEKOSYSTEMACH ZLEWNI RZECZNYCH I JEZIORNÝCH ZMŚP	67
6.1. Opady atmosferyczne	67
6.2. Wody podziemne	78
6.3. Wody powierzchniowe	80
6.4. Bilans jonów denudacyjnych i biogennych	88
7. WPŁYW UWARUNKOWAŃ ABIOTYCZNYCH NA PRZYRODĘ OŻYWIONĄ W EKSPERYMENTALNYCH GEOEKOSYSTEMACH ZLEWNI RZECZNYCH I JEZIORNÝCH ZMŚP	94
7.1. Termiczne pory roku	94
7.2. Sezon wegetacyjny	98
7.3. Zanieczyszczenie powietrza	101
7.4. Uszkodzenia drzew i drzewostanów	104
7.5. Roślinne gatunki inwazyjne obcego pochodzenia	105
7.6. Hydrobiologia rzek – makrofity i hydromorfologiczna ocena koryt rzecznych	107
7.7. Struktura i dynamika szaty roślinnej	109
8. STAN GEOEKOLOGICZNY W EKSPERYMENTALNYCH GEOEKOSYSTEMACH ZLEWNI RZECZNYCH I JEZIORNÝCH ZMŚP	112
8.1. Potencjał środowiska przyrodniczego w oparciu o ocenę usług geoeekosystemów	112
8.2. Stan geoeekologiczny	114
9. MODELOWANIE ZMIAN BILANSU WODNEGO I BIOGEOCHEMICZNEGO EKSPERYMENTALNYCH ZLEWNI ZMŚP	118
10. PODSUMOWANIE STANU EKSPERYMENTALNYCH GEOEKOSYSTEMÓW ZLEWNI RZECZNYCH I JEZIORNÝCH POLSKI W 2023 ROKU	126
LITERATURA	134
Spis rycin	139
Spis tabel	141

## 1. WPROWADZENIE

Opracowanie zostało wykonane zgodnie z umową nr GIOŚ/ZP/139/2023/DMS/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 geosystemów Polski”. W pracy przedstawiono stan geosystemów Polski w 2023 roku hydrologicznym, z odniesieniem do wieloletniego (1994-2022) okresu badań w ramach Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (ZMŚP). Takie podejście badawcze umożliwia określenie skali przemian środowiska przyrodniczego monitorowanych geosystemów eksperymentalnych zlewni rzecznych i jeziornych, w powiązaniu z obserwowanymi zmianami klimatu i różnymi przejawami antropopresji.

Program badawczo-pomiarowy ZMŚP w 2023 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 2023 rok hydrologiczny (od 1 listopada 2022 roku do 31 października 2023 roku), w których przedstawiono funkcjonowanie geosystemów (zlewni) eksperymentalnych, uznanych za reprezentatywne w wybranych strefach krajobrazowych Polski (tj. Degórska i in. 2024; Kejna i in. 2024; Kijowska-Strugała, Bochenek 2024; Klimek i in. 2024; Kozłowski i in. 2024; Krakowski i in. 2024; Mackiewicz i in. 2024; Major i in. 2024; Olszewski i in. 2024; Stachyra i in. 2024; Szpikowski i in. 2024; Tylkowski i in. 2024). W opracowaniu wykorzystano także dane zgromadzone w Centralnej Bazie Danych ZMŚP za lata hydrologiczne 1994-2023. Szczególnie przydatne w prezentowanych studiach porównawczych było syntetyczne opracowanie dotyczące funkcjonowania i przemian środowiska przyrodniczego wybranych geosystemów Polski w oparciu o realizację programu ZMŚP w latach 1994-2015 (Kostrzewski, Majewski 2018). Powyższe opracowanie umożliwiło odniesienie stanu środowiska przyrodniczego monitorowanych geosystemów do lat poprzednich

(1994-2015). Indywidualnością opracowania jest określenie skali przemian środowiska przyrodniczego Polski w różnych układach czasowych i przestrzennych.

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 i zasoby przyrodnicze.

Realizowany program pomiarowy ZMŚP, systematyczna jego weryfikacja (co 3 lata), 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), funkcjonującego w ramach Konwencji w sprawie transgranicznego zanieczyszczenia powietrza na dalekie odległości, przyjętej w Genewie w dniu 13 listopada 1979 roku. Od 2017 roku 9 stacji z sieci badawczo-pomiarowej monitoringu geosystemów 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 NEC.

Podstawowym celem niniejszego opracowania jest syntetyczne przedstawienie informacji o stanie środowiska przyrodniczego oraz tendencjach przemian i rozwoju wybranych geosystemów Polski w 2023 roku na tle wielolecia 1994-2022. 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 geosystemach, 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 geosystemu, 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 ujednoczenia 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). 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 geosystemów 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 geosystemie 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 rzeczno-jeziornego, występowania susz oraz opadów rozlewnych i nawałnych, identyfikacji epizodów i okresów występowania wezbrań i niżówek w wodach powierzchniowych i podziemnych. Dostawa wody do badanych geosystemów 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 geosystemów 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). 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 postęp 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 rozwoju środowiska geograficznego.

Raport za 2023 rok, będący przedmiotem niniejszego opracowania, podobnie jak sprawozdania za lata 2011-2022 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 geosystemów, 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 na aktualną ocenę stanu środowiska oraz na predykcję jego rozwoju. Centralna Baza Danych ZMŚP zawiera blisko 2 mln rekordów przedstawiających rzeczywiste, terenowe dane z okresu 1994-2023. 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 2023 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 geokosystem (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 2023 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).



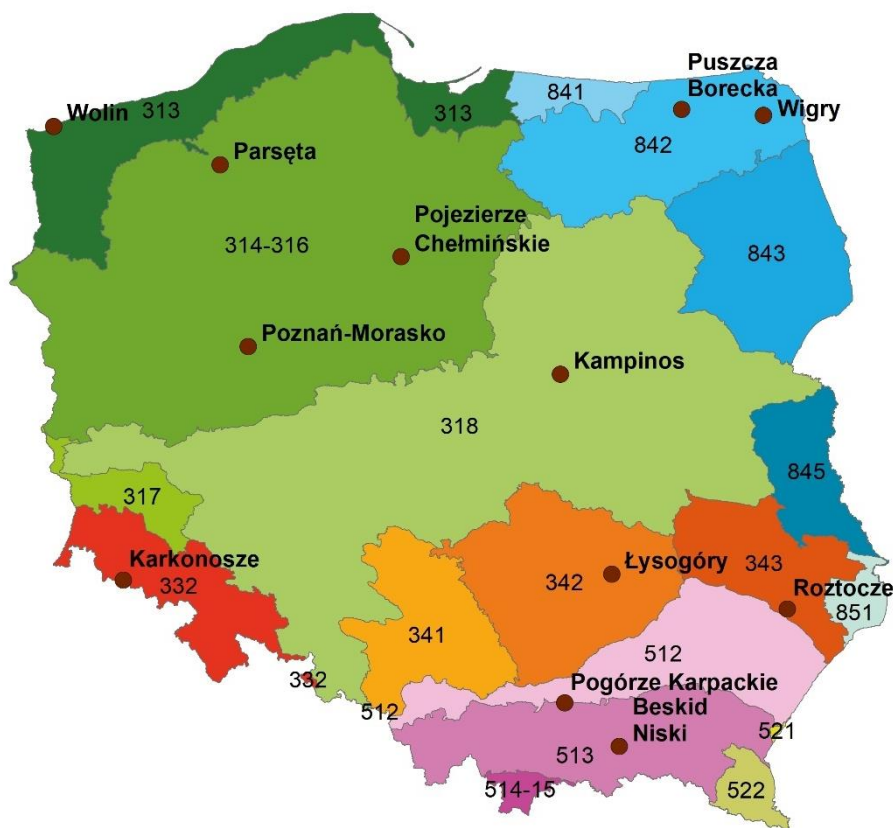
Ryc. 1. Lokalizacja Stacji ZMŚP w strefach krajobrazowych Polski (Kostrzewski i in. 2014 zmienione)

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 Wienca, 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 Łękek 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	górną Parsęta	Pojezierza	zróżnicowana	1994
Puszcza Borecka	jezioro Łękek	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 Rzeką	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<sup>2</sup>. Do największych powierzchniowo geosystemów należą zlewnie: górnej Parsęty (74,0 km<sup>2</sup>), Świerszcza (46,5 km<sup>2</sup>) i Strugi Toruńskiej (35,2 km<sup>2</sup>). Z kolei najmniejsze w sieci ZMŚP są zlewnie Wieńca (1,3 km<sup>2</sup>) i jeziora Gardno (2,4 km<sup>2</sup>). Lokalizacja Stacji Bazowych ZMŚP uwzględnia zróżnicowanie 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.



Ryc. 2. Lokalizacja Stacji Bazowych Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w podprovincjach 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; WOLIN – Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu; PUSZCZA BORECKA – Instytut Ochrony Środowiska PIB; WIGRY – Wigierski Park Narodowy; POJEZIERZE CHEŁMIŃSKIE – Uniwersytet M. Kopernika; POZNAŃ-MORASKO – Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu; KAMPINOS – Kampinoski Park Narodowy; ŁYSOGÓRY – Uniwersytet J. Kochanowskiego; ROZTOCZE – Roztoczański Park Narodowy; POGÓRZE KARPACKIE – Uniwersytet Jagielloński; BESKID NISKI – Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN; KARKONOSZE – Karkonoski Park Narodowy

Tab. 2. Charakterystyka fizycznogeograficzna zlewni eksperymentalnych ZMŚP

Stacja Bazowa ZMŚP	Zlewnia	Powierzchnia [km <sup>2</sup> ]	Zlewnia/Dorzecze	Mezoregion fizycznogeograficzny	Makroregion fizycznogeograficzny
Wolin	jeziorno Gardno	2,4	Morze Bałtyckie	Uznam i Wolin	Pobrzeże Szczecińskie
Parsęta	Parsęta	74,0	Parsęta	Pojezierze Drawskie	Pojezierze Zachodniopomorskie
Puszcza Borecka	jeziorno Łękek	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 Nizy Polskiego (Stacje Bazowe: Wolin, Parsęta, Poznań-Morasko), strefa górską (Stacja Bazowa Karkonosze).
2. Transekt środkowy: strefa młodoglacjalna Nizy Polskiego (Stacja Bazowa Pojezierze Chełmińskie), strefa staroglacjalna Nizy Polskiego (Stacja Bazowa Kampinos), strefa wyżynna (Stacja Bazowa Łysogóry), strefa górską (Stacje Bazowe: Pogórze Karpackie i Beskid Niski).
3. Transekt wschodni: strefa młodoglacjalna Nizy 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 Nizy 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 Nizy 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 geokosystem 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 podobnych obszarów położonych w nadmorskiej strefie młodoglacjalnej Polski (Tylkowski i in. 2024).

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. 2024).

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. 2024).

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. 2024).

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

pozwała 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. 2024).

Krajobraz staroglacjalny Polski centralnej reprezentowany jest przez zlewnię Kanału Olszowieckiego (Stacja Bazowa Kampinos), położoną w obrębie Puszczy Kampinoskiej, gdzie dominuje geosystem 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. 2024).

Stacja Bazowa Łysogóry obejmuje badania 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 hyllo-, pedo- i hydrosfery (Kozłowski i in. 2024).

Stacja Bazowa Roztocze realizuje badania w wyżynnej zlewni śródleśnego ciekłu – Świerszcza, położona jest w mezoregionach Roztocza Środkowego i Roztocza Zachodniego. Strefa źródłiskowa 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. 2024).

Stacja Bazowa Pogórze Karpackie, zlokalizowana w zlewni Starej Rzeki reprezentuje geosystem 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 wierzchołkach. 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. 2024).

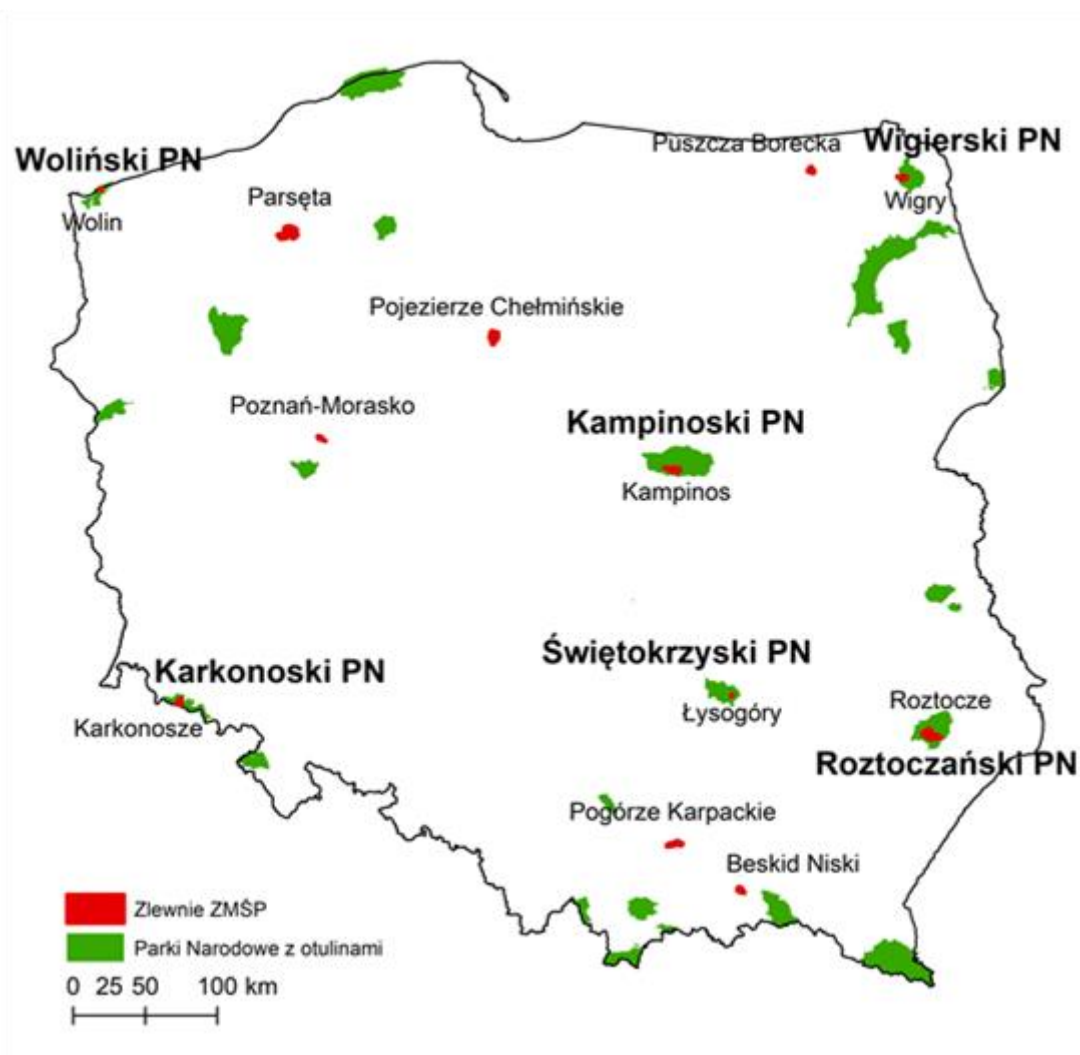
Stacja Bazowa Beskid Niski, zlokalizowana w zlewni Bystrzanki, reprezentuje geokosystem części Karpat Fliszowych, który w coraz mniejszym stopniu narażony jest na napływ zanieczyszczeń atmosfery, m.in. w wyniku likwidacji zakładów przemysłowych w Gorlicach. Monitoring w Stacji Bazowej Beskid Niski uwzględnia 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 2024).

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 regła 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. 2024).



### 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). Lokalizacja Stacji Bazowych ZMŚP na terenie parków narodowych. 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 Łęku 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).

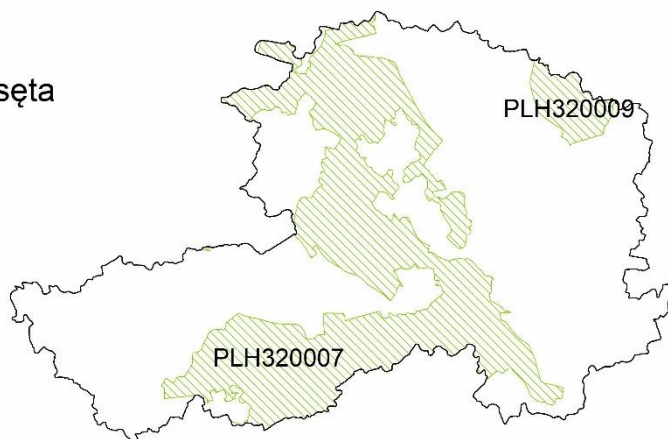
4. Zlewnia Czarnej Hańczy, objęta monitoringiem Stacji Bazowej Wigry, wchodzi w około 74,5% w skład specjalnych obszarów ochrony siedlisk sieci Natura 2000: *Ostoja Wigierska (PLH200004 – 68,5%)* i *Ostoja Augustowska (PLH200005 – 6%)*, jak również w 71% w skład obszaru specjalnej ochrony ptaków *Puszcza 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 otuliny. 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 Wolin



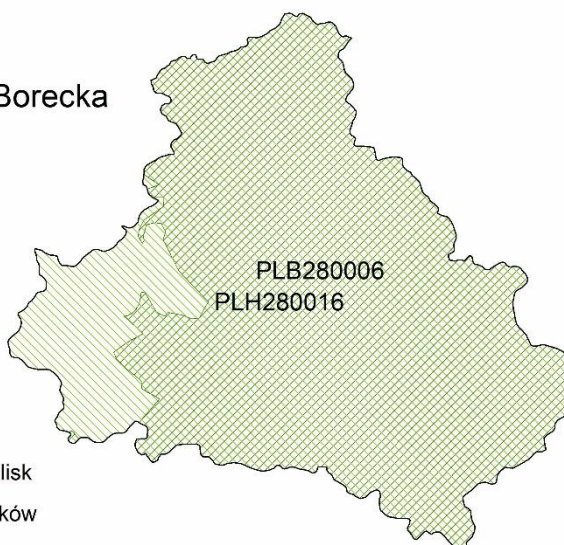
- Granica zlewni jeziora Gardno
- ▨ Specjalny obszar ochrony siedlisk

### Stacja Bazowa Parsęta



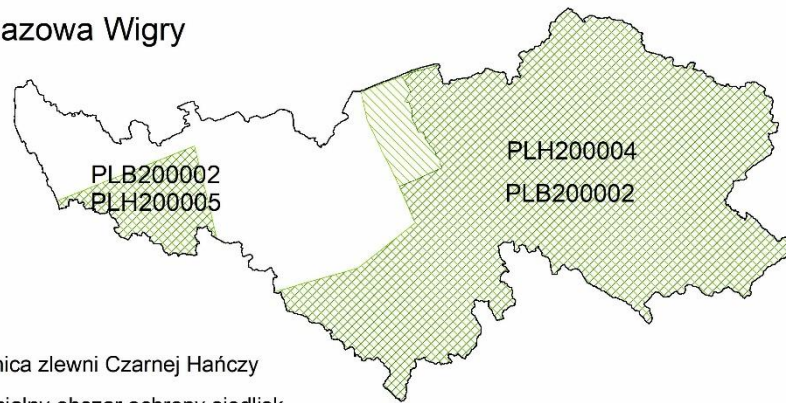
- Granica zlewni górnej Parsęty
- ▨ Specjalny obszar ochrony siedlisk

### Stacja Bazowa Puszcza Borecka



- Granica zlewni jeziora Łękek
- ▨ Specjalny obszar ochrony siedlisk
- ▩ Obszar specjalnej ochrony ptaków

### Stacja Bazowa Wigry



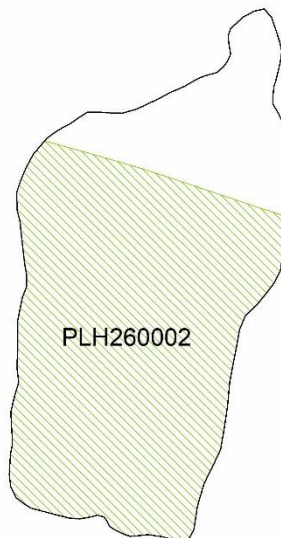
- Granica zlewni Czarnej Hańczy
- ▨ Specjalny obszar ochrony siedlisk
- ▩ Obszar specjalnej ochrony ptaków

### Stacja Bazowa Kampinos



- Granica zlewni Kanału Olszowieckiego
- ▩ Specjalny obszar ochrony siedlisk i obszar specjalnej ochrony ptaków

### Stacja Bazowa Łysogóry



- Granica zlewni Wieńca
- ▨ Specjalny obszar ochrony siedlisk



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 ramach 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 metod 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. Regionalni Dyrektorzy Ochrony Środowiska prowadzą monitoring stanu przedmiotów ochrony zgodnie z planami zadań ochronnych dla obszarów Natura 2000. Monitoring przyrodniczy jest integralnym elementem działań ochronnych realizowanych w parkach narodowych i określony w planach ochrony dla parków narodowych. 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, spełzowania, 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 2023 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 2023 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, chemizm spływu po pniach, opad organiczny oraz uszkodzenia drzew i drzewostanów. 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 ciekun nie wykonywano programu H1 wody powierzchniowe – rzeki. Program E1 – Gleby został zrealizowany przez wszystkie stacje w zakresie przewidzianym do realizacji przez Stacje Bazowe (pomiar pH i przewodności). Ponadto, w 2023 roku, stacje wykonały modelowanie



zmian bilansu wodnego i biogeochemicznego dla zlewni reprezentatywnych ZMŚP, w ramach programu analitycznego, który realizowany jest co trzy lata.

W 2023 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 Józwiak, Europejski Instytut Kształcenia Podyplomowego EIPOS). Również na wszystkich Stacjach zrealizowano program Struktura i dynamika szaty roślinnej (powierzchnie stałe) J2 (zadanie 11. umowy ZMŚP – prof. UAM dr hab. Julian Chmiel, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu). Program Gleby E1, realizowany raz na 10 lat w danej zlewni, wykonano w Stacji Roztocze (zadanie 7. umowy ZMŚP – dr inż. Michał Kozłowski, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu). W czterech Stacjach ZMŚP: Puszcza Borecka, Wigry, Łysogóry i Pogórze Karpackie wykonano Program I1 Hydrobiologia rzek makrofity i ocena hydromorfologiczna koryta rzecznej, 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 geoeosystemów, 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: Wolin, Parsęta, Poznań-Morasko i Karkonosze (Tab. 1 Tab. 4).

Tab. 4. Programy badawczo-pomiarowe ZMŚP zrealizowane w Stacjach Bazowych ZMŚP przez Ekspertów ZMŚP w 2023 roku

Program pomiarowy	Wolin	Parsęta	Puszcza Borecka	Wigry	Pojezierze Chelmińskie	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 rzecznej I1												
Struktura i dynamika szaty roślinnej (powierzchnie stałe) J2												
Świadczenia geoeosystemów												
	zrealizowany przez Eksperta ZMŚP				programy będą realizowane w kolejnych latach zgodnie z harmonogramem							

W tabeli 5. przedstawiono programy i parametry pomiarowe zrealizowane w 2023 roku przez Stacje ZMŚP, zarówno w ramach zakresu obligatoryjnego jak i rozszerzonego. Zrealizowano 13 programów ZMŚP, wśród których badano 126 parametrów podstawowych i 46 parametrów rozszerzonych.

Tab. 5. Zakres programów i parametrów pomiarowych ZMŚP wykonanych w Stacjach Bazowych w 2023 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 BI	Zakres obligatoryjny			
	siarka w dwutlenku siarki S-SO <sub>2</sub> (oznaczana metodą pasywną)	SO2S_P	1/miesiąc	Wszystkie stacje
	azot w dwutlenku azotu N-NO <sub>2</sub> (oznaczana metodą pasywną)	NDON_P		
	Zakres rozszerzony			
	siarka w dwutlenku siarki S-SO <sub>2</sub> (metoda manualna lub automatyczna)	SO2S	1/dobę	Puszcza Borecka, Roztocze, Beskid Niski
	azot w dwutlenku azotu N-NO <sub>2</sub> (metoda manualna lub automatyczna)	NDON		Puszcza Borecka, Pojezierze Chelmińskie, Kampinos, Roztocze, Beskid Niski
	ozon O <sub>3</sub>	O3		Puszcza Borecka
	azot azotanowy [HNO <sub>3</sub> (g)+NO <sub>3</sub> (a)]	NO3N_T		
	azot amonowy [NH <sub>3</sub> (g)+NH <sub>4</sub> (a)]	NH4N_T		
	dwutlenek węgla CO <sub>2</sub>	CO2		
	siarka siarczanowa S-SO <sub>4</sub>	SO4S		Pojezierze Chelmińskie
	pył zawieszony	PM10		
	CHEMIZM OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH CI	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 <sub>4</sub>		SO4S		
azot azotanowy N-NO <sub>3</sub>		NO3N		
azot amonowy N-NH <sub>4</sub>		NH4N		
chlorki Cl		CL		
sód Na		NA		
potas K		K		
wapń Ca		CA		
magnez Mg		MG		
Zakres rozszerzony				
fosfor ogólny P <sub>ogól.</sub>		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 Pojezierza 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 <sub>4</sub>	SO4S		
	azot azotanowy N-NO <sub>3</sub>	NO3N		
	azot amonowy N-NH <sub>4</sub>	NH4N		
	chlorki Cl	CL		
	sód Na	NA		
	potas K	K		
	wapń Ca	CA		
	magnez Mg	MG		
	Zakres rozszerzony			
	fosfor ogólny P <sub>ogól.</sub>	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 Pojezierza 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 <sub>4</sub>	SO4S		
	azot azotanowy N-NO <sub>3</sub>	NO3N		
	azot amonowy N-NH <sub>4</sub>	NH4N		
	chlorki Cl	CL		
	sód Na	NA		
	potas K	K		
	wapń Ca	CA		
	magnez Mg	MG		
	Zakres rozszerzony			
	fosfor ogólny P <sub>ogól.</sub>	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 <sub>2</sub> O	PH_EW20	1/rok	Wszystkie stacje
	przewodność zawiesiny w H <sub>2</sub> O	COND_EW		
	odczyn (pH) zawiesiny w CaCl <sub>2</sub>	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 <sub>4</sub>	SO4S		
	azot azotanowy N-NO <sub>3</sub>	NO3N		
	azot amonowy N-NH <sub>4</sub>	NH4N		
	fosfor ogólny P <sub>ogól.</sub>	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, 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 <sub>4</sub>	SO4S		
	azot azotanowy N-NO <sub>3</sub>	NO3N		
	azot amonowy N-NH <sub>4</sub>	NH4N		
	fosfor ogólny P <sub>ogól.</sub>	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 <sub>2</sub>	O2		Roztocze, Beskid Niski
	mangan Mn	MN		Puszcza Borecka
	żelazo Fe	FE		
	rozpuszczony węgiel organiczny RWO	DOC		
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 <sub>org</sub>	TOC	1/rok z próbek miesięcznych	
	azot ogólny N <sub>ogól.</sub>	NTOT		
	fosfor ogólny P <sub>ogól.</sub>	PTOT		
	potas K	K		
	Zakres rozszerzony			
	siarka ogólna S <sub>ogól.</sub>	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 HI	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 <sub>3</sub>	NO3N		
	azot amonowy N-NH <sub>4</sub>	NH4N		
	siarka siarczanowa S-SO <sub>4</sub>	SO4S		
	chlorki Cl	CL		
	fosfor ogólny P <sub>ogól.</sub>	PTOT		
	tlen rozpuszczony O <sub>2</sub>	O2D		
	BZT <sub>5</sub>	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, Pojezierze 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, Pojezierze Chełmińskie
mangan Mn	MN	Puszcza Borecka		
żelazo Fe	FE			
rozpuszczony węgiel organiczny RWO	DOC			
GATUNKI INWAZYJNE OBCEGO POCHODZENIA – ROŚLINY I3	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		



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 2023 roku także programy specjalistyczne, których zakres wynikał z położenia zlewni, a przede wszystkim z indywidualności poszczególnych elementów środowiska fizycznogeograficznego. Programy specjalistyczne w istotny sposób wzbogacają rozpoznanie różnych przejawów i specyfiki mechanizmu funkcjonowania środowiska przyrodniczego monitorowanych geosystemów (Tab. 6).

Tab. 6. Programy specjalistyczne realizowane w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2023 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 geosystemu 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 JEZIORNICH 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 2023 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 w postaci średniej rocznej temperatury powietrza) są dla badanych zlewni zróżnicowane i determinowane ich położeniem w określonym regionie klimatycznym Polski. Polska znajduje się w strefie klimatu umiarkowanego przejściowego, który charakteryzuje się w regionach północno-zachodnich cechami oceanizmu (zwłaszcza Stacje Wolin i Parsęta), a w regionach południowo-wschodnich cechami kontynentalizmu (głównie Stacje Roztocze, Pogórze Karpackie oraz Beskid Niski) (Tab. 7, Ryc. 6). O zmienności przestrzennej warunków termicznych świadczyć może również spadek średniej rocznej temperatury powietrza w północnej strefie młodoglacjalnej Nizy Polskiego, z zachodu na wschód, od wartości 10,4°C w Wolinie, poprzez 9,1°C w Parsęcie do 8,7°C w Puszczy Boreckiej i 8,6°C w Wigrach. W powyższym transekcie równoleżnikowym bardzo dobrze zaznacza się wpływ oceanizmu (Stacje Wolin i Parsęta) oraz kontynentalizmu (Stacje Puszcza Borecka i Wigry), które kształtują termiczne właściwości klimatu strefy młodoglacjalnej Polski. Wzrost kontynentalizmu klimatu w Polsce północnej, za wyjątkiem Stacji Bazowej Wolin, w 2023 roku wykazał zmienność (spadek) rocznej sumy opadów w kierunku wschodnim. Średnia roczna suma opadów w Polsce północnej wynosiła od 665,2 mm w Stacji Parsęta do 452,0 mm w Stacji Wigry. W Stacjach Wolin (575,3 mm) i Puszcza Borecka (571,4 mm) sumy opadów były zbliżone. Wyjątkowo niską sumę opadów (390,1 mm)

stwierdzono w Stacji Pojezierze Chełmińskie. W Stacjach Bazowych położonych dalej na południe wyższe opady są efektem ich położenia na wyżej wyniesionych obszarach wyżynnych, a zwłaszcza górskich (np. Stacje: Pogórze Karpackie – 934,4 mm, Beskid Niski – 926,1 mm, Karkonosze – 1108,0 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).

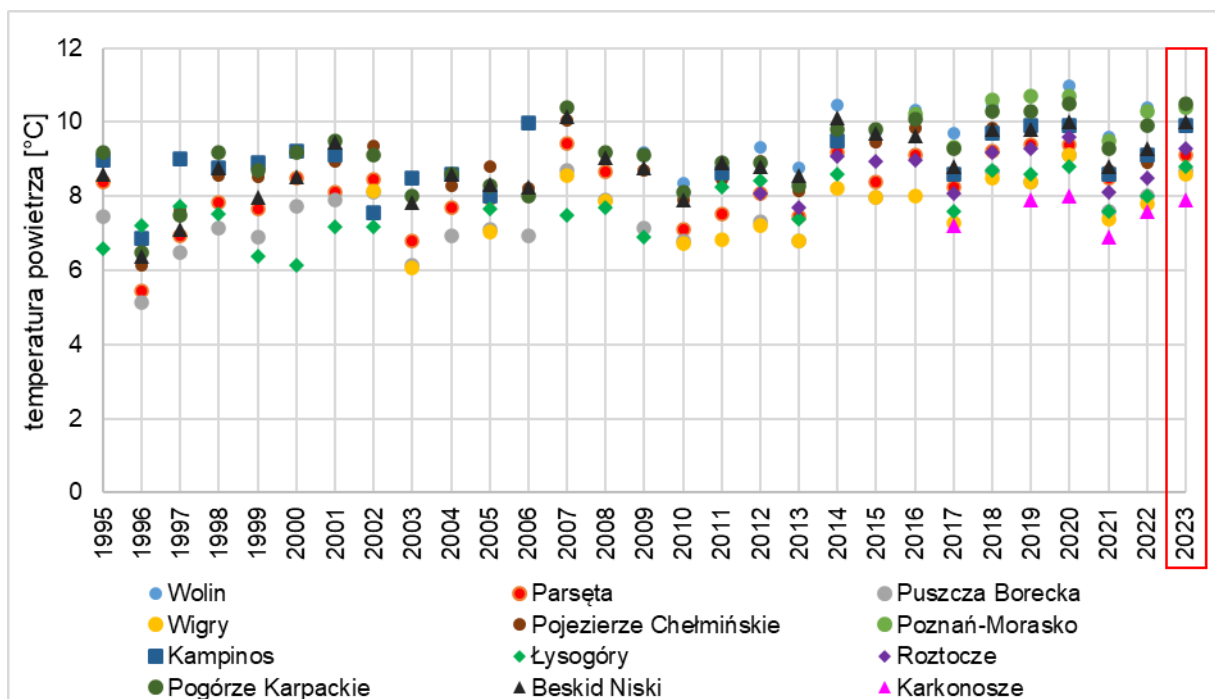
Tab. 7. Średnia temperatura powietrza i suma opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2023 roku

Stacja Bazowa ZMŚP (Okres pomiarowy – wielolecie)	Średnia temperatura powietrza [°C]		Suma opadów atmosferycznych [mm]	
	2023 r.	wielolecie	2023 r.	Wielolecie
Wolin (2009-2022)	10,4	9,7	575,3	571,6
Parsęta (1987-2022)	9,1	8,1	665,2	708,7
Puszcza Borecka (1994-2022)	8,7	7,4	571,4	683,7
Wigry (2002-2022)	8,6	8,3	452,0	587,9
Pojezierze Chełmińskie (1994-2022)	9,9	8,8	390,1	541,5
Poznań-Morasko (2016-2022)	10,4	9,4	628,4	538,7
Kampinos (1994-2022)	9,8	8,7	546,5	573,8
Łysogóry (2005-2022)	8,8	7,4	878,8	752,2
Roztocze (2012-2022)	9,3	8,6	815,1	673,5
Pogórze Karpackie (1991-2022)	10,5	8,9	934,4	703,5
Beskid Niski (1994-2022)	10,0	8,8	926,1	862,8
Karkonosze (2016-2022)	7,9	7,6	1108,0	1025,9

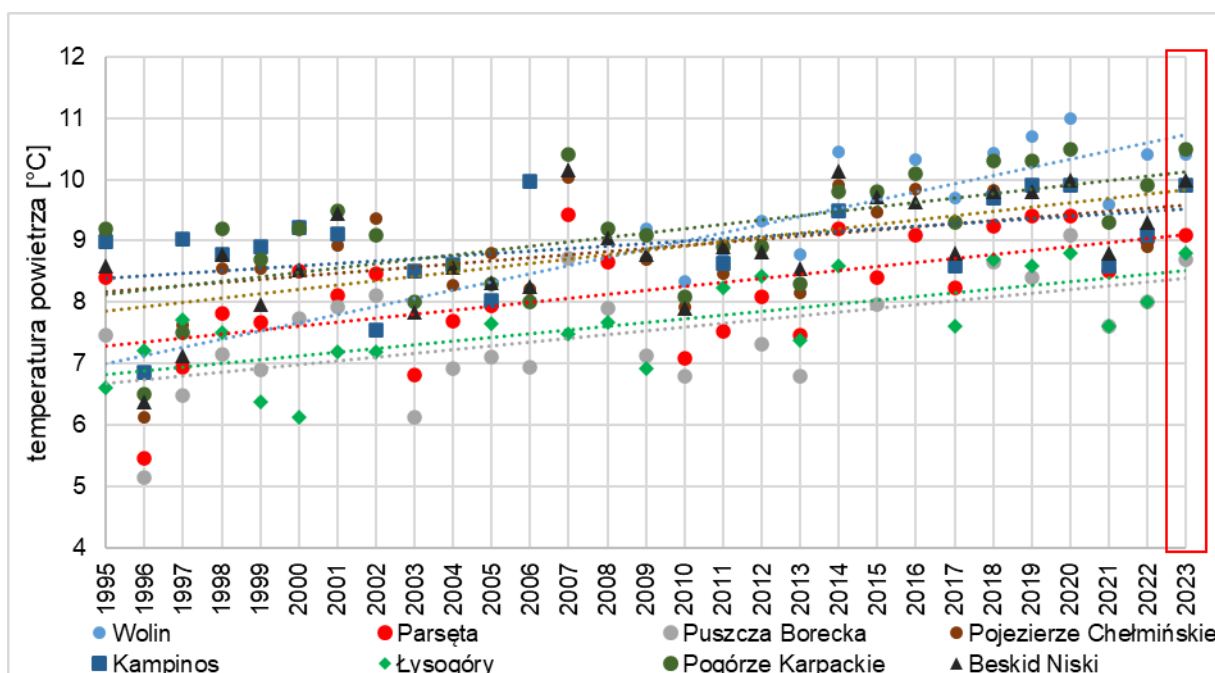
Po dwóch latach przerwy (2021-2022), kiedy to temperatury powietrza w Stacjach Bazowych były zróżnicowane, ponownie we wszystkich monitorowanych zlewniach średnia roczna temperatura powietrza w 2023 roku była wyższa od średniej z wielolecia. W ośmiu Stacjach różnice były równe lub większe niż 1°C (Parsęta, Puszcza Borecka, Pojezierze Chełmińskie, Poznań-Morasko, Kampinos, Łysogóry, Pogórze Karpackie, i Beskid Niski), z maksymalnym odchyleniem 1,6°C na Pogórzu Karpackim i 1,4°C w Łysogórach. Najmniejsze różnice między średnią roczną temperaturą w 2023 roku, a średnią z wielolecia stwierdzono w Karkonoszach i w Wigrach (po 0,3°C) (Tab. 7).

Najwyższe średnie roczne temperatury powietrza, podobnie jak we wcześniejszych latach, wystąpiły w północno-zachodniej Polsce (10,4°C w Stacji Wolin i 10,3°C w Stacji Poznań-Morasko). W 2023 roku średnie roczne temperatury powietrza przekroczyły 10°C również w Stacjach w Polsce południowo-wschodniej (10,5°C na Pogórzu Karpackim i 10,0°C w Beskidzie Niskim). Z kolei najniższe temperatury zanotowano w północno-wschodniej Polsce (8,6°C w Stacji Wigry i 8,7°C w Stacji Puszcza Borecka) oraz w górskiej Stacji w Karkonoszach (7,9°C) (Tab. 7, Tab. 12, Ryc. 6). W rozkładzie przestrzennym zaznaczył się wpływ uwarunkowań lokalnych związanych ze specyfiką położenia zlewni i ich użytkowania. 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 zdecydowały 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 niekorzystny trend podwyższania się średniej rocznej temperatury powietrza (Ryc. 6). Istotny statystycznie trend wzrostowy temperatury powietrza ( $p < 0,05$ ) stwierdzono dla 8 stacji posiadających przynajmniej 10-letnią serię pomiarową, tj. dla: Wolina, Parsęty, Puszczy Boreckiej, Pojezierza Chełmińskiego, Kampinosu, Łysogór, Pogórza Karpackiego i Beskidu Niskiego. Średni trend 10-letni wzrostu średniej temperatury powietrza wynosi 0,71°C/10 lat. Najwyższe trendy, przekraczające 0,7°C stwierdzono w Stacji Wolin (1,28°C) oraz w Stacji Kampinos (0,75°C), a najniższe, mniejsze od 0,5°C, w Stacji Pojezierze Chełmińskie (0,45°C) (Ryc. 7).



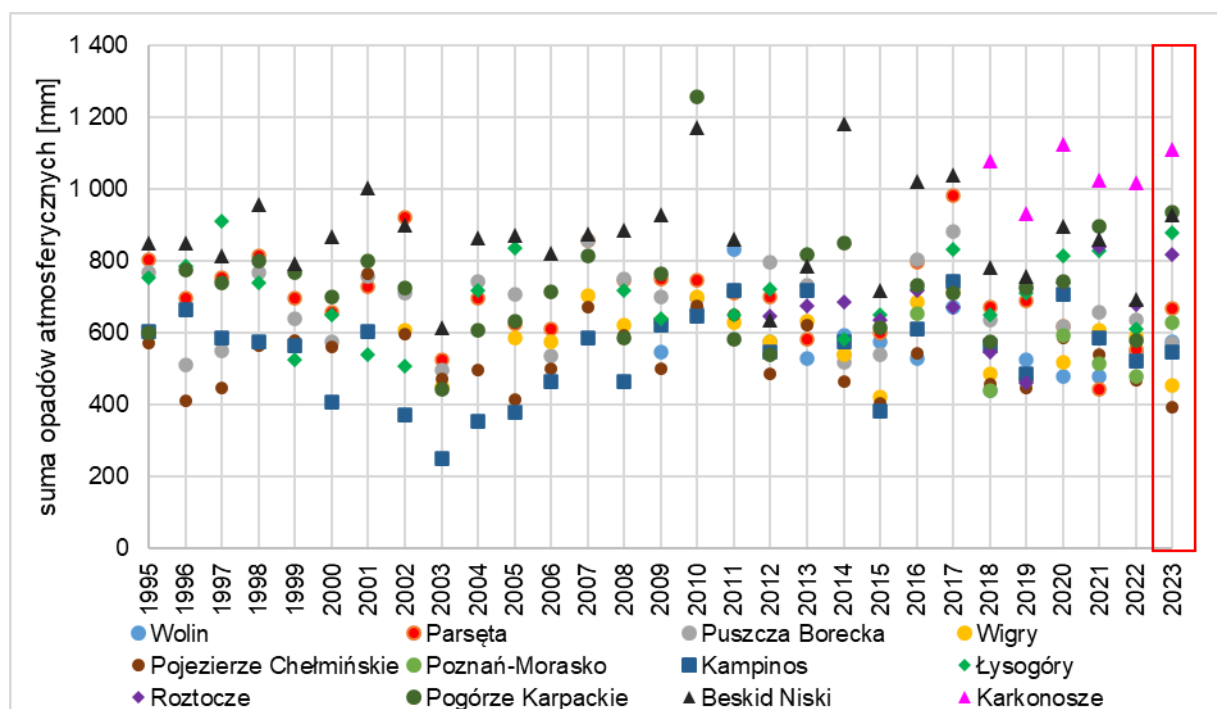
Ryc. 6. Średnie roczne temperatury powietrza w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2023 roku hydrologicznym na tle wielolecia



Ryc. 7. Istotne statystycznie trendy wzrostu temperatury powietrza w Stacjach Bazowych ZMŚP – Wolin, Parsęta, Puszczą Borecką, Pojezierze Chełmińskie, Kampinos, Łysogóry, Pogórze Karpackie i Beskid Niski

W większości badanych zlewni, rok 2023 był bardziej wilgotny niż wartości średnie z wielolecia (Tab. 7). Niższą sumę opadów niż we wcześniejszych latach (średnio o 110,8 mm) zanotowano w Stacjach położonych w strefie młodoglacjalnej (Parsęta, Puszczą Borecką,

Wigry i Pojezierze Chełmińskie) oraz w strefie staroglacjalnej, w Stacji Kampinos o 27,3 mm. W pozostałych stacjach, roczne sumy opadu w 2023 roku były wyższe niż wartości wieloletnie średnio o 105,4 mm. Największe różnice wystąpiły na Pogórzu Karpackim (+230,9 mm), na Roztoczu (+141,6 mm) i w Łysogórach (+126,6 mm). W większości monitorowanych zlewni warunki opadowe poprawiły się w odniesieniu do suchego roku 2022. Szczególną poprawę stwierdzono w Łysogórach, na Pogórzu Karpackim, i w Beskidzie Niskim, gdzie w stosunku do roku 2022, opad był wyższy odpowiednio o 268,1 mm, 357,6 mm i 234,9 mm. Wyjątkowo niekorzystna sytuacja wystąpiła na Pojezierzu Chełmińskim, gdzie w porównaniu z suchym rokiem 2022, suma opadu atmosferycznego w 2023 roku była niższa o kolejne 75,5 mm. W przypadku rocznych sum opadów atmosferycznych w zlewniach badawczych ZMŚP nie stwierdzono istotnych statystycznie trendów wzrostowych, ani spadkowych. (Ryc. 8).

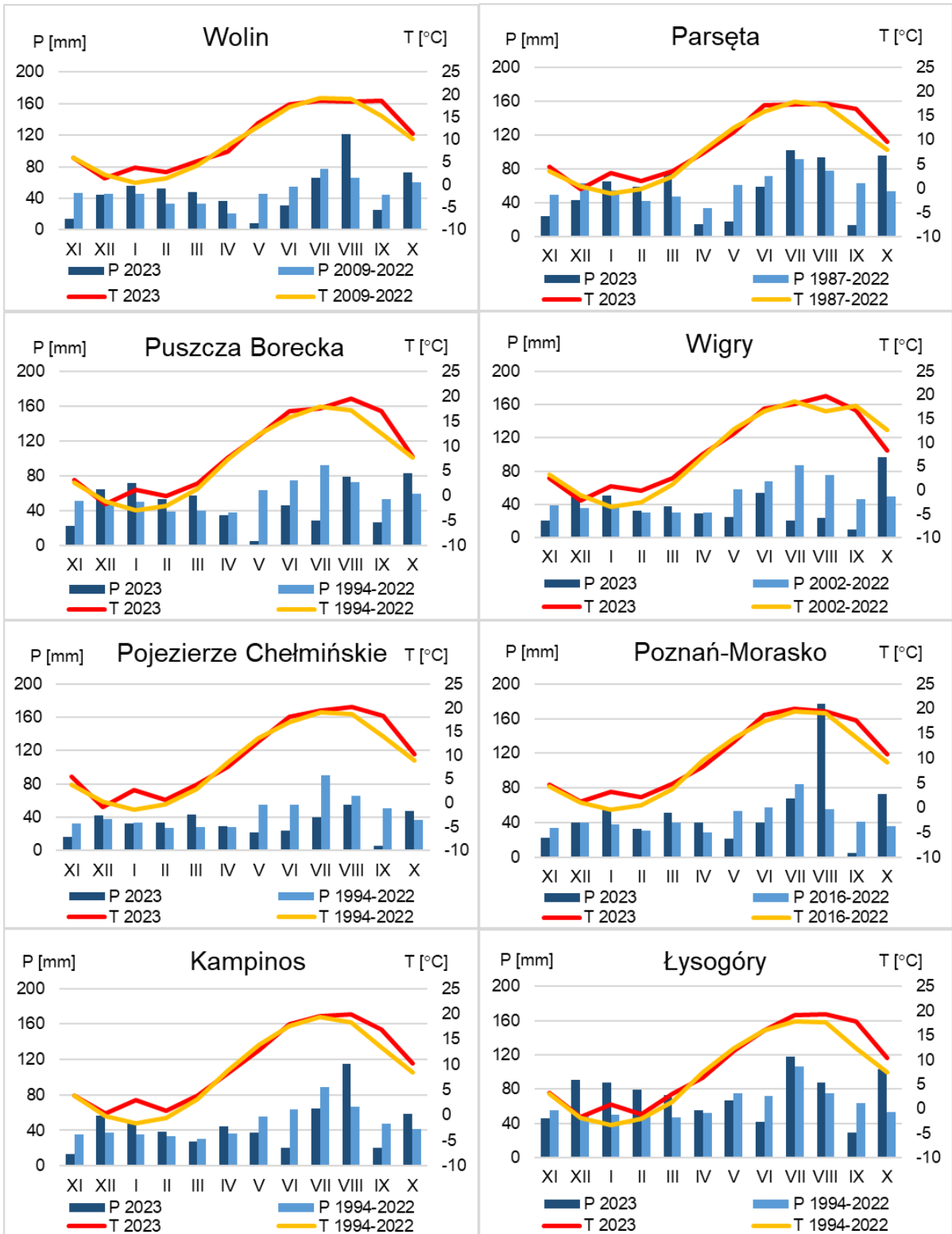


Ryc. 8. Sumy roczne opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2023 roku hydrologicznym na tle wielolecia

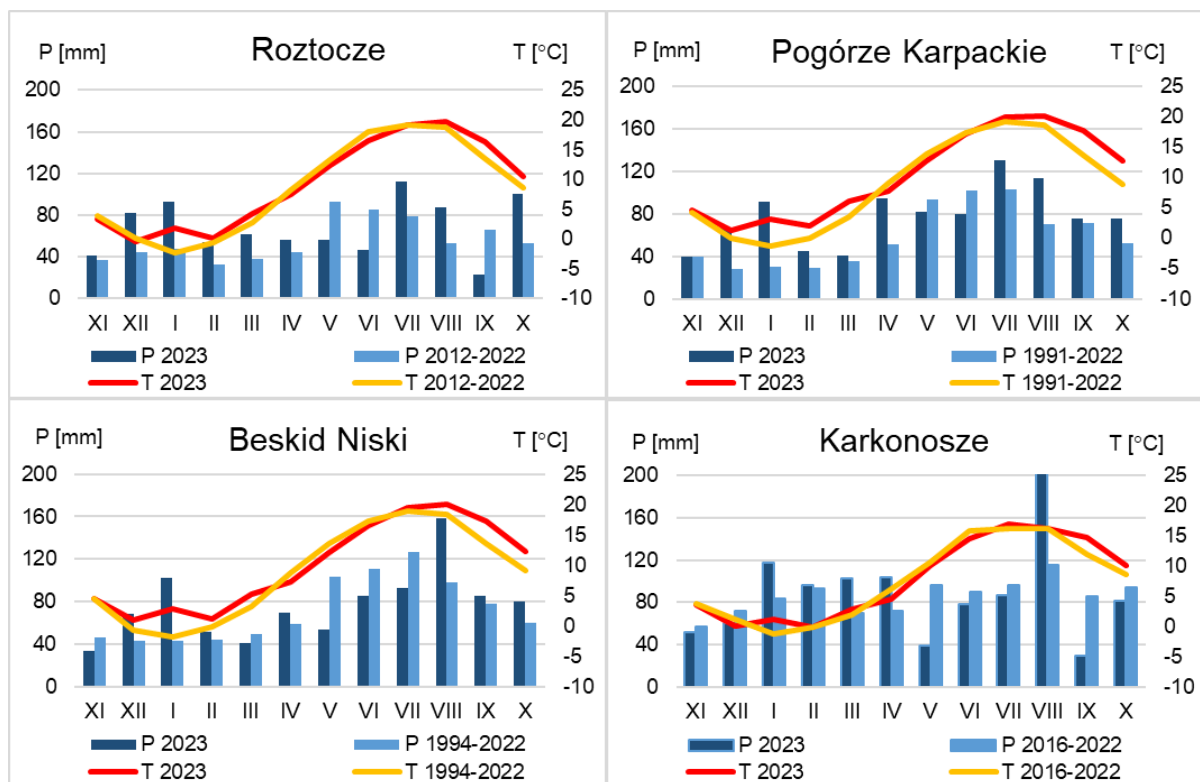
W 2023 roku wysoką średnią roczną temperaturą powietrza oraz niską sumą roczną opadów atmosferycznych wyróżniały się Stacje: Pojezierze Chełmińskie (9,9°C; 390,1 mm) oraz Kampinos (9,8°C; 546,5 mm). Potencjalnie w Polsce centralnej warunki były najmniej korzystne dla odbudowy zasobów wodnych. Natomiast względnie najlepsze warunki termiczno-opadowe dla retencji wody były w zlewniach ZMŚP położonych w strefie gór średnich, a w szczególności w Karkonoszach, gdzie średnia roczna temperatura powietrza

wyniosła 7,9°C, przy rocznej sumie opadów ponad 1100 mm. Utrzymała się poprawa sytuacji (drugi rok z rzędu) w nadmorskiej strefie krajobrazowej, w Stacji Wolin, gdzie suma roczna opadów wyniosła 575,3 mm i była najwyższa od wilgotnego 2017 roku.

Uwarunkowania termiczno-opadowe, decydujące o odbudowie zasobów wodnych oraz możliwości rozwoju roślinności, wykazują umiarkowanie niekorzystny rozkład miesięczny w 2023 roku (Ryc. 9). Przebieg miesięczny średniej temperatury powietrza był zróżnicowany. W dwóch miesiącach: styczniu i marcu, we wszystkich stacjach temperatury były powyżej wartości normalnych. Średnie różnice wynosiły odpowiednio 4,0°C i 1,3°C. W kolejnych trzech miesiącach (luty, wrzesień i październik) średnie temperatury powietrza były wyższe w 11 z 12 Stacji (bez Karkonoszy w litym oraz Wigier we wrześniu i październiku). Średnie różnice w tych miesiącach wynosiły odpowiednio 1,4°C; 3,4°C i 1,4°C. Z kolei w kwietniu i maju średnie temperatury były niższe niż w wieloleciu odpowiednio w 10 (bez Puszczy Boreckiej i Wigier) i 11 Stacjach (bez Wolina). Średnie różnice w tych miesiącach wynosiły odpowiednio -0,9°C i -0,7°C. Miesięczny rozkład temperatury w 2023 roku przejawiał się występowaniem wszystkich termicznych pór roku w większości Stacji Bazowych (bez Poznania-Morasko, Kampinosu, Pogórza Karpackiego i Beskidu Niskiego). Sezon wegetacyjny rozpoczął się na przełomie marca i kwietnia i trwał do końca roku hydrologicznego. Pod względem opadowym dynamika miesięczna atmosferycznej dostawy wody w 2023 roku była również zróżnicowana. W większości miesięcy (grudzień, styczeń, luty, marzec, kwiecień, sierpień i październik) opady były wyższe niż w wieloleciu. Niekorzystna sytuacja opadowa wystąpiła w maju i czerwcu, kiedy to średnie miesięczne sumy opadów w 2023 roku były niższe odpowiednio o 34,9 mm i 24,8 mm. Niskie opady w tym okresie, przy stosunkowo wysokich temperaturach powietrza nie sprzyjały odbudowie zasobów wód powierzchniowych. W 2023 roku, podobnie jak w latach wcześniejszych nie wystąpiła wyraźna regionalizacja przestrzenna w Polsce dla miesięcznej atmosferycznej dostawy wody do zlewni. Sytuacja opadowa w 2023 roku była w większości miesięcy, w szczególności w maju i czerwcu, była niekorzystna dla wegetacji.







Ryc. 9. Przebieg miesięczny temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMSP w 2023 roku na tle wielolecia

### **Liczba dni charakterystycznych pod względem termiczno-wilgotnościowym**

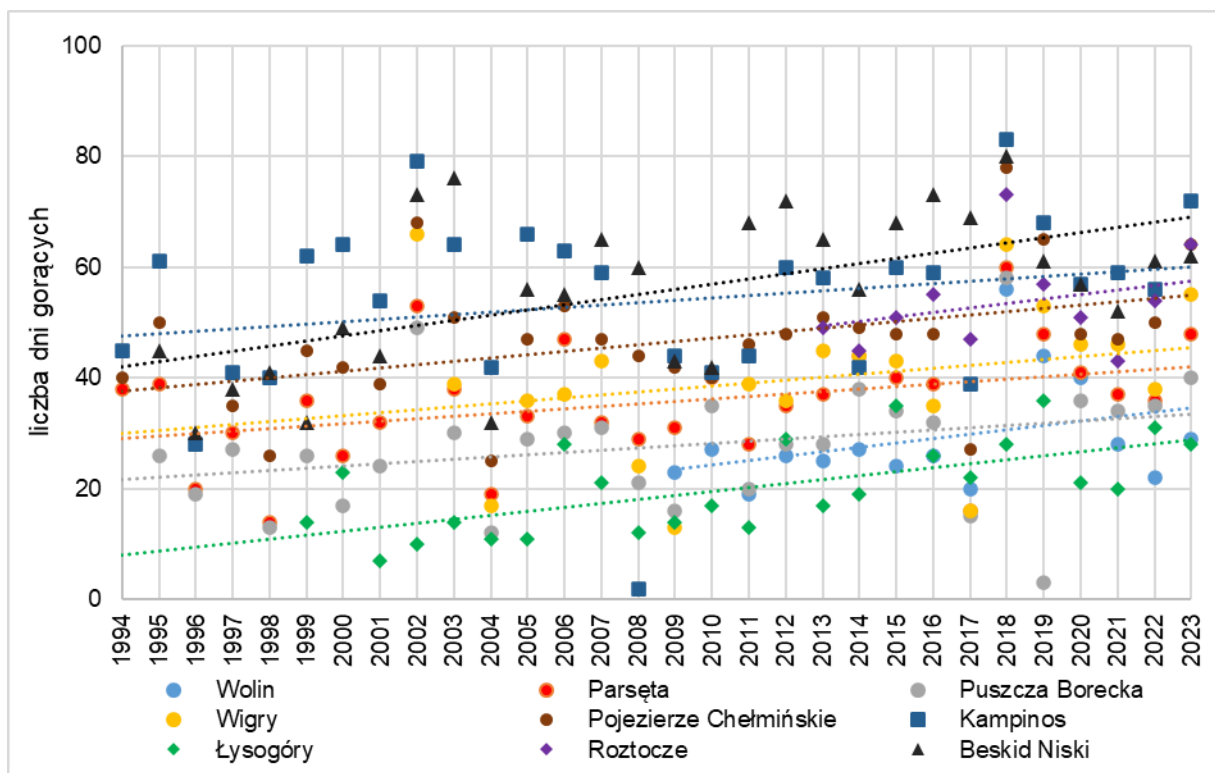
Na dynamikę obiegu wody w zlewniach ZMŚP w znacznym stopniu wpływają uwarunkowania meteorologiczne, ujęte m.in. w postaci liczby dni charakterystycznych pod względem termiczno-wilgotnościowym (Tab. 8).

W 2023 roku występowało zróżnicowanie liczby dni charakterystycznych pod względem termicznym. W badanych geosystemach stwierdzono więcej zdarzeń z pogodą mroźną, ze średnią dobową temperaturą poniżej 0°C (średnio 28 dni) niż upalną z maksymalną temperaturą dobową wyższą niż 30°C (średnio 7 dni), co jest sytuacją bardzo korzystną, gdyż spowolniony jest wtedy obieg wody, a ograniczona ewapotranspiracja generuje wzrost retencji wody. Najmniej dni ekstremalnych (łącznie upalnych i mroźnych), wystąpiło w nadmorskiej zlewni Lewińskiej Strugi na wyspie Wolin (12 dni) oraz w miejskiej zlewni Rózanego Strumienia w Poznaniu (19 dni). Z kolei najwięcej dni ekstremalnych wystąpiło w Górach Świętokrzyskich (78 dni), w Wigrach (49 dni) i Puszczy Boreckiej (46 dni). W roku 2023 dni bardzo upalne nie wystąpiły w 11 Stacjach, poza Pojezierzem Chełmińskim, gdzie zarejestrowano jeden dzień o temperaturze maksymalnej wyższej niż 35°C. Z kolei dni bardzo mroźne (z temperaturą minimalną poniżej -10°C) wystąpiły we wszystkich stacjach, poza Wolinem.

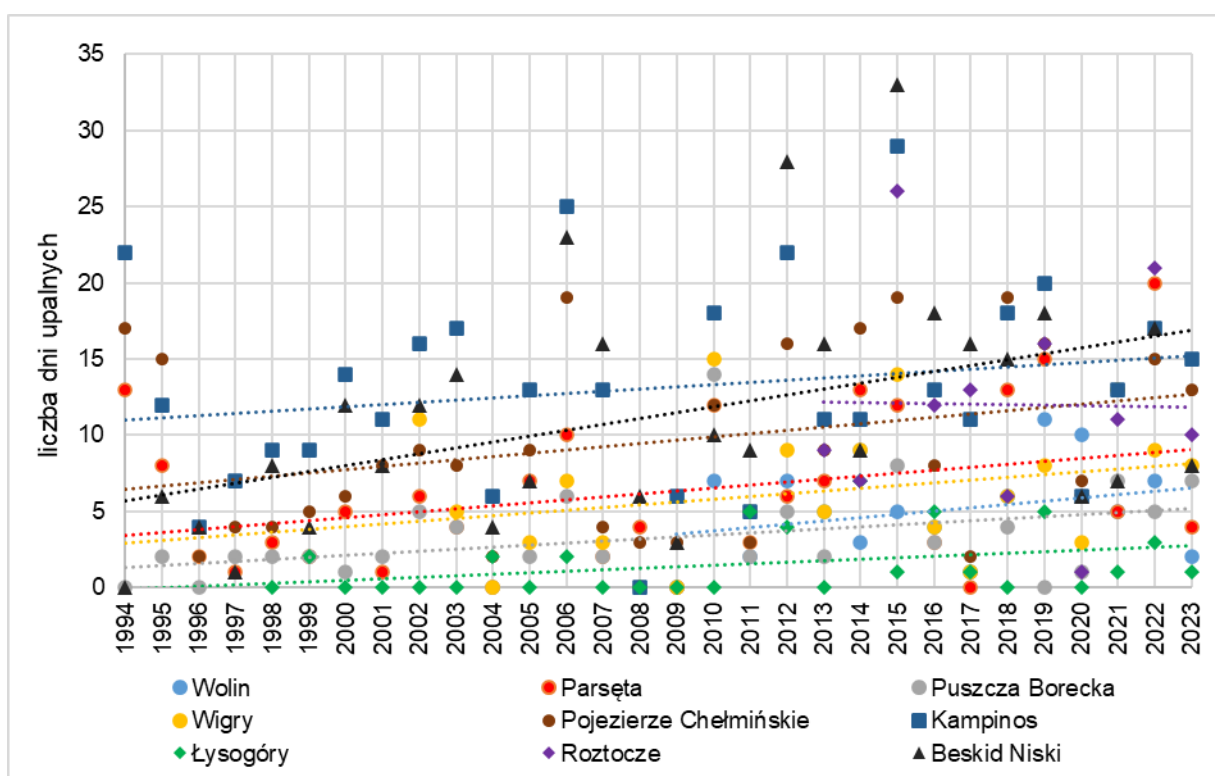
Na Niżu Polskim (Stacje: Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Poznań-Morasko, Kampinos) występowały średnio 32 dni charakterystyczne (łącznie upalne i mroźne), od 12 dni na Pobrzeżu Szczecińskim w Stacji Wolin do 49 dni w Stacji Wigry. Wśród ekstremów termicznych na Niżu Polskim więcej było dni mroźnych (średnio 23 dni) niż dni upalnych (średnio 8 dni). Najwięcej dni mroźnych na Niżu Polskim występowało w Polsce północno-wschodniej, na Stacjach Puszcza Borecka (39 dni) i Wigry (41 dni). Polska nizinna charakteryzowała się na tle kraju największą frekwencją występowania dni upalnych (15 dni w Stacji Kampinos, 13 dni w Stacji Pojezierze Chełmińskie). Najwięcej dni mroźnych i upalnych występowało w strefie wyżynnej, średnio 55 dni, od 32 dni na Roztoczu do 78 dni w Górach Świętokrzyskich. W tej strefie zdecydowaną przewagę występowania dni mroźnych notowano w Górach Świętokrzyskich (77 mroźnych, 1 upalny), z kolei na Roztoczu dni mroźnych było 22, a upalnych 10. Strefa górską charakteryzowała się najmniejszą liczbą dni upalnych i mroźnych (średnio 29 dni, od 23 dni w Beskidzie Niskim, przez 27 dni na Pogórzu Karpackim do 37 dni w Karkonoszach). W górach również notowano przewagę występowania dni mroźnych (średnio 24 dni) nad dniami upalnymi (średnio 5 dni). W 2023 roku występowanie ekstremów termicznych charakteryzowało się wyraźnym układem przestrzennym, gdzie najbardziej sprzyjające „łagodne” warunki występowały w strefie nizinnej, w jego części północnej i środkowej. Natomiast najbardziej „ostre” warunki termiczne występowały w strefie południowo-wschodniej, wyżynnej. Z kolei pośrednie warunki termiczne stwierdzono w południowej, górskiej części Polski.

W 2023 roku frekwencja dni upalnych i bardzo upalnych była mniejsza niż w latach wcześniejszych, z kolei liczba dni gorących była wyższa. Na podstawie wieloletnich pomiarów temperatury powietrza w Stacjach Bazowych ZMŚP, można zauważyć niekorzystną tendencję zwiększania częstości występowania dni gorących i upalnych (Ryc. 10, Ryc. 11). W przypadku dni gorących, istotnie statystyczny trend wzrostowy ( $p < 0,05$ ) stwierdzono dla 4 Stacji Bazowych: Parsęta, Pojezierze Chełmińskie, Łysogóry oraz Beskid Niski, a w przypadku dni upalnych dla 3 Stacji Bazowych: Parsęta, Pojezierze Chełmińskie oraz Beskid Niski (Ryc. 10, Ryc. 11).

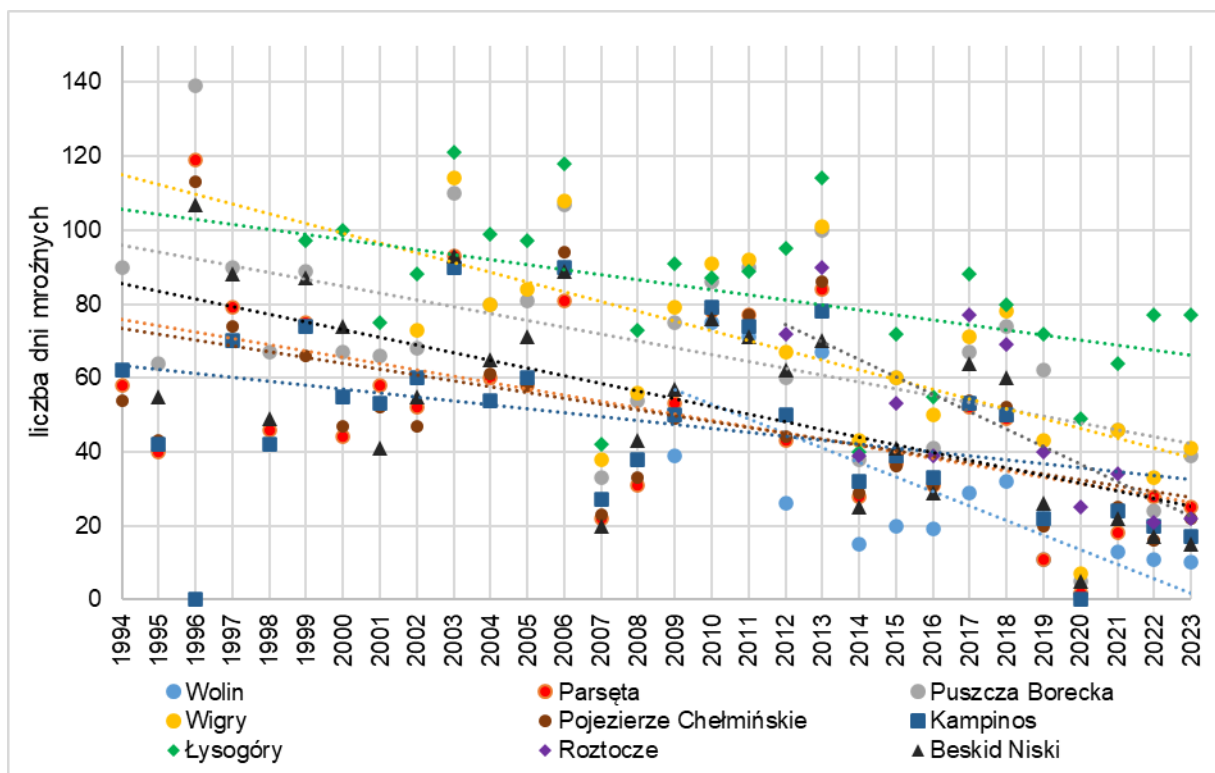
W przypadku dni mroźnych oraz bardzo mroźnych, można zauważyć tendencję zmniejszania częstości występowania tych dni. W przypadku dni mroźnych, istotnie statystyczny trend spadkowy ( $p < 0,05$ ) stwierdzono dla 9 Stacji Bazowych: Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie, Kampinos, Łysogóry, Roztocze i Beskid Niski (Ryc. 12). Z kolei dla dni bardzo mroźnych istotny statystycznie trend spadkowy częstości ich występowania stwierdzono dla 5 Stacji Bazowych: Wolin, Puszcza Borecka, Wigry, Kampinos i Beskid Niski (Ryc. 13).



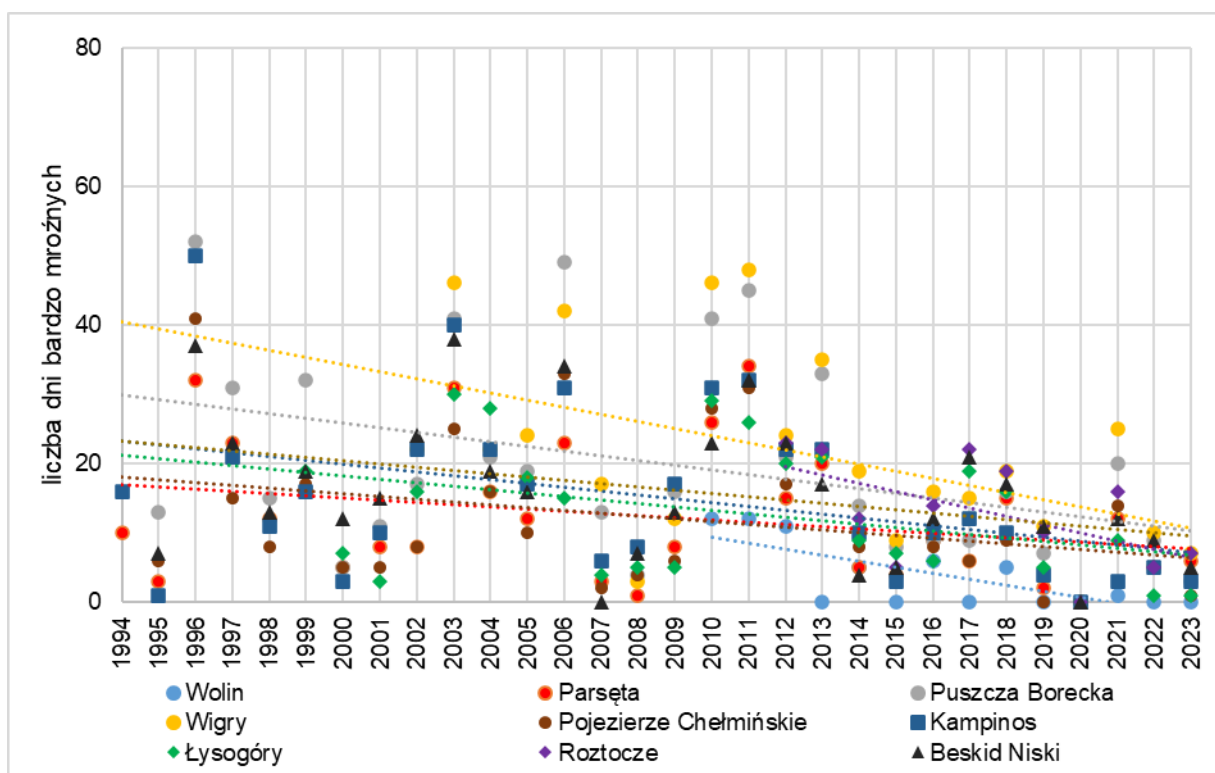
Ryc. 10. Przebieg zmian liczby dni gorących ( $T_{max} > 25^{\circ}\text{C}$ ) w latach 1994-2023 w Stacjach Bazowych ZMŚP dysponujących przynajmniej 10-letnim okresem pomiarowym



Ryc. 11. Przebieg zmian liczby dni upalnych ( $T_{max} > 30^{\circ}\text{C}$ ) w latach 1994-2023 w Stacjach Bazowych ZMŚP dysponujących przynajmniej 10-letnim okresem pomiarowym



Ryc. 12. Przebieg zmian liczby dni mroźnych ( $T_{max} < 0^{\circ}C$ ) w latach 1994-2023 w Stacjach Bazowych ZMŚP dysponujących przynajmniej 10-letnim okresem pomiarowym



Ryc. 13. Przebieg zmian liczby dni bardzo mroźnych ( $T_{min} < -10^{\circ}C$ ) w latach 1994-2023 w Stacjach Bazowych ZMŚP dysponujących przynajmniej 10-letnim okresem pomiarowym

Frekwencja dobowej wydajności opadów, podobnie jak w latach wcześniejszych, w 2023 roku wykazała zróżnicowanie przestrzenne, nawiązujące do struktury krajobrazowej Polski. Najwięcej dni z opadem ( $P \geq 0,1$  mm) występowało w strefie górskiej (188 dni), niewiele mniej w strefie wyżynnej (187 dni), a najmniej w strefie nizinnej (167 dni). Na Niżu Polskim zakres zmienności liczby dni z opadem wynosił od 151 dni na Pojezierzu Chełmińskim do 186 dni w Puszczy Boreckiej. W strefie wyżynnej, więcej dni z opadem wystąpiło na Roztoczu (197 dni) niż w Górach Świętokrzyskich (177 dni). Z kolei w górach zdecydowanie więcej dni opadowych występowało w Karkonoszach (222 dni) niż na Pogórzu Karpackim (175 dni) i w Beskidzie Niskim (168 dni). Liczba dni z opadem w porównaniu do roku poprzedniego znacząco się nie zmieniła, jednak zanotowano nieznaczny wzrost frekwencji opadów we wszystkich strefach krajobrazowych.

Podobna zależność regionalna wystąpiła w przypadku opadów o dużej wydajności ( $P \geq 10$  mm). Najwięcej takich zdarzeń odnotowano w górach (35 dni na Pogórzu Karpackim, 33 dni w Beskidzie Niskim i 30 dni w Karkonoszach) oraz na wyżynach (25 dni w Górach Świętokrzyskich i 27 dni na Roztoczu). Najmniej dni z opadem  $\geq 10$  mm wystąpiło na nizinach, a w szczególności w Stacjach: Wigry (6 dni), Wolin i Pojezierze Chełmińskie (po 11 dni). Najwięcej dni z opadem większym niż 10 mm w tej strefie krajobrazowej zarejestrowano na Pojezierzu Drawskim, w Stacji Parsęta (19 dni). Zależność regionalna opadów o największej wydajności była taka sama jak w latach poprzednich, jednak w roku 2023 zanotowano większą liczbę dni z opadem dobowym większym niż 10 mm niż w roku 2022.

W roku 2023 zanotowano najwięcej dni z opadem powyżej 10 mm od 2017 roku, jednak wciąż zauważalny jest spadkowy trend frekwencji takich opadów, co może świadczyć o względnie złych warunkach pluwiometrycznych. Sytuacja taka nie jest korzystna, ponieważ wyższa frekwencja wydajnych opadów atmosferycznych sprzyja odbudowie zasobów wodnych, gdyż znaczna ilość wody nie 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 stwierdzono podobne zależności jak w przypadku liczby dni z opadem. Najwyższe opady wystąpiły w górach (średnio 49 mm, z maksimum w Karkonoszach równym 79,4 mm). Mniejsze opady zarejestrowano w strefie wyżynnej (średnio 41 mm, z maksimum na Roztoczu równym 51,2 mm), a najmniejsze w strefie nizinnej (średnio 33 mm, z maksimum równym 47,7 mm w Poznaniu). Najniższe maksymalne opady dobowe w roku 2023 wystąpiły w Polsce północno-wschodniej: w Wigrach (17,9 mm) i w Puszczy Boreckiej (23,8 mm)

Tab. 8. Liczba dni charakterystycznych temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2023 roku

Element pogody	Stacja Bazowa ZMŚP											
	Wolin	Parsęta	Puszcza Borecka	Wigry	Pojezierze Chelmińskie	Poznań-Morasko	Kampinos	Łysogóry	Roztocze	Pogórze Karpackie	Beskid Niski	Karkonosze
Bardzo upalne $T_{\max} > 35^{\circ}\text{C}$	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Upalne $T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$	2	4	7	8	13	9	15	1	10	8	8	0
Gorące $T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$	29	48	40	55	64	56	72	28	64	59	62	23
Przymrozkowe $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$	44	107	114	118	89	85	84	108	85	85	89	99
Mroźne $T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$	10	25	39	41	22	10	17	77	22	19	15	37
Bardzo mroźne $T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$	0	6	3	7	1	3	3	1	7	5	5	8
Opad $\geq 0,1$ mm	157	179	186	154	151	168	177	177	197	175	168	222
Opad $\geq 1,0$ mm	104	120	110	105	78	107	99	134	121	119	12	151
Opad $\geq 10,0$ mm	11	19	13	6	11	16	13	25	27	35	33	30
Max opad dobowy [mm]	35,0	37,1	17,9	23,8	27,2	47,7	44,3	30,1	51,2	37,9	35,0	73,9
Dni z pokrywą śnieżną	21	29	33	79	33	1	25	94	52	36	53	84

Utrzymująca się od paru lat marginalna rola pokrywy śnieżnej w retencji wody w badanych zlewniach została pogłębiona w roku 2023. Co prawda sytuacja była lepsza niż np. w ekstremalnie mało śnieżnym 2020 roku (średnio 10 dni z pokrywą śnieżną), jednak średni czas zalegania pokrywy śnieżnej wyniósł tylko 45 dni. Najwięcej dni z pokrywą śnieżną zarejestrowano w Łysogórach (94 dni), w Karkonoszach (84 dni) oraz w Wigrach (79 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).

### ***Klasyfikacja termiczno-opadowa***

Klasyfikacja termiczno-opadowa pozwala zaklasyfikować interwały czasowe (roczne i miesięczne) 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. Podejście takie może być stosowane zarówno dla roku pomiarowego, jak i dla okresów krótszych, np. miesięcznych. 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 warunków opadowych w analizowanym okresie (Tab. 10). Bardziej suchy okres przypadł na lata 2003-2006. Natomiast okres 2007-2013 charakteryzował się występowaniem rocznych opadów o sumie normalnej bądź wyższej od wartości normalnych, co sprzyjało odbudowie zasobów wodnych. Z kolei rok 2014 pod względem opadowym cechował się bardzo dużym zróżnicowaniem przestrzennym, co świadczy o dużej niejednorodności przestrzennej opadów, co jest typowe dla klimatu Polski. Wyjątkowo niekorzystny był 2015 rok, który poza Wolinem i Łysogórami był rokiem suchym. Od roku 2016, a w szczególności w wyjątkowo wilgotnym 2017 roku, wystąpił korzystny okres wzrostu atmosferycznej dostawy wody.

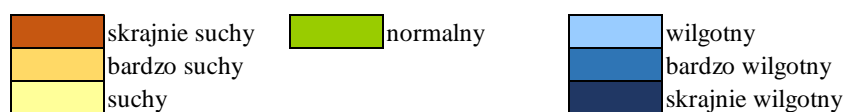
W roku 2018 rozpoczął się dwuletni okres zbliżony pod względem opadów do roku 2015. Pozytywna zmiana zaszła w kolejnym, 2020 roku i została podtrzymana w roku 2021, który, pod względem opadowym, można uznać za korzystny dla odbudowy zasobów wodnych w większości zlewni. W roku 2022 ponownie miało miejsce pogorszenie warunków opadowych (w 6 Stacjach rok sklasyfikowano jako normalny pod względem opadowym, a w pozostałych 6 Stacjach był rokiem suchym).

Rok 2023 w większości Stacji przyniósł nieznaczną poprawę w sytuacji opadowej. Tylko w dwóch zlewniach (Czarnej Hańczy i Strugi Toruńskiej) rok zakwalifikowano jako bardzo suchy, co stanowiło pogorszenie sytuacji w porównaniu z rokiem poprzednim. W 6 Stacjach (Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Kampinos, Beskid Niski i Karkonosze) rok był 2023 był normalny pod względem opadowym. W przypadku Parsęty oraz Beskidu Niskiego była to poprawa w stosunku do roku 2022, gdzie był to rok suchy. W pozostałych Stacjach rok 2023 był wilgotny (Poznań-Morasko, Łysogóry, Roztocze) lub bardzo wilgotny (Pogórze Karpackie). W Łysogórach rok 2022 był rokiem normalnym, a w pozostałych trzech Stacjach rok 2022 był rokiem suchym (Tab. 10).



Tab. 10. Roczna klasyfikacja opadowa dla Stacji Bazowych ZMŚP

Rok	Wolin	Parsęta	Puszcza Borecka	Wigry	Pojezierze Chelmińskie	Poznań-Morasko	Kampinos	Lysogóry	Roztocze	Pogórze Karpackie	Beskid Niski	Karkonosze
1994		suchy	normalny		normalny		normalny	wilgotny		normalny	suchy	
1995		wilgotny	wilgotny		normalny		wilgotny	suchy		suchy		
1996		normalny	suchy		suchy		wilgotny	normalny		normalny		
1997		normalny	suchy		suchy		normalny	suchy		normalny		
1998		wilgotny	wilgotny		normalny		normalny	bardzo wilgotny		wilgotny	wilgotny	
1999		normalny	normalny		normalny		normalny	normalny		normalny		
2000		normalny	suchy		normalny		suchy	normalny		normalny		
2001		normalny	wilgotny		bardzo wilgotny		wilgotny	bardzo wilgotny		wilgotny	wilgotny	
2002		bardzo wilgotny	normalny	normalny	wilgotny		suchy	normalny		normalny	normalny	
2003		bardzo suchy	bardzo suchy	suchy	suchy		suchy	suchy		bardzo suchy	bardzo suchy	
2004		normalny	normalny	wilgotny	normalny		normalny	normalny		suchy	normalny	
2005		suchy	normalny	normalny	suchy		suchy	bardzo suchy		normalny	normalny	
2006		suchy	suchy	normalny	normalny		wilgotny	bardzo suchy		normalny	normalny	
2007		wilgotny	wilgotny	bardzo wilgotny	bardzo wilgotny		normalny			wilgotny	normalny	
2008		normalny	normalny	wilgotny	wilgotny		suchy	bardzo wilgotny		suchy	normalny	
2009	normalny	normalny	normalny	normalny	normalny		wilgotny	normalny		normalny	normalny	
2010	wilgotny	wilgotny	normalny	bardzo wilgotny	bardzo wilgotny		bardzo wilgotny	wilgotny		bardzo wilgotny	bardzo wilgotny	
2011	bardzo wilgotny	normalny	normalny	wilgotny	wilgotny		bardzo wilgotny	normalny		suchy	normalny	
2012	normalny	normalny	wilgotny	normalny	normalny		normalny	suchy		suchy	bardzo suchy	
2013	normalny	suchy	wilgotny	wilgotny	wilgotny		bardzo wilgotny	normalny		wilgotny	normalny	
2014	normalny	suchy	suchy	normalny	suchy		normalny	wilgotny		wilgotny	bardzo wilgotny	
2015	normalny	suchy	suchy	normalny	suchy		suchy	normalny		suchy	suchy	
2016	normalny	wilgotny	wilgotny	wilgotny	normalny	wilgotny	normalny	wilgotny		normalny	wilgotny	
2017	wilgotny	bardzo wilgotny	bardzo wilgotny	bardzo wilgotny	bardzo wilgotny	bardzo wilgotny	bardzo wilgotny	wilgotny		normalny	wilgotny	
2018	suchy	normalny	normalny	normalny	suchy	suchy	normalny	bardzo suchy	suchy	suchy	normalny	suchy
2019	normalny	normalny	normalny	normalny	suchy	suchy	normalny	suchy	bardzo suchy	normalny	normalny	suchy
2020	suchy	normalny	normalny	normalny	normalny	wilgotny	bardzo wilgotny	normalny	normalny	normalny	normalny	normalny
2021	suchy	bardzo suchy	normalny	normalny	normalny	normalny	normalny	normalny	wilgotny	wilgotny	normalny	suchy
2022	normalny	suchy	normalny	normalny	suchy	suchy	normalny	normalny	suchy	suchy	suchy	normalny
2023	normalny	normalny	normalny	bardzo suchy	bardzo suchy	wilgotny	normalny	wilgotny	wilgotny	bardzo wilgotny	normalny	normalny



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

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

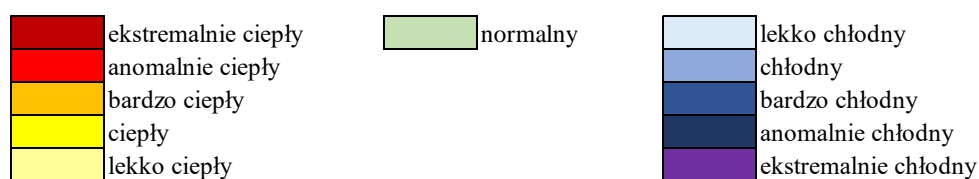
Tab. 11. Klasyfikacja termiczna roku wg Lorenc (1998)

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

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 skumulowanie lat ciepłych wystąpiło w okresie 2007-2008. W 2014 roku rozpoczął się kolejny, najdłuższy okres o podwyższonej termice. Osiem z ostatnich dziesięciu lat (poza chłodniejszymi 2017 i 2021) w zdecydowanej większości stacji było cieplejszych od wartości normalnej, co świadczy o dominacji cech kontynentalizmu nad oceanizmem. Poza wymienionymi chłodniejszymi latami, jedynie w 2 Stacjach (Parsęta i Puszcza Borecka) w roku 2015 oraz w 3 Stacjach (Puszcza Borecka, Pojezierze Chełmińskie i Łysogóry) w roku 2022 stwierdzono rok normalny pod względem temperatury powietrza. W 2023 roku we wszystkich monitorowanych zlewniach był cieplejszy od wartości normalnej. W 2 Stacjach (Łysogóry i Beskid Niski) był to rok lekko ciepły, w 5 Stacjach (Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Poznań-Morasko i Kampinos) był to rok ciepły, w 4 Stacjach (Wolin, Pojezierze Chełmińskie, Roztocze i Pogórze Karpackie) był to rok bardzo ciepły, a w Karkonoszach nawet ekstremalnie ciepły.

Tab. 12. Roczna klasyfikacja termiczna dla Stacji Bazowych ZMŚP

Rok	Wolin	Parzęta	Puszcza Borecka	Wigry	Pojezierze Chelmińskie	Poznań-Morasko	Kampinos	Lysogóry	Roztocze	Pogórze Karpackie	Beskid Niski	Karkonosze
1994		lekko ciepły	normalny		lekko ciepły		lekko ciepły	lekko ciepły		lekko ciepły		
1995		ciepły	normalny		ciepły		ciepły	lekko ciepły		chłodny		
1996		bardzo ciepły	normalny		bardzo ciepły		bardzo ciepły	bardzo ciepły		bardzo ciepły	chłodny	
1997		chłodny	normalny		lekko ciepły		chłodny	chłodny		chłodny	lekko ciepły	
1998		lekko ciepły	lekko ciepły		lekko ciepły		ciepły	chłodny		lekko ciepły		
1999		lekko ciepły	chłodny		lekko ciepły		lekko ciepły	lekko ciepły		lekko ciepły		
2000		lekko ciepły	lekko ciepły		ciepły		lekko ciepły	ciepły		lekko ciepły		
2001		lekko ciepły	lekko ciepły		lekko ciepły		ciepły	chłodny		lekko ciepły		
2002		lekko ciepły	lekko ciepły	ciepły	ciepły		ciepły	lekko ciepły		lekko ciepły		
2003		bardzo ciepły	chłodny	lekko ciepły	lekko ciepły		ekstremalnie ciepły	lekko ciepły		chłodny		
2004		lekko ciepły	chłodny	lekko ciepły	lekko ciepły		lekko ciepły	lekko ciepły		lekko ciepły		
2005		lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły		lekko ciepły	lekko ciepły		lekko ciepły		
2006		lekko ciepły	chłodny	lekko ciepły	lekko ciepły		chłodny	ciepły		lekko ciepły		
2007		ciepły	lekko ciepły	bardzo ciepły	bardzo ciepły		bardzo ciepły	lekko ciepły		ciepły	lekko ciepły	
2008		lekko ciepły	lekko ciepły	ciepły	ciepły		ciepły	ciepły		lekko ciepły		
2009	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły		lekko ciepły	lekko ciepły		lekko ciepły		
2010	chłodny	chłodny	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły		lekko ciepły	lekko ciepły		lekko ciepły		
2011	lekko ciepły	lekko ciepły	chłodny	lekko ciepły	lekko ciepły		lekko ciepły	lekko ciepły		lekko ciepły		
2012	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły		lekko ciepły	lekko ciepły		lekko ciepły		
2013	lekko ciepły	ciepły	chłodny	lekko ciepły	lekko ciepły		lekko ciepły	lekko ciepły		lekko ciepły		
2014	ciepły	ciepły	lekko ciepły	ciepły	bardzo ciepły		ciepły	ciepły	ciepły	ciepły	lekko ciepły	
2015	ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	ciepły		ciepły	ciepły	ciepły	ciepły	lekko ciepły	
2016	ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	ciepły	lekko ciepły	ciepły	ciepły	ciepły	ciepły	lekko ciepły	
2017	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły		lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	
2018	ciepły	ciepły	lekko ciepły	bardzo ciepły	ciepły	ciepły	ciepły	ciepły	bardzo ciepły	ciepły	lekko ciepły	bardzo ciepły
2019	bardzo ciepły	ciepły	lekko ciepły	bardzo ciepły	bardzo ciepły	ciepły	bardzo ciepły	ciepły	bardzo ciepły	ciepły	lekko ciepły	bardzo ciepły
2020	ekstremalnie ciepły	ciepły	lekko ciepły	ekstremalnie ciepły	bardzo ciepły	ciepły	bardzo ciepły	ciepły	ekstremalnie ciepły	bardzo ciepły	lekko ciepły	bardzo ciepły
2021	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	ciepły
2022	bardzo ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	ciepły
2023	bardzo ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	ciepły	lekko ciepły	ciepły	lekko ciepły	bardzo ciepły	bardzo ciepły	lekko ciepły	ekstremalnie ciepły



Na właściwości cieplne w 2023 roku w badanych zlewniach ZMŚP nie miały większego wpływu uwarunkowania lokalne, związane m.in. z wysokością położenia zlewni i jej odległością od dużych zbiorników wodnych. W kontekście obiegu wody w zlewniach ZMŚP w 2023 roku niekorzystna sytuacja termiczna występowała we wszystkich Stacjach Bazowych. Relatywnie najkorzystniejsza sytuacja wystąpiła w Łysogórach i Beskidzie Niskim, gdzie był to rok lekko ciepły, co również mogło skutkować większym parowaniem terenowym i potencjalnie ograniczać retencję wód (Tab. 12).

Klasyfikacja termiczno-opadowa w 2023 roku dla większości Stacji Bazowych ZMŚP wskazuje na przeciętną sytuację do retencji wody w zlewniach ZMŚP, co przejawiało się brakiem zmian ilościowych, a w najlepszej sytuacji zahamowaniem spadku zasobów wód powierzchniowych i podziemnych. Ponadto, w Wigrach i na Pojezierzu Chełmińskim, gdzie rok 2023 był ciepły lub bardzo ciepły i bardzo suchy, stwierdzono niekorzystną sytuację do odnowy zasobów wodnych (Tab. 13).

Tab. 13. Klasyfikacja termiczno-opadowa dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2023 roku

Rok 2023	Wolin	Parsęta	Puszczyna Borecka	Wigry	Pojezierze Chełmińskie	Poznań-Morasko
Klasyfikacja termiczna	bardzo ciepły	ciepły	ciepły	ciepły	bardzo ciepły	ciepły
Klasyfikacja opadowa	normalny	normalny	normalny	bardzo suchy	bardzo suchy	wilgotny
Sytuacja dla ochrony i odnowy zasobów wodnych	przeciętna	przeciętna	przeciętna	niekorzystna	niekorzystna	przeciętna
Rok 2023	Kampinos	Lysogóry	Roztocze	Pogórze Karpackie	Beskid Niski	Karkonosze
Klasyfikacja termiczna	ciepły	lekkie ciepły	bardzo ciepły	bardzo ciepły	lekkie ciepły	ekstremalnie ciepły
Klasyfikacja opadowa	normalny	wilgotny	wilgotny	bardzo wilgotny	normalny	normalny
Sytuacja dla ochrony i odnowy zasobów wodnych	przeciętna	przeciętna	przeciętna	przeciętna	przeciętna	przeciętna

### Zdarzenia ekstremalne

Zróźnicowanie 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. Jednak w 2023 roku amplitudy roczne temperatur powietrza były bardzo zbliżone we wszystkich zlewniach. Najwyższe wystąpiły w Beskidzie Niskim (49,8°C) i w Stacji Parsęta (49,5°C) z kolei najniższe amplitudy zanotowano w Stacjach Wolin (39,2°C) i Karkonosze (41,8°C) (Tab. 14). Warto zwrócić uwagę, że amplitudy były niższe niż w latach

2021-2022, a zbliżone wyższe niż w latach poprzednich, na co w głównej mierze wpłynęły minimalne temperatury powietrza, które nie przekroczyły  $-15^{\circ}\text{C}$  (poza Parsętą, Pogórzem Karpackim i Beskidem Niskim). Na niższe amplitudy wpłynął również brak dni bardzo upalnych, o maksymalnych temperaturach wyższych niż  $35^{\circ}\text{C}$  (poza Pojezierzem Chełmińskim, gdzie absolutne maksimum wyniosło  $35,8^{\circ}\text{C}$ ).

Tab. 14. Wartości maksymalne i minimalne temperatur w roku hydrologicznym 2023 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
$T_{\max}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	32,0	32,2	33,6	33,6	35,8	34,3	34,5	30,8	33,0	32,8	32,8	29,8
$T_{\min}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	-7,2	-17,3	-11,8	-11,8	-10,1	-12,0	-14,3	-11,5	-13,8	-15,3	-17,0	-12,0
Amplituda [ $^{\circ}\text{C}$ ]	39,2	49,5	45,4	45,4	45,9	46,3	48,8	42,3	46,8	48,1	49,8	41,8

Według klasyfikacji termicznej Lorenc (1998), wrzesień był miesiącem ekstremalnie ciepłym w 9 Stacjach (Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie, Kampinos, Łysogóry, Roztocze i Pogórze Karpackie), z kolei w Karkonoszach takim miesiącem był czerwiec. Z kolei w przypadku klasyfikacji opadowej Kaczorowskiej (1962), skrajnie suchymi miesiącami były: maj (Wolin, Puszcza Borecka), czerwiec (Kampinos), lipiec (Wigry, Karkonosze) i wrzesień (Parsęta, Wigry, Poznań-Morasko). Częściej występowały miesiące skrajnie wilgotne: grudzień (Roztocze, Pogórze Karpackie), styczeń (Roztocze, Pogórze Karpackie, Beskid Niski, Karkonosze), kwiecień (Pogórze Karpackie), sierpień (Wolin, Poznań-Morasko, Kampinos), październik (Parsęta, Wigry, Poznań-Morasko, Kampinos, Roztocze), w Puszczy Boreckiej oraz czerwiec w Karkonoszach były miesiącami ekstremalnie ciepłymi w odniesieniu do wartości wieloletnich.

W porównaniu z poprzednimi latami, zdecydowanie zmalała frekwencja występowania nocy tropikalnej, z temperaturą minimalną  $\geq 20^{\circ}\text{C}$ , którą zarejestrowano jedynie w Łysogórach i w Beskidzie Niskim. W pięciu zlewniach wystąpiły też fale upałów, czyli ciągi przynajmniej 3 dni z temperaturą maksymalną powyżej  $30^{\circ}\text{C}$ : Puszcza Borecka (jedenkrotnie), Wigry (jedenkrotnie), Pojezierze Chełmińskie (dwukrotnie), Poznań-Morasko (jedenkrotnie) i Pogórze Karpackie (jedenkrotnie). W poprzednich latach fale upałów występowały w większej liczbie zlewni (rok 2021) lub z większą częstotliwością (2022). Występowanie fal

upałów wzmacnia 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, maj był miesiącem stosunkowo chłodnym, co skutkowało wystąpieniem późnych przymrozków w ośmiu monitorowanych zlewniach (Stacje: Wolin, Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie, Kampinos, Pogórze Karpackie, Beskid Niski i Karkonosze).

W większości zlewni, w 2023 roku nie stwierdzono występowania wyjątkowych zdarzeń ekstremalnych, zaburzających obieg wody w badanych zlewniach. W żadnej zlewni nie wystąpiły długotrwałe opady rozlewne o sumie  $\geq 200$  mm/3 doby, ani dobowe sumy opadów atmosferycznych przekraczające 50 mm. Z kolei 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. Takie zdarzenia nie wystąpiły jedynie na Roztoczu i w Karkonoszach. Należy zaznaczyć, że w 2023 roku okresy suszy były wyjątkowo długie, w czterech Stacjach (Puszcza Borecka, Pojezierze Chełmińskie, Kampinos) przekraczały 25 dni.

W 2023 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.

Można uznać, że w 2023 roku hydrologicznym do najbardziej uciążliwych zjawisk ekstremalnych należały głównie fale upałów i susze meteorologiczne. Niewystarczająca wydajność opadów atmosferycznych, średniej wysokości temperatury powietrza i parowanie terenowe były przyczyną utrzymania się suszy glebowej i suszy hydrologicznej, odznaczającej się np. okresowym wyschnięciem cieków w czterech monitorowanych zlewniach, czy też brakiem wody na różnych głębokościach w glebie.

## **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:

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

gdzie:

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

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

$\mu$  – 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 2023 roku hydrologicznym wartości wskaźnika miesięcznych zmian retencji wykazywały duże zróżnicowanie czasowe i przestrzenne. Najmniejszą dynamikę miesięcznych zmian retencji stwierdzono w Stacjach Parsęta i Wigry, gdzie prawie przez cały rok hydrologiczny wartość wskaźnika  $R_M$  ukazywała retencję bez zmian (poza październikiem ze wzrostem retencji w Parsęcie). Z kolei największe zróżnicowanie zmian retencji występowało w Polsce południowej i południowo-wschodniej (Stacje: Roztocze, Pogórze Karpackie, Beskid Niski i Karkonosze). W Stacji Bazowej Puszcza Borecka najdłużej utrzymywał się spadek retencji (przez 7 miesięcy), o którym decydowała w głównej mierze mała wydajność opadów atmosferycznych, ale również stosunkowo wysokie temperatury powietrza oraz wzmożona ewapotranspiracja. W układzie miesięcznym, we wszystkich zlewniach, relatywnie najlepsze warunki do retencji wody były w pierwszych miesiącach roku hydrologicznego (od listopada do marca). W tym okresie w stacjach notowano wzrost retencji albo retencję bez zmian (poza grudniem w Puszczy Boreckiej, styczniem na Wolinie i w Karkonoszach oraz marcem na Pogórzu Karpackim, gdzie wystąpił spadek retencji). Zdecydowanie gorsze warunki dla retencji wody wystąpiły od ekstremalnie kwietnia do października. W tym okresie tylko w Stacjach Parsęta i Wigry nie wystąpiły miesiące z wartością wskaźnika  $R_M$  mieszczącego się w przedziale spadku retencji (Tab. 15).

Tab. 15. Wskaźnik miesięcznych zmian retencji  $R_M$  dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2023 roku hydrologicznym

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

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 dużej frekwencji dni gorących (średnio 50 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 zdecydowanie odmienna sytuacja w położonych blisko siebie Stacjach Wigry i Puszcza Borecka. Generalnie przebieg wskaźnika retencji wód podziemnych potwierdza utrzymujący się słaby stan ilościowy wód podziemnych w badanych zlewniach (Tab. 15), co w konsekwencji prowadziło do możliwości wystąpienia zagrożenia pojawienia się niżówki hydrogeologicznej w większości badanych geosystemów (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;

$SNG_{w(1994-2021)}$  – 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 2023 roku hydrologicznym uśrednione wartości wskaźnika zagrożenia niżówką hydrogeologiczną wykazują mniejsze zróżnicowanie czasowo-przestrzenne niż wskaźnik miesięcznych zmian retencji. Największe zagrożenie występowania niżówki w ujęciu regionalnym wystąpiło na Pojezierzu Chełmińskim i w Kampinosie, gdzie wystąpiła odpowiednio płytka i głęboka niżówka. Należy podkreślić poprawę stanu wód podziemnych w porównaniu do lat wcześniejszych, co przejawia się mniejszą liczbą miesięcy z wystąpieniem płytkiej i tylko jednym miesiącem w jednej stacji z wystąpieniem głębokiej niżówki. Należy to wiązać z wyższymi, jednak wciąż niewystarczającymi opadami atmosferycznymi. Wpłynęły na to stosunkowo korzystne warunki opadowe w latach 2021-2022 roku, które pozwoliły odbudować zasoby wód podziemnych. Zagrożenie pojawienia się niżówki występowało w większości monitorowanych zlewni, poza Roztoczem, gdzie utrzymywał się przez cały rok brak zagrożenia wystąpienia niżówki hydrogeologicznej. Największa poprawa nastąpiła w Beskidzie Niskim, gdzie w poprzednich latach występowała płytka niżówka. Należy podkreślić utrzymujący się dobry stan na Wolinie i Roztoczu, gdzie przed 2022 rokiem występowała płytka, a nawet głęboka niżówka (Tab. 16).

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.

Tab. 16. Wskaźnik zagrożenia niżówką hydrogeologiczną  $k_n$  dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2023 roku hydrologicznym

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

- wystąpienie głębokiej niżówki
- zagrożenie pojawienia się niżówki
- analiza niemożliwa z przyczyn metodycznych (źródło - niemożliwe określenie stanu wody)
- wystąpienie płytkiej niżówki
- brak zagrożenia niżówką

### 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.

Reakcja badanych geosystemów w postaci zasilania opadowego i podziemnego widoczna była w 2023 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 geindykatory hydrologiczne w postaci współczynnika

odpływu i wskaźnika odpływu jednostkowego (Tab. 17) oraz współczynnika miesięcznego przepływu (Ryc. 14).

Tab. 17. Miesięczne średnie wartości współczynnika odpływu [-] i odpływu jednostkowego oraz ekstremalne dobowe odpływy jednostkowe [ $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ] w 2023 roku hydrologicznym w Stacjach Bazowych ZMŚP

Stacja (Rzeka)	Współczynnik odpływu	Średni miesięczny odpływ jednostkowy	Maksymalny dobowy odpływ jednostkowy	Minimalny dobowy odpływ jednostkowy
	[-]	[ $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ]		
Wolin (Lewińska Struga)	0,15	3,50	12,20	0,00
Parsęta (Parsęta)	0,43	5,81	15,25	3,00
Wigry (Czarna Hańcza)	0,39	5,55	10,14	3,21
Pojezierze Chełmińskie (Struga Toruńska)	0,13	1,64	10,68	0,00
Poznań-Morasko (Różany Strumień)	0,03	0,60	8,10	0,00
Kampinos (Kanał Olszowiecki)	0,03	0,52	2,72	0,00
Łysogóry (Wieniec)	0,03	1,10	18,90	0,05
Roztocze (Świerszcz)	0,10	2,38	4,63	1,38
Pogórze Karpackie (Stara Rzeka)	0,19	5,78	65,44	0,27
Beskid Niski (Bystrzanka)	0,36	10,64	126,15	0,69
Karkonosze (Wrzosówka)	0,68	23,90	877,50	7,00

### Współczynnik odpływu

Współczynnik odpływu ( $\alpha$ ) 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 ciekami ze zlewni. Współczynnik odpływu w zadanym przedziale czasu (miesiąc, rok) jako wartość niemianowaną oblicza się następująco:

$$\alpha = O/P \text{ [-]}$$

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 2023 roku był na podobnym poziomie jak w latach poprzednich. Przyjmował on wartości od 0,03 w Różanym Strumieniu w Poznaniu, w Kanale Olszowieckim w Kampinosie i w Wieńcu w Górach

Świętokrzyskich do wartości najwyższych: 0,43 w Parsęcie oraz 0,68 we Wrzosówce w Karkonoszach. 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 (Lewińska Struga, Struga Toruńska, Różany Strumień, Kanał Olszowiecki), a maksymalnie 39-43% (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 (Stara Rzeka, Bystrzanka i Wrzosówka), gdzie udział wód opadowych w wodach rzecznych wyniósł odpowiednio 19%, 36% i 68%. W tych zlewniach migracja wody opadowej do koryta rzeczno jest szybka i krótka. Jakość wód opadowych w zlewniach górskich może znacząco wpływać na jakość wody w rzekach. W zlewniach górskich reakcja odpływu rzeczno 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 rzeczno, ale także m.in. dla potrzeb melioracji czy nawadniania.

W roku 2023 zauważalny jest ścisły związek pomiędzy wielkością opadów atmosferycznych w okresach poprzedzających, a aktualnym odpływem ze zlewni. Porównywalne wartości współczynnika odpływu z latami poprzedzającymi o różnych warunkach hydrometeorologicznych (niekorzystne, suche lata 2018-2019 i umiarkowanie korzystne lata 2020-2022) można tłumaczyć mniejszą retencją i znaczącym obniżeniem stanu wód powierzchniowych i podziemnych w bardzo suchych i bardzo ciepłych latach 2018 i 2019. Wyższe opady w latach 2020-2022 przyczyniły się do stopniowego uzupełniania zasobów wód podziemnych (retencji), jednak opady nie były wystarczające, czego efektem są zbliżone do trzech lat poprzedzających współczynniki odpływu w roku 2023. Na stosunkowo niskie wartości współczynnika odpływu w latach 2020-2022 mogły wpłynąć również wysokie temperatury powietrza zwiększające ewapotranspirację. Część wód opadowych poddana

została ewapotranspiracji oraz została wykorzystana do uzupełnienia deficytu opadów z lat poprzednich.

### ***Wskaźnik odpływu jednostkowego***

Odpływ jednostkowy ( $q$ ) jest miarą odpływu ze zlewni, opisującą odpływ wody w jednostce czasu z jednostki powierzchni zlewni i wyrażaną w  $\text{dm}^{-3}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ . Obliczenia odpływu jednostkowego dokonuje się z uwzględnieniem średniego przepływu w danym okresie (doba, miesiąc, rok) na podstawie formuły:

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

gdzie:

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

$A$  – powierzchnia zlewni [ $\text{km}^2$ ].

W badanych zlewniach ZMŚP w 2023 roku średni miesięczny wskaźnik odpływu jednostkowego (Tab. 17) przyjmował niskie wartości, poniżej  $5 \text{ dm}^{-3}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$  prawie we wszystkich zlewniach nizinnych i wyżynnych (oprócz Parsęty i Czarnej Hańczy, w których monitorowane są cieki o większych przepływach). Z kolei równie wysokie odpływy jednostkowe, które występowały w zlewniach górskich (Stara Rzeka, Bystrzanka i Wrzosówka) wynikały z małej powierzchniowo strefy alimentacji i szybkiego obiegu wody, dużych spadków terenu generujących spływ powierzchniowy i szybszą dostawę wody z systemu stokowego do korytowego.

O względnie niskim odpływie jednostkowym w 2023 roku w zlewniach nizinnych i górskich, poza warunkami hydrometeorologicznymi, decydowały zarówno inne czynniki przyrodnicze (np. wielkość strefy alimentacji, litologia oraz użytkowanie i pokrycie strefy zasilania), jak i antropogeniczne (np. nawadnianie i melioracje). Przykładowo, o niskim odpływie jednostkowym ze zlewni Lewińskiej Strugi (Wyspa Wolin) decyduje bardzo rozległa strefa alimentacji i leśne użytkowanie terenu oraz związana z tymi uwarunkowaniami powolna dostawa wody do koryta rzeczno-jeziornego. Ponadto Lewińska Struga w profilu badawczym ma długość 3 km, z czego jedynie 0,6 km cieku przebiega poza jeziorami. Zatem ten system rzeczno-jeziorny charakteryzuje się dużą bezwładnością hydrologiczną, która przejawia się słabą reakcją na ekstremalne zasilanie opadowe lub roztopowe. Z kolei na bardzo niską dynamikę odpływu wód oraz okresowy jej zanik w Wieńcu (Góry Świętokrzyskie) wpłynęły zarówno czynniki naturalne (budowa geologiczna zlewni, znaczne uszczelinienie utworów powierzchniowych ograniczające spływ powierzchniowy – większość wód opadowych perkoluje (przeżywa przez stałe podłoże) do głębszych warstw wodonośnych nie mających

kontaktu hydraulicznego z ciekim), jak i spowodowane działalnością człowieka (np. przekierowywanie wody z cieków przez gospodarzy do przydomowych zbiorników). Antropopresja w zlewni Strugi Toruńskiej (Pojezierze Chełmińskie) przejawia się zaburzeniem odpływu rzecznej wskutek działalności rolniczej, gdzie wody rzeczne wykorzystywane są do nawadniania pól uprawnych.

### ***Współczynnik miesięcznego przepływu***

Podstawą oceny ustroju rzecznej 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:

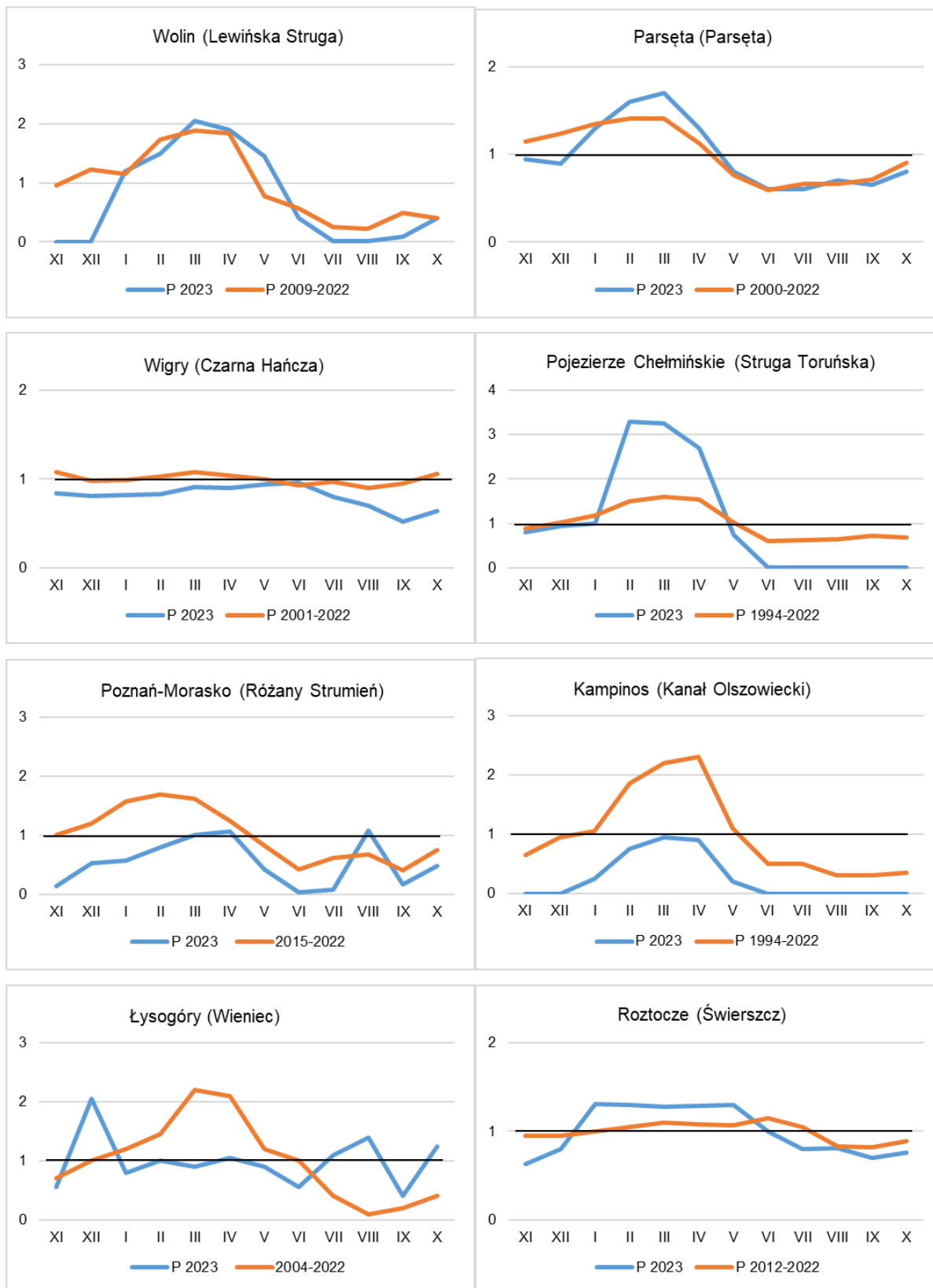
$SQ_{mi}$  – średni przepływ j-tego miesiąca w wieloleciu;

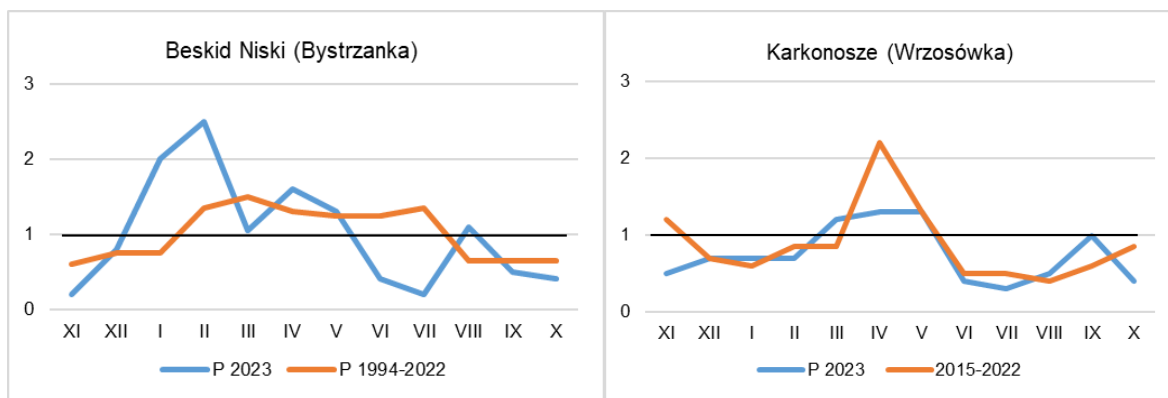
$SQ_r$  – średni przepływ roczny w wieloleciu.

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

Współczynnik miesięcznych przepływów w 2023 roku hydrologicznym odbiegał od współczynnika przepływów dla wartości średnich z wielolecia i był zróżnicowany w poszczególnych zlewniach (Ryc. 14). Najbardziej typowy był przepływ Parsęty, Czarnej Hańczy i Świerszcza. W zlewniach w Polsce północno-zachodniej i centralnej (Lewińska Struga, Parsęta, Struga Toruńska i Kanał Olszowiecki) zaznaczyły się wyższe przepływy w półroczu zimowym, w szczególności od lutego do kwietnia, co wynikało z większych sum opadów atmosferycznych przy mniejszej ewapotranspiracji w tym okresie. Z kolei w zlewniach Czarnej Hańczy i Świerszcza przepływ kształtował się na podobnym poziomie we wszystkich miesiącach roku hydrologicznego. Zlewnie górskie (Bystrzanka i Wrzosówka) charakteryzują się znacznym zróżnicowaniem współczynników przepływu w poszczególnych miesiącach. Na przepływy w tych zlewniach w znacznym stopniu wpływają wysokie opady w okresie

poprzedzającym. Generalnie najmniejsze przepływy występowały głównie od czerwca do września, kiedy to cztery monitorowane cieki okresowo (lub stale) nie prowadziło wody (Lewińska Struga, Struga Toruńska, Różany Strumień i Kanał Olszowiecki).





Ryc. 14. Zmienność czasowa współczynników miesięcznych przepływu w roku hydrologicznym 2023 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, wielolecia) jest porównanie ilości wody jaka dostaje się do zlewni z opadami atmosferycznymi oraz ilości wody jaka z niej odpływa korytem rzeczonym. 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  $H_{\text{pow}}$  [mm]. Uzyskane wartości uproszczonego bilansu wodnego  $P=H+S$ , stanowią wówczas ilość wody uczestniczącą w obiegu wody w geosystemach  $S$ , którą stanowią zarówno straty wynikające m.in. z parowania  $E$  i odpływu podziemnego  $H_{\text{pod}}$ , jak i zysk wody w zlewni związany ze zmianami jej retencji  $\Delta R$ .

Określając uproszczony roczny bilans wodny w zlewniach ZMŚP dla 2023 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 dla 2023 roku wykazała wyraźną zmienność przestrzenną oraz względnie korzystną sytuację hydrometeorologiczną do retencji wody



w większości badanych zlewni (poza Czarną Hańczę i Strugą Toruńską). Największy deficyt odpływu wody występował w wyżynnej strefie krajobrazowej, w Stacjach Łysogóry (851,2 mm) i Roztocze (675,8 mm) oraz na Pogórzu Karpackim (752,6 mm). Z kolei najniższy deficyt odpływu obliczono dla Czarnej Hańczy, Strugi Toruńskiej i dla Wrzosówki. W przypadku zlewni Wrzosówki wpłynęły na to wysokie przepływy, a w konsekwencji wysoka warstwa odpływu, charakterystyczna dla zlewni górskiej. Z kolei w przypadku Czarnej Hańczy i Strugi Toruńskiej, na niskie deficyty odpływu wpłynęły bardzo mało wydajne opady atmosferyczne. W pozostałych zlewniach nizinnych deficyt odpływu mieścił się w zakresie od 482,6 mm (Parsęta) do 610,8 mm (Różany Strumień) (Tab. 18). W porównaniu z rokiem 2022, w 7 Stacjach (Parsęta, Poznań-Morasko, Kampinos, Łysogóry, Roztocze, Pogórze Karpackie i Karkonosze) deficyt odpływu był wyższy w 2023 roku. Uproszczony bilans wodny w 2023 roku (średnio 541 mm) był zbliżony do ciepłych i normalnych pod względem opadów lat: 2016 (529 mm), 2020 (549 mm) i 2021 (517 mm). Z kolei porównując z suchymi i ciepłymi latami: 2015, 2018 i 2019 (średni deficyt odpływu wody odpowiednio: 440, 439 i 475 mm), deficyt odpływu w 2023 roku był wyższy. W ostatnich dziesięcioleciu zdecydowanie najwyższy deficyt odpływu miał miejsce w wilgotnym roku 2017 (625 mm).

Tab. 18. Miesięczne wysokości warstwy opadu i odpływu [mm] oraz skróconego bilansu wodnego [mm] w 2023 roku hydrologicznym w zlewniach ZMŚP

Stacja (zlewnia)	P	H <sub>pow</sub>	S
	Opad atmosferyczny	Odpływ powierzchniowy	Deficyt odpływu P-H <sub>pow</sub>
[mm]			
Wolin (Lewińska Struga)	575,6	86,7	488,9
Parsęta (Parsęta)	665,2	182,6	482,6
Wigry (Czarna Hańcza)	452,0	175,2	276,8
Pojezierze Chełmińskie (Struga Toruńska)	390,1	49,9	340,2
Poznań-Morasko (Różany Strumień)	628,4	17,6	610,8
Kampinos (Kanał Olszowiecki)	546,5	15,6	530,9
Łysogóry (Wieniec)	878,8	27,6	851,2
Roztocze (Świerszcz)	750,7	74,9	675,8
Pogórze Karpackie (Stara Rzeka)	934,4	181,8	752,6
Beskid Niski (Bystrzanka)	926,1	335,5	590,6
Karkonosze (Wrzosówka)	1108,0	753,7	354,3

Reasumując, znaczna ilość dostarczanej wraz z opadami wody, która w 2023 roku była wyższa od średniej wieloletniej, tracona była na parowanie terenowe. Straty na parowanie terenowe wskutek ciepłego 2023 roku mogły wynosić około 380-400 mm rocznie (Awłasiewicz 1953). Generalnie w większości badanych zlewni (poza Czarną Hańczą i Strugą Toruńską) w 2023 roku, warunki do odbudowy zasobów wodnych były umiarkowane. Wystąpiła korzystna sytuacja do retencji wodnej w badanych geoekosystemach, co miało swoje odzwierciedlenie w dobrej jakości wód krążących w zlewniach i względnie sprzyjających warunków życiowych dla roślin i zwierząt (które byłyby znacznie lepsze przy niższych temperaturach powietrza).

## **6. GEOINDYKATORY JAKOŚCI WODY W EKSPERYMENTALNYCH GEOEKOSYSTEMACH ZLEWNI RZECZNYCH I JEZIORNÝCH ZMŚP**

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

W określeniu prawidłowości funkcjonowania badanych geoeekosystemów 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 rzeczonym. 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 geoeekosystemy zewnętrzne – poza zlewniami ZMŚP. Analiza atmosferycznej dostawy ładunków substancji rozpuszczonych i ich odprowadzania rzeczonym 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***

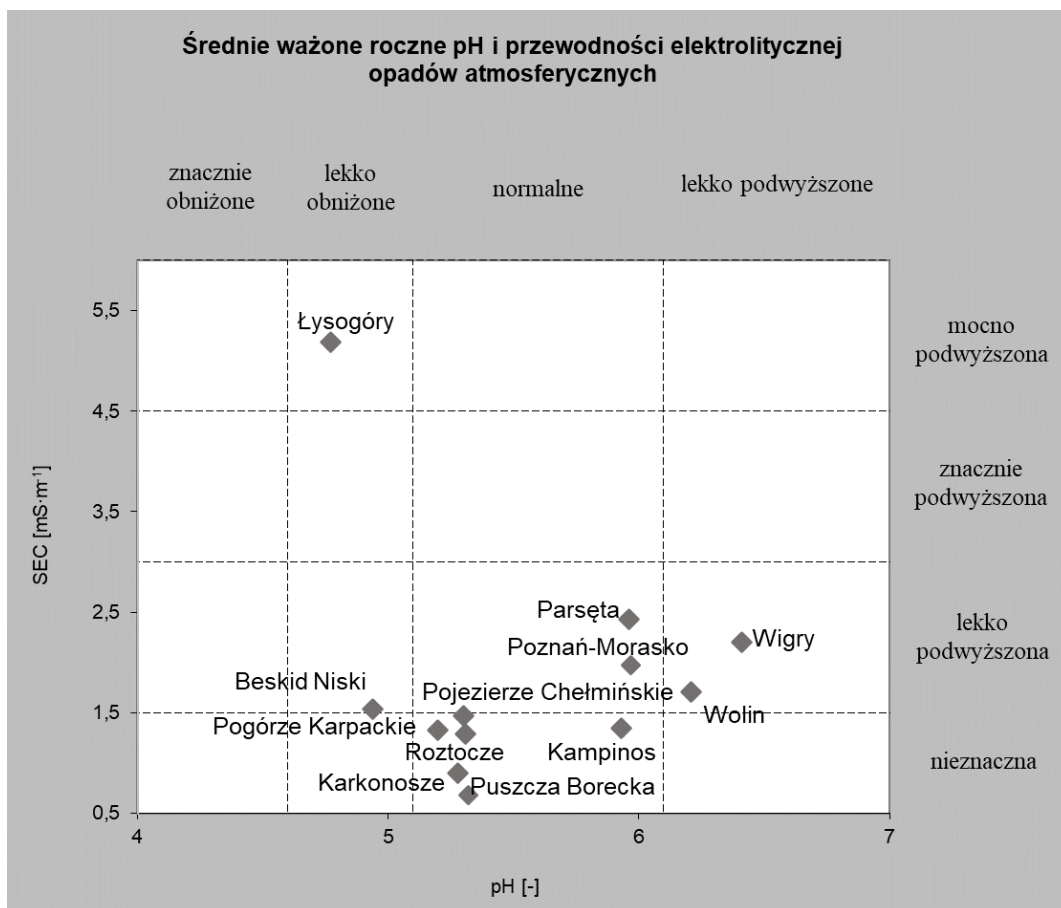
Wskaźnik ten został określony na podstawie tzw. klasyfikacji austriackiej jakości opadów atmosferycznych (Jansen i in. 1988). Ze względu na jego dużą przydatność do oceny odczynu i przewodności elektrolitycznej opadów atmosferycznych został wprowadzony do obligatoryjnego stosowania w sprawozdaniach Stacji Bazowych ZMŚP. Klasyfikacja pH/SEC ukazuje czasowe zróżnicowanie jakości wód opadowych (trendy i tendencje) w zróżnicowanych geosystemach 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 2021 roku przedstawiono na rycinie 12.

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

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



Ryc. 15. Klasyfikacja pH i SEC opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2023 roku (dla opadu całkowitego)

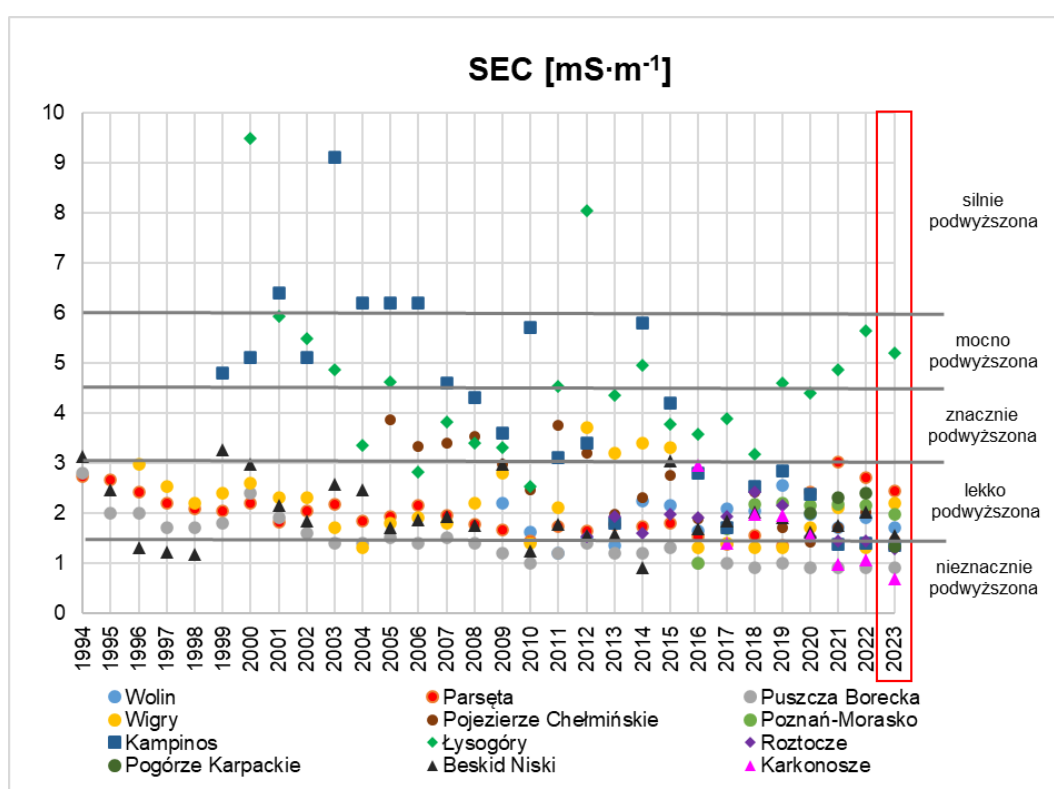
Wskaźnik klasyfikacji SEC opadów atmosferycznych w 2023 roku hydrologicznym w zakresie średniej ważonej przewodności elektrolitycznej (Ryc. 15) charakteryzował się następującymi właściwościami:

- przewodność nieznaczną stwierdzono w 5 Stacjach: Puszcza Borecka, Kampinos, Roztocze, Pogórze Karpackie i Karkonosze;
- przewodność lekko podwyższoną stwierdzono w 6 Stacjach: Wolin, Parsęta, Wigry, Pojezierze Chełmińskie, Poznań-Morasko i Beskid Niski;
- przewodność mocno podwyższoną stwierdzono w Stacji Łysogóry.

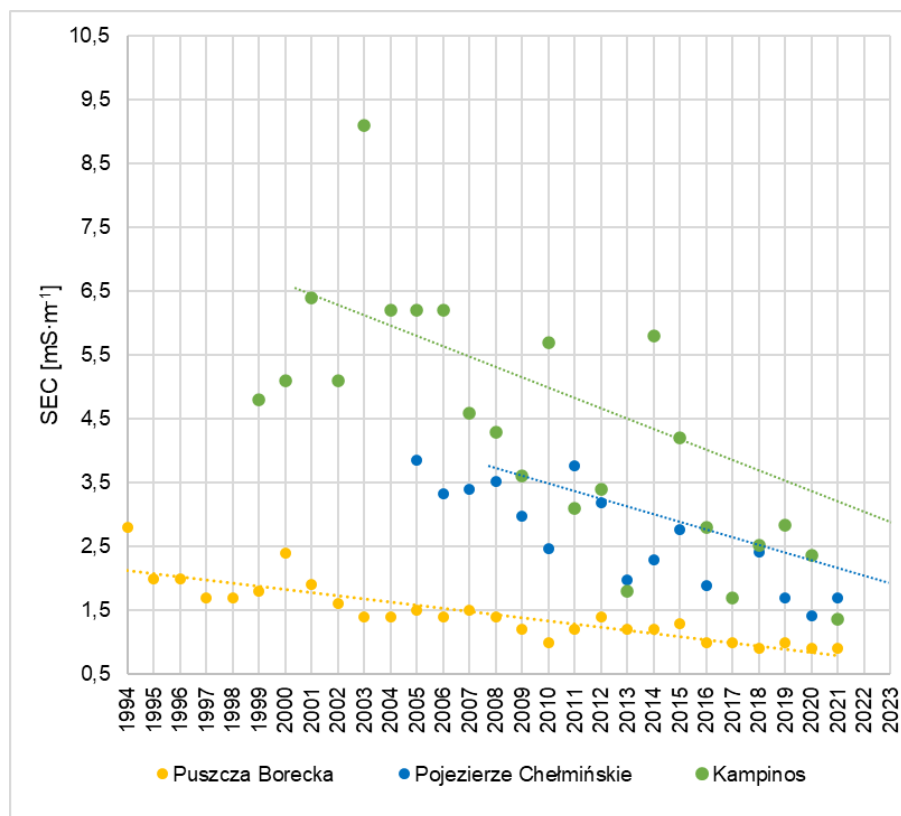
Jakość opadów atmosferycznych w 2023 roku pod względem wskaźnika SEC w porównaniu z ubiegłym rokiem w większości stacji pozostała na podobnym poziomie. Poprawie uległa jakość opadów w Stacji Pogórze Karpackie (z klasy lekko podwyższonej przewodności do nieznacznej). Z kolei w Stacji Wigry stwierdzono pogorszenie jakości opadów pod względem przewodności (z klasy nieznacznej do lekko podwyższonej). Gorszą, w porównaniu z innymi stacjami, jakość opadów atmosferycznych w Górach Świętokrzyskich można tłumaczyć wyniesieniem obszaru zlewni Wieńca w stosunku do otoczenia od 100 do

300 m. Sytuacja taka powoduje istotny wpływ zarówno lokalnych, jak i odległych emisji przemysłowych i transportowych. Warto jednak zwrócić uwagę, że w żadnej z pozostałych stacji, przewodności nie zakwalifikowano do klasy znacznie podwyższonej (Ryc. 16).

Wieloletni przebieg zmienności przewodności elektrolitycznej dla większości Stacji Bazowych wskazuje na korzystny trend obniżania się stężenia substancji rozpuszczonych w wodach opadowych. Istotny statystycznie trend spadkowy mineralizacji opadów ( $p < 0,05$ ) odnotowano dla 3 stacji posiadających długie serie pomiarowe, tj. dla Puszczy Boreckiej, Pojezierza Chełmińskiego i Kampinosu. Trend 10. letni spadku SEC wynosi od  $0,44 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$  w Puszczy Boreckiej do  $1,47 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$  w Kampinosie (Ryc. 17).



Ryc. 16. Zmienność czasowa SEC opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2023 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

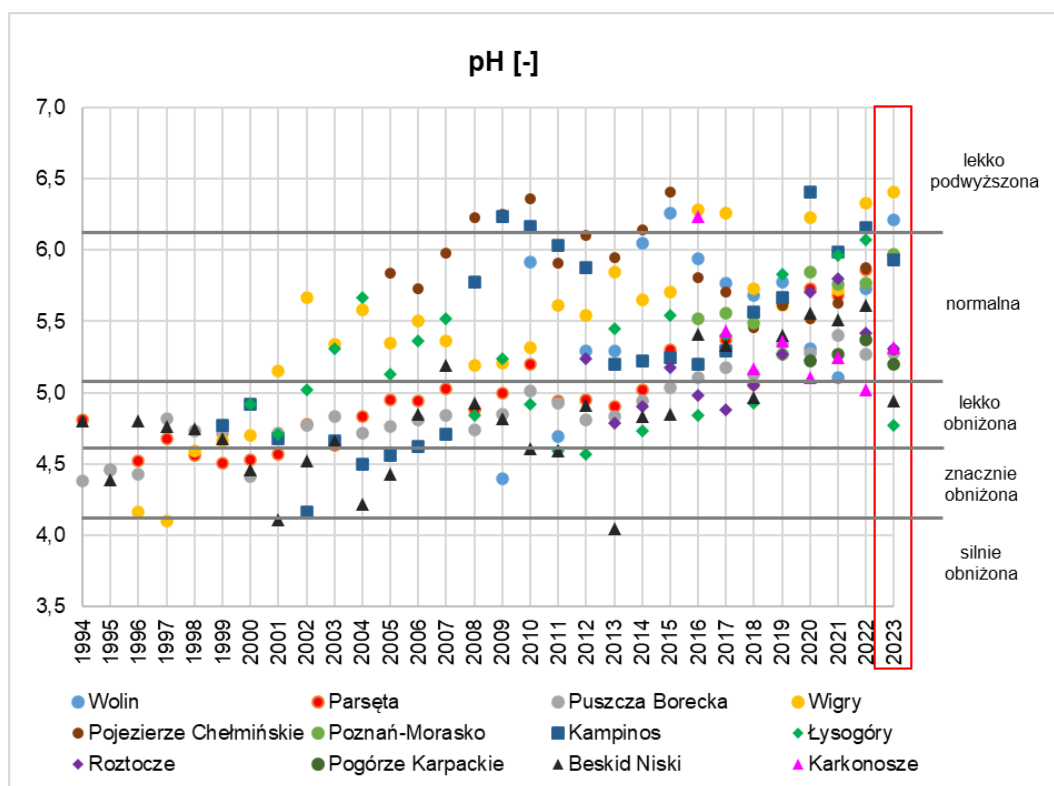
Klasyfikacja odczynu opadów atmosferycznych w 2023 roku hydrologicznym (Ryc. 15) charakteryzowała się następującymi właściwościami:

- pH lekko podwyższone stwierdzono w 2 Stacjach: Wolin i Wigry;
- pH normalne stwierdzono w pozostałych 9 Stacjach: Parsęta, Puszcza Borecka, Pojezierze Chełmińskie, Poznań-Morasko, Kampinos, Roztocze, Pogórze Karpackie i Karkonosze;
- pH lekko obniżone stwierdzono w 2 Stacjach: Łysogóry i Beskid Niski.

W odniesieniu do 2022 roku odczyn opadów w 2023 w większości stacji pozostał na podobnym poziomie. W roku 2022 w Stacjach: Wolin, Łysogóry i Beskid Niski stwierdzono pH normalne, a w 2023 pH lekko podwyższone na Wolinie oraz lekko obniżone w Łysogórach i w Beskidzie Niskim. Z kolei w 2022 roku w Kampinosie było pH lekko podwyższone, a w Karkonoszach lekko obniżone, a w roku 2023 w obu Stacjach stwierdzono normalny odczyn opadów atmosferycznych (Ryc. 18).

Zmienność czasowa odczynu wód opadowych wykazuje korzystną tendencję do zmniejszania zakwaszenia opadów – wzrostu wartości pH w Stacjach Bazowych ZMŚP. Istotny statystycznie trend wzrostu pH opadów ( $p < 0,05$ ) odnotowano dla 6 Stacji Bazowych: Parsęta,

Puszcza Borecka, Wigry, Kampinos, Roztocze i Beskid Niski. Trend 10. letni spadku kwasowości wynosi od 0,28 w Puszczy Boreckiej do 0,57 pH w Kampinosie (Ryc. 19).



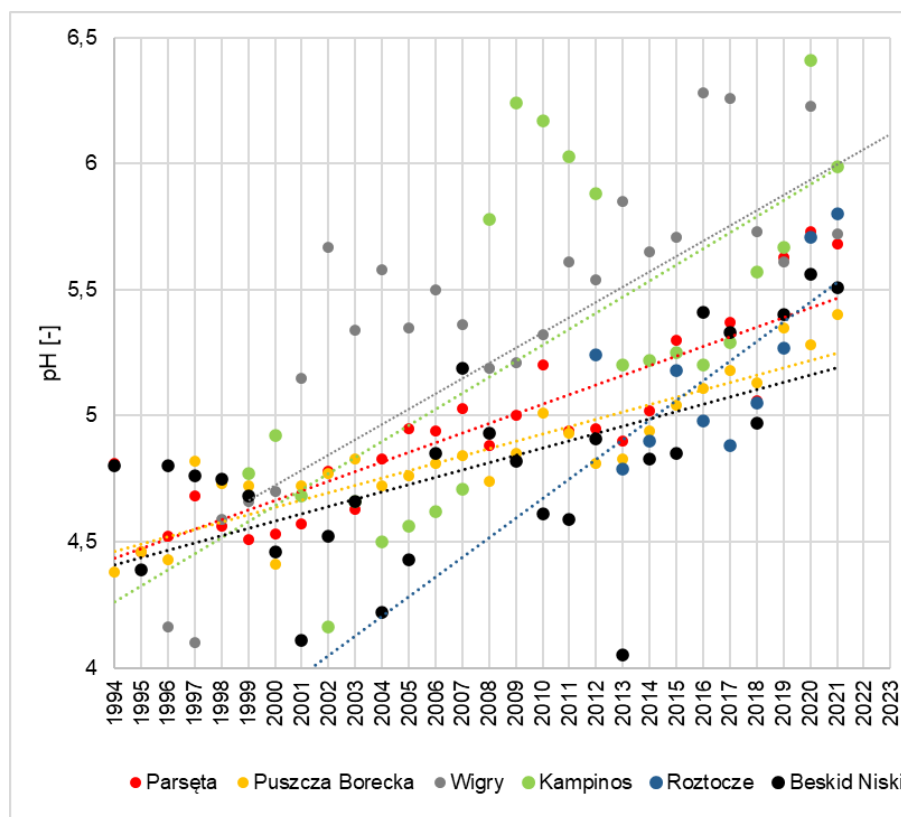
Ryc. 18. Zmienność czasowa kwasowości opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2023 roku hydrologicznym na tle wielolecia

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 Stacji Kampinos, na co wpłynęła m.in. poprawa jakości powietrza atmosferycznego w aglomeracji warszawskiej. Dla stacji położonych w Górach Świętokrzyskich (Łysogóry) oraz dla Wolina i Pojezierza Chełmińskiego nie można stwierdzić istotnej statystycznie tendencji zmiany odczynu opadów (Ryc. 18, Ryc. 19).

Należy podkreślić, że w 2023 roku jakość atmosferycznej dostawy wody do badanych zlewni była dobra. W 2023 roku opady miały raczej niską mineralizację i normalny odczyn. Mała koncentracja substancji rozpuszczonych i niska kwasowość opadów w 2023 roku



w większości geоекосystemów (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  $\text{NO}_3^-$  i  $\text{SO}_4^{2-}$  wyrażonych w mikroekwiwalentach na  $\text{dm}^{-3}$  (Kostrzewski i in. 2007). Jeśli wskaźnik przyjmuje wartość poniżej 1 – w zakwaszaniu większy udział ma  $\text{SO}_4^{2-}$ , wartości powyżej 1 wskazują na dominację  $\text{NO}_3^-$  w zakwaszaniu, natomiast wartość 1 dotyczy równoważnego udziału  $\text{SO}_4^{2-}$  i  $\text{NO}_3^-$  w zakwaszaniu wód opadowych (Szpikowska 2011). Wskaźnik oblicza się za pomocą formuły:

$$\text{WCK} = \text{SJ NO}_3^- / \text{SJ SO}_4^{2-} [-]$$

gdzie:

WCK – wskaźnik czynników kwasogennych w zakwaszaniu opadów;

SJ  $\text{NO}_3^-$  – stężenie jonów  $\text{NO}_3^-$  [ $\text{meq} \cdot \text{dm}^{-3}$ ];

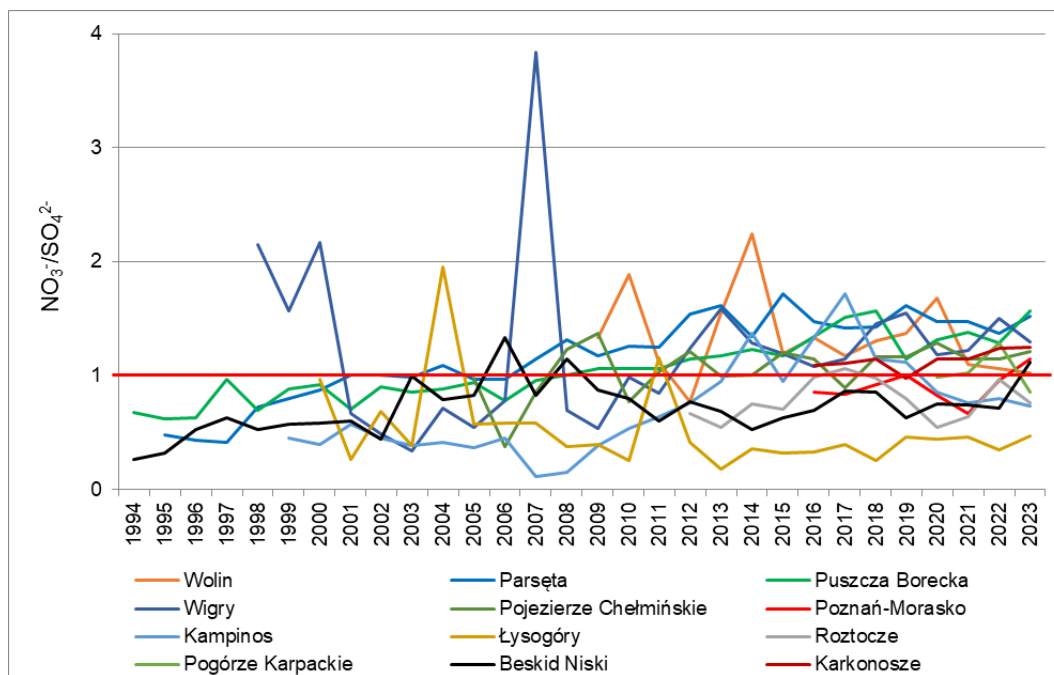
SJ  $\text{SO}_4^{2-}$  – stężenie jonów  $\text{SO}_4^{2-}$  [ $\text{meq} \cdot \text{dm}^{-3}$ ].

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).

Zmienność czasowa wskaźnika udziału czynników kwasogennych dla Stacji Bazowych ZMŚP wykazuje w badanym wieloleciu 1994-2023 (Ryc. 20) następujące tendencje:

- utrzymującą się przewagę roli  $\text{NO}_3^-$  nad  $\text{SO}_4^{2-}$  od drugiej dekady XXI wieku w większości monitorowanych zlewni, co świadczy o aktualnie większym wpływie zanieczyszczeń komunikacyjnych w zakwaszaniu opadów;
- do pierwszej dekady XXI wieku na zakwaszenie opadów większy wpływ wywierały zanieczyszczenia ze spalania paliw kopalnych (m.in. wskutek ogrzewania obiektów w sezonie zimowym);
- większy w 2023 roku udział  $\text{NO}_3^-$  w zakwaszaniu opadów stwierdzono w 8 stacjach położonych w północnej i zachodniej Polsce: Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie, Poznań-Morasko i Karkonosze, a także w Beskidzie Niskim;
- większy w 2023 roku udział  $\text{SO}_4^{2-}$  w zakwaszaniu opadów stwierdzono w 3 stacjach położonych w Polsce południowej i południowo-wschodniej: Łysogóry, Roztocze i Pogórze Karpackie, a także w Kampinosie.

Na podstawie wieloletniej serii pomiarowej, zaobserwowano zależność przestrzenną większego udziału  $\text{NO}_3^-$  w zakwaszaniu opadów w Polsce północnej i zachodniej, z kolei większego udziału  $\text{SO}_4^{2-}$  w Polsce południowo-wschodniej. W porównaniu z rokiem 2022 nie nastąpiły większe zmiany w zakresie wskaźnika czynników kwasogennych w zakwaszaniu opadów. W Poznaniu po raz drugi w ośmioletniej serii pomiarowej stwierdzono większy udział  $\text{NO}_3^-$  w zakwaszaniu opadów. Podobnie w przypadku Beskidu Niskiego, taką zależność stwierdzono po raz pierwszy od 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 wieloletniu 1994-2023

### **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 ( $\text{Cl}^-$  i  $\text{Na}^+$ ). W niezanieczyszczonej wodzie opadowej stężenie jonów  $\text{Cl}^-$  i  $\text{Na}^+$  jest stosunkowo małe (poniżej  $5 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ). 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  $\text{Cl}^-$  i  $\text{Na}^+$  powinny występować w nadmorskiej strefie nizinnej, na pobrzeżu Bałtyku (Stacja Bazowa Wolin). Niższe stężenia jonów  $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$  w opadach powinny cechować strefę pojezierną Niżu Polskiego (np. Stacje Bazowe Parsęta, Puszcza Borecka, Pojezierze Chełmińskie). Z kolei najniższe stężenia jonów  $\text{Cl}^-$  i  $\text{Na}^+$  powinny być w opadach w stacjach położonych najdalej od strefy nadmorskiej (strefa wyżyn polskich – Stacje Roztocze i Łysogóry oraz strefa gór średnich – Stacje Pogórze Karpackie, Beskid Niski i Karkonosze).

Przestrzenne zróżnicowanie stężenia jonów  $\text{Cl}^-$  i  $\text{Na}^+$  w wodach opadowych w 2023 roku można rozpatrywać w Stacjach Bazowych dla 3 transektów południkowych:

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

Gradient stężenia jonów  $\text{Cl}^-$  i  $\text{Na}^+$  wyznaczono także w transekcje 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 2023 roku, podobnie jak w latach wcześniejszych, rozkład przestrzenny stężenia jonów pochodzenia morskiego w Polsce nizinnej wykazywał pozytywną prawidłowość spadku koncentracji jonów  $\text{Cl}^-$  i  $\text{Na}^+$  wraz z oddalaniem się od wybrzeża Bałtyku. W strefie nadmorskiej (Wolin) średnie ważone stężenie jonów chlorkowych i sodowych było najwyższe (odpowiednio  $1,26$  i  $0,84 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ). 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)  $\text{Cl}^-$   $0,66$  i  $\text{Na}^+$   $0,32 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  i w strefie nizin (Kampinos)  $\text{Cl}^-$   $0,63$  i  $\text{Na}^+$   $0,22 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . W transekcje równoleżnikowym strefy młodoglacjalnej Niżu Polskiego występował spadek stężenia zarówno chlorków, jak i sodu w opadach – odpowiednio od  $1,26 \text{ mg Cl}\cdot\text{dm}^{-3}$  i  $0,84 \text{ mg Na}\cdot\text{dm}^{-3}$  w Wolinie, poprzez  $0,61 \text{ mg Cl}\cdot\text{dm}^{-3}$  i  $0,41 \text{ mg Na}\cdot\text{dm}^{-3}$  w zlewni górnej Parsęty do  $0,54 \text{ mg Cl}\cdot\text{dm}^{-3}$  i  $0,24 \text{ mg Na}\cdot\text{dm}^{-3}$  w Puszczy Boreckiej do  $0,35 \text{ mg Cl}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Spadek w transekcje równoleżnikowym strefy nizinnej został zaburzony w Wigrach ( $0,84 \text{ mg Cl}\cdot\text{dm}^{-3}$  i  $0,26 \text{ mg Na}\cdot\text{dm}^{-3}$ ). W tej stacji zarejestrowano wyższe niż w roku poprzednim stężenia wszystkich mierzonych substancji rozpuszczonych w wodach opadowych. Warto jednak podkreślić, że stężenia jonów chlorkowych i sodowych pozostają na bardzo niskim poziomie.

Średnie stężenia jonów chlorkowych i sodowych w strefie wyżynnej ( $1,98 \text{ mg Cl dm}^{-3}$  i  $0,65 \text{ mg Na dm}^{-3}$ ) 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, na Roztoczu stężenia są niższe niż 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 2023 roku

Stacja ZMŚP	Strefa krajobrazowa	S-SO <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	Cl	Na	K	Mg	Ca
		[mg·dm <sup>-3</sup> ]							
Wolin	nadmorska	0,38	0,34	0,76	1,26	0,84	0,20	0,11	0,57
Parsęta	pojezierzy	0,21	0,28	0,55	0,61	0,41	0,14	0,17	2,94
Puszcza Borecka		0,24	0,33	0,57	0,54	0,24	0,07	0,06	0,22
Wigry		0,38	0,43	1,00	0,84	0,26	0,42	0,18	0,94
Pojezierze Chełmińskie		0,36	0,38	0,82	0,58	0,24	0,24	0,16	0,71
Poznań-Morasko		0,40	0,40	0,57	0,74	0,46	0,26	0,08	0,55
Kampinos	nizin	0,53	0,34	0,67	0,63	0,22	0,20	0,17	0,98
Łysogóry	wyżyn	2,54	1,05	1,44	3,48	1,22	0,70	0,80	2,70
Roztocze		0,39	0,26	0,23	0,48	0,08	0,14	0,07	0,87
Pogórze Karpackie	gór średnich	0,52	0,39	0,58	0,46	0,14	0,12	0,05	0,83
Beskid Niski		0,41	0,40	0,26	0,35	0,25	0,11	0,08	1,34
Karkonosze		0,21	0,23	0,38	0,35	0,10	0,03	0,02	0,13

W zachodnim transekcie południkowym, podobnie jak w latach poprzednich, stwierdzono wyraźny spadek stężenia jonów sodowych i chlorkowych, od pasa nadmorskiego (Wolin 1,26 mg Cl·dm<sup>-3</sup> i 0,84 mg Na·dm<sup>-3</sup>), poprzez pas pojezierzy (Parsęta 0,61 mg Cl·dm<sup>-3</sup> i 0,41 mg Na·dm<sup>-3</sup>, Poznań-Morasko 0,74 mg Cl·dm<sup>-3</sup> i 0,46 mg Na·dm<sup>-3</sup>) do pasa gór średnich (Karkonosze 0,35 mg Cl·dm<sup>-3</sup> i 0,10 mg Na·dm<sup>-3</sup>). W tym transekcie minimalnie zakłócona została normalna tendencja spadku stężenia jonów chlorkowych i sodowych w miejskiej Stacji Poznań-Morasko. W tej stacji opady atmosferyczne miały wyższe stężenia chlorków i sodu niż w Stacji Parsęta, położonej ok. 150 km na północ, a przyczyną takiej sytuacji były wyższe stężenia substancji rozpuszczonych w opadach atmosferycznych w zlewni Różanego Strumienia wskutek negatywnego oddziaływania aglomeracji Poznania.

W środkowym transekcie południkowym, tendencja spadku stężenia jonów chlorkowych i sodowych została zaburzona w strefie wyżyn. Największe stężenia wystąpiły w Łysogórach (3,48 mg Cl·dm<sup>-3</sup> i 1,22 mg Na·dm<sup>-3</sup>). Z kolei najniższe stężenia wystąpiły w górach średnich (Pogórze Karpackie 0,46 mg Cl·dm<sup>-3</sup> i 0,14 mg Na·dm<sup>-3</sup>, Beskid Niski 0,35

mg Cl·dm<sup>-3</sup> i 0,25 mg Na·dm<sup>-3</sup>). Stężenia w strefie nizin były wyższe niż w górach, a niższe niż w strefie wyżynnej (Pojezierze Chełmińskie 0,58 mg Cl·dm<sup>-3</sup> i 0,24 mg Na·dm<sup>-3</sup>; Kampinos 0,63 mg Cl·dm<sup>-3</sup> i 0,22 mg Na·dm<sup>-3</sup>). Należy podkreślić poprawę jakości opadów atmosferycznych w strefie gór średnich, gdzie w poprzednich latach notowane były wyższe stężenia niż w Polsce nizinnej. We wschodnim transekcie południkowym, zachowana została tendencja spadku stężeń jonów chlorkowych i sodowych w kierunku południowym. Na wyżynnym Roztoczu wyniosły one 0,48 mg Cl·dm<sup>-3</sup> i 0,08 mg Na·dm<sup>-3</sup>, a w strefie pojezierzy: w Wigrach: 0,84 mg Cl·dm<sup>-3</sup> i 0,26 mg Na·dm<sup>-3</sup> oraz w Puszczy Boreckiej: 0,54 mg Cl·dm<sup>-3</sup> i 0,24 mg Na·dm<sup>-3</sup>.

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). Taka sytuacja świadczyć może o antropogenicznej dostawie zanieczyszczeń (głównie przemysłowych) wraz z opadami, które napływają zwłaszcza z kierunku zachodniego, z przemysłowego regionu Górnego Śląska, z Ostrawsko-Karwińskiego Okręgu Przemysłowego w Czechach oraz z obszaru aglomeracji Krakowa. Należy jednakże podkreślić, że stężenia chlorków i sodu w całej Polsce były dość niskie i nie przekroczyły wartości 5 mg·dm<sup>-3</sup>.

Analiza średniego stężenia substancji rozpuszczonych w wodach opadowych w 2023 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 (23), Pojezierze Chełmińskie (40), Poznań-Morasko (62), Kampinos (65), Łysogóry (103), Roztocze (127), Pogórze Karpackie (149), Beskid Niski (157), Karkonosze (90).

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, sól, wapń, wodorowęglany).

W 2023 roku wody podziemne we wszystkich jednolitych częściach wód występujących w zlewniach podziemnych ZMŚP, poza Parsętą, posiadały dobry stan chemiczny (Tab. 22). Na zakwalifikowanie wód tej zlewni do stanu słabego oraz do niezadowolającej klasy jakości wody zaważyły podwyższone zawartości azotu azotanowego. Klasy jakości wody w żadnej z pozostałych zlewni podziemnych nie były gorsze od klasy zadowolającej, 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) oraz w zlewni górskiej (Karkonosze). Należy zaznaczyć, że niski odczyn wód wynikał z czynników naturalnych i nie wpływał na obniżenie zarówno klasy jakości wody, jak i stanu chemicznego. Obniżony odczyn wody w Karkonoszach wynikał ze specyficznej budowy geologicznej, gdzie infiltrująca woda opadowa zwiększała zakwaszenie w kontakcie ze skałami kwaśnymi, np. granitami.

Zlewnie nizinne w większości posiadały zadowalającą klasę jakości wód podziemnych (Wolin, Puszcza Borecka, Wigry, Poznań-Morasko i Kampinos). Jedynie zlewnia Strugi Toruńskiej (Stacja Pojezierze Chełmińskie) miała dobrą klasę, a zlewnia górnej Parsęty klasę niezadowalającą. Na zadowalający stan większości zlewni w głównej mierze wpłynęły wyższe stężenia jonów wapnia i wodorowęglanowych. Z kolei na klasę jakości wód podziemnych w zlewniach wyżynnych oraz górskich w głównej mierze wpłynął odczyn. Do dobrej klasy zakwalifikowano tylko Beskid Niski, do zadowalającej pozostałe cztery zlewnie (Łysogóry, Roztocze, Pogórze Karpackie i Karkonosze), a do niezadowalającej zlewnię w Łysogórach. W porównaniu z poprzednim rokiem wody podziemne w monitorowanych zlewniach

poprawiły swoją jakość. Największa poprawa, z IV do I klasy wystąpiła w przypadku stężenia jonów amonowych w zlewniach Kanału Olszowieckiego i Wieńca, Lepszą jakość, w porównaniu z rokiem 2022, stwierdzono również w przypadku jonów sodu (Stacja Puszcza Borecka), jonów wodorowęglanowych (Stacje: Wolin, Pojezierze Chełmińskie i Pogórze Karpackie), jonów fosforanowych (Stacja Roztocze). Z kolei pogorszenie jakości zanotowano w Stacji Wolin (jony: sodu, chlorkowe i siarczanowe) oraz w Stacji Parsęta (jony azotanowe). W przypadku Parsęty poskutkowało to zakwalifikowaniem wód podziemnych niezadawalającej klasy jakości wody oraz określeniem stanu chemicznego jako słaby.

Tab. 22. Klasy jakości wody i stan chemiczny wód podziemnych w zlewniach ZMŚP w 2023 roku wg wybranych elementów fizykochemicznych

Stacja ZMŚP	Odczyn	PEW	Ca	Na	Mg	K	PO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	Klasa jakości wody	Stan chemiczny
	[-]	[mS·m <sup>-1</sup> ]	[mg·dm <sup>-3</sup> ]											
Wolin	I	I	II	II	I	I	I	I	III	II	I	I	zadawalająca	dobry
Parsęta	I	I	II	I	I	I	I	I	I	I	IV	I	niezadawalająca	słaby
Puszcza Borecka	I	II	III	I	I	I	I	III	I	I	I	I	zadawalająca	dobry
Wigry	I	II	III	I	I	I	I	II	I	I	II	I	zadawalająca	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	zadawalająca	dobry
Kampinos	I	II	III	I	I	I	I	III	I	II	I	I	zadawalająca	dobry
Łysogóry	IV	I	I	I	I	I	I	I	II	I	I	I	zadawalająca	dobry
Roztocze	IV	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	zadawalająca	dobry
Pogórze Karpackie	III	I	II	I	I	I	I	I	II	I	III	I	zadawalająca	dobry
Beskid Niski	I	I	II	I	I	I	I	II	I	I	II	I	dobra	dobry
Karkonosze	IV	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	zadawalająca	dobry

Klasy jakości: I bardzo dobra, II dobra, III zadawalająca, IV niezadawalająca, V zła

### 6.3. Wody powierzchniowe

#### *Stężenie substancji rozpuszczonych w wodach rzecznych i klasyfikacja elementów fizykochemicznych wód powierzchniowych*

W 2023 roku monitoring fluwialnego odpływu wody i substancji rozpuszczonych prowadzono w 11 ciekach wodnych. Jedynie dla odpływu z jeziora Łękuć (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 rzeczonym 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 2023 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-wodorowęglanowych (Parsęta);
- wapniowo-wodorowęglanowo-chlorkowych (Różany Strumień);
- wapniowo-wodorowęglanowo-siarczanowych (Struga Toruńska, Kanał Olszowiecki);
- siarczanowo-chlorkowo-wapniowo-magnezowy (Wieniec);
- wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowy (Czarna Hańcza, Stara Rzeka);
- 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 rozcieńczeniu w wyniku znacznej dostawy niskozmineralizowanego deszczu i śniegu. Przewodność elektrolityczna właściwa (SEC) w 2023 roku cechowała się dużym zróżnicowaniem przestrzennym (Tab. 23). Mineralizacja wody w 2023 roku była zbliżona z zawartością substancji rozpuszczonych w latach poprzednich (lat suchych i wilgotnych, z różnymi przepływami), co może świadczyć o ograniczonym wpływie warunków meteorologicznych na mineralizację wód rzecznych w badanych geosystemach. Najwyższa przewodność elektrolityczna właściwa, podobnie jak w latach poprzednich, występowała w Strudze Toruńskiej  $84,20 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$  i Różanym Strumieniu  $91,48 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ , 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). Z kolei najniższa wartość przewodności

elektrycznej występowała w górskim cieku – Wrzosówce w Karkonoszach  $2,24 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ . W strefie wyżynnej (średnia mineralizacja  $22,94 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) i górskiej (średnia mineralizacja  $24,03 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) odpływ wody ze zlewni jest szybszy i udział nisko zmineralizowanych wód opadowych w systemie rzeczonym jest największy. W pozostałych monitorowanych ciekach nizinnych (Lewińska Struga, Parsęta, Czarna Hańcza i Kanał Olszowiecki) wartość SEC wynosiła od  $36,45$  do  $60,37 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$  (Tab. 23). Zmienność przestrzenna wartości SEC w 2023 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 2023 roku

Stacja (zlewnia)	Strefa krajobrazowa	S-SO <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	Cl	Na	K	Mg	Ca	HCO <sub>3</sub>	SEC	pH
		[mg·dm <sup>-3</sup> ]										[mS·m <sup>-1</sup> ]
Wolin (Lewińska Struga)	nadmorska	9,13	0,31	0,10	20,51	13,27	2,87	6,27	48,90	151,29	36,45	7,44
Parsęta (Parsęta)	pojezierzy	12,99	1,17	0,20	7,29	6,60	2,02	6,18	81,71	227,80	43,20	8,00
Wigry (Czarna Hańcza)		9,43	2,10	0,10	31,91	23,11	7,66	14,10	76,53	293,21	60,37	8,31
Pojezierze Chełmińskie (Struga Toruńska)		47,40	1,20	0,19	74,00	24,80	10,96	21,92	136,00	297,00	84,20	8,10
Poznań-Morasko (Różany Strumień)		27,13	1,06	0,12	77,52	40,61	4,24	12,67	145,90	386,80	91,48	7,83
Kampinos (Kanał Olszowiecki)	nizin	42,5	1,89	0,08	21,85	10,7	1,18	12,04	112,98	183,77	54,05	7,5
Łysogóry (Wieniec)	wyżyn	20,19	0,93	0,25	14,49	8,89	0,81	6,21	20,29	8,60	21,53	4,95
Roztocze (Świerszcz)		5,05	0,23	0,05	2,70	1,99	0,92	1,43	46,47	134,10	24,35	7,59
Pogórze Karpackie (Stara Rzeka)	gór średnich	13,41	0,77	0,06	24,10	17,41	3,51	11,37	58,82	190,40	40,56	7,60
Beskid Niski (Bystrzanka)		7,13	0,94	0,06	5,25	11,00	4,72	6,09	45,70	147,50	29,30	7,29
Karkonosze (Wrzosówka)		1,93	0,19	0,05	0,99	1,46	0,33	0,40	1,65	2,33	2,24	5,67

Odczyn wód rzecznych w 2023 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 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. Lewińska Struga, 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 raportową dyrektywę wodną oraz dyrektywę ją zmieniającą. 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 Podgórznej 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 umożliwiają 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 2023 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. W 2023 roku w dwóch nizinnych ciekach – Lewińskiej Strudze i Parsęcie, w Świerszczu w strefie wyżynnej oraz we Wrzosówce w strefie gór średnich stan badanych elementów fizykochemicznych nie przekraczał norm stanu dobrego. Jednak w każdej z powyższych rzek pojedyncze wskaźniki fizykochemiczne zaklasyfikowano do II klasy. W przypadku Wolina było to BZT<sub>5</sub>, Parsęty – jony wapnia, Świerszcza – odczyn, a Wrzosówki – jony amonowe. Stan elementów fizykochemicznych w pozostałych siedmiu ciekach (Czarna Hańcza, Struga Toruńska, Różany Strumień, Kanał Olszowiecki, Wieniec, Stara Rzeka i Bystrzanka) przekraczał normy stanu dobrego (Tab. 24), z uwagi na podwyższone stężenia m.in. przewodności wody, stężenia chlorków, wapnia i magnezu. W przypadku niektórych cieków może wynikać to z poddawania zlewni i strefy przykorytowej względnie silnej antropopresji, związanej m.in. z urbanizacją (np. Różany Strumień) lub rolnictwem (np. Struga Toruńska). Przekroczenia norm stanu dobrego w przypadku wód Czarnej Hańczy potencjalnie mogą być spowodowane położeniem miasta Suwałki powyżej profilu pomiarowego w Sobolewie. Z kolei przyczyn przekroczeń norm stanu dobrego wód Kanału Olszowieckiego należy upatrywać w warunkach naturalnych panujących

w zlewni, a nie w zanieczyszczeniach antropogenicznych. Podwyższone stężenia jonów wapnia i magnezu mogą wynikać z dopływu wód ze skarpy Równiny Łowicko-Błońskiej, która zbudowana jest z ilów warwowych i pyłów o wysokiej zawartości wapnia, a wysokie stężenia siarczanów mogą być związane z rozkładem zmruszałej materii organicznej.

Tab. 24. Klasyfikacja wybranych elementów fizykochemicznych wód płynących w zlewniach ZMŚP w 2023 roku wg Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021

Stacja ZMŚP (zlewnia)	Temperatura	O <sub>2</sub>	BZT <sub>5</sub>	Odczyn	PEW	Ca	Mg	PO <sub>4</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	N=NO <sub>3</sub>	N=NH <sub>4</sub>	Klasyfikacja elementów fizykochemicznych
	[°C]	[mg·dm <sup>-3</sup> ]		[-]	[mS· m <sup>-1</sup> ]	[mg·dm <sup>-3</sup> ]							
Wolin (Lewińska Struga)	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2 dobra
Parsęta (Parsęta)	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2 dobra
Wigry (Czarna Hańcza)	1	1	1	<2	<2	2	<2	1	<2	1	2	1	<2 poniżej dobrego
Pojezierze Chełmińskie (Struga Toruńska)	1	1	2	1	1	<2	<2	1	<2	2	<2	1	<2 poniżej dobrego
Poznań-Morasko (Różany Strumień)	1	2	1	1	<2	<2	1	1	<2	1	1	1	<2 poniżej dobrego
Kampinos (Kanał Olszowiecki)	1	<2	1	1	2	<2	<2	1	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	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	<2 poniżej dobrego
Beskid Niski (Bystrzanka)	1	1	1	1	2	1	2	<2	2	2	1	1	<2 poniżej dobrego
Karkonosze (Wrzosówka)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2 dobra

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 2023 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 2023 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 <sub>2</sub> /l]	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra
Przewodność [mS·cm <sup>-1</sup> ]	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra
Fosfor ogólny [mg·dm <sup>-3</sup> ]	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 geosystemach 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 charakteryzujących 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 2023 roku, z pewnym prawdopodobieństwem z uwagi na ograniczony zakres badań, zagrożenie eutrofizacją można stwierdzić w trzech ciekach, przy czym wpływ na to miały różne elementy fizykochemiczne: w Strudze Toruńskiej były to przekroczone normy stanu dobrego dla azotu azotanowego ( $1,20 \text{ mg N-NO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ ), w Kanale Olszowieckim – dla tlenu rozpuszczonego ( $6,90 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ ) oraz w Bystrzance – fosforu ogólnego ( $0,11 \text{ mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) (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 ośmiu 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, jedyne go elementu fizykochemicznego badanego w ramach programu H2, który można wykorzystać do oceny zagrożenia wód eutrofizacją, w 2023 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 2023 roku

Stacja – ciek	P <sub>og.</sub> [mg·dm <sup>-3</sup> ]	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg·dm <sup>-3</sup> ]	O <sub>2</sub> [mg·dm <sup>-3</sup> ]	BZT5 [mg·dm <sup>-3</sup> ]
Wolin – Lewińska Struga	1	1	1	2
Parsęta – Parsęta	1	1	1	1
Wigry – Czarna Hańcza Ujście	1	2	1	1
Poj. Chełmińskie – Struga Toruńska	1	<2	1	2
Poznań-Morasko – Różany Strumień	1	1	2	1
Kampinos – Kanał Olszowiecki	1	2	<2	1
Łysogóry – Wieniec	1	1	1	1
Roztocze – Świerszcz Malowany Most	1	1	1	1
Pogórze Karpackie – Stara Rzeka	2	1	1	1
Beskid Niski – Bystrzanka	<2	1	1	1
Karkonosze – Wrzosówka	1	1	1	1

Tab. 27. Wskaźniki eutrofizacji jezior w Stacjach ZMŚP w 2023 roku

Stacja – jezioro	P <sub>og.</sub> [mg·dm <sup>-3</sup> ]
Wolin – Jezioro Gardno	0,007
Parsęta – Jezioro Czarne	0,024
Puszcza Borecka – Jezioro Łękuk	0,055
Pojezierze Chełmińskie – Jezioro Kamionkowskie	0,030

#### 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, sól, 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 rzeczonym 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 uwzględniający 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 2023 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 ( $\text{SO}_4$ , Cl, Na, Mg, Ca) oraz dostawa biogeniczna ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$ , 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 (Stacja Wigry) i Strugi Toruńskiej (Stacja 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) –  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$  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 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 nutrieny wykorzystywane były w procesach związanych z rozwojem roślin i w niewielkim stopniu dostarczane były do wód gruntowych i dalej do cieków wodnych.

W 2023 roku sytuacja hydrometeorologiczna kształtująca bilans wodny i warunki obiegu wody, a także krążenia materii rozpuszczonej w zlewniach ZMŚP nawiązywała do prawidłowości wieloletniej. Dodatni bilans jonów denudacyjnych wystąpił tylko w zlewni Wieńca w Górach Świętokrzyskich ( $29,1 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). W pozostałych zlewniach stwierdzono ujemny bilans jonów denudacyjnych. Dodatni bilans jonów biogennych wystąpił w większości zlewni (np. Różany Strumień  $16,1 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , Świerszcz  $6,9 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , Wrzosówka  $7,9 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), poza zlewnią Bystrzanki w Beskidzie Niskim, w której dostawa biogenów z opadami atmosferycznymi była niższa niż ich odpływ systemem rzeczny (bilans  $-6,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). Wysoki dodatni bilans jonów biogennych występował w zlewniach najbardziej zalesionych, natomiast ujemny, bądź niski dodatni bilans nutrienów związany był z wprowadzaniem nutrienów w związku z nawożeniem gruntów ornych.

Najniższe wartości całkowitego bilansu materii rozpuszczonej w 2023 r. (Tab. 28) stwierdzono w zlewniach podlegających największej dynamice energii (woda) i materii (substancje rozpuszczone): Parsęta  $-169,7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , Pogórze Karpackie  $-270,5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  i Beskid Niski  $-266,4 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . W tych zlewniach obieg energii (wody) i materii (substancji rozpuszczonych) w 2023 roku był najmniej zaburzony w odniesieniu do prawidłowości wieloletniej. Odmienna, anormalna sytuacja wystąpiła w Łysogórach ( $30,7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), gdzie całkowity bilans obiegu materii był dodatni. Dodatni bilans materii rozpuszczonej w tej zlewni był skutkiem niskiego odpływu rzeczny, gdzie większość wody opadowej nie uczestniczyła w odpływie rzeczny. Infiltrująca woda do wód podziemnych nie była później drenowana przez system korytowy, gdyż uzupełniała zasoby wód podziemnych. Znaczna ilość wody została wykorzystana do celów gospodarczych, co skutkowało brakiem odpływu rzeczny w okresie letnim. Warto podkreślić, że korzystne warunki hydrometeorologiczne utrzymały

w zlewni Świerszcza ujemny bilans materii rozpuszczonej (drugi rok z rzędu). Niektóre zlewnie (np. Lewińska Struga, Różany Strumień), pomimo okresowego braku odpływu fluwialnego w półroczu letnim, posiadały ujemny bilans denudacyjny.

Analiza deficytu odpływu i dodatnia lub ujemna wartość bilansu denudacyjnego z lat 2015-2023 ukazuje geosystemy „stabilne” i „niestabilne” w zakresie obiegu energii (woda) i materii (substancje rozpuszczone) (Ryc. 21).

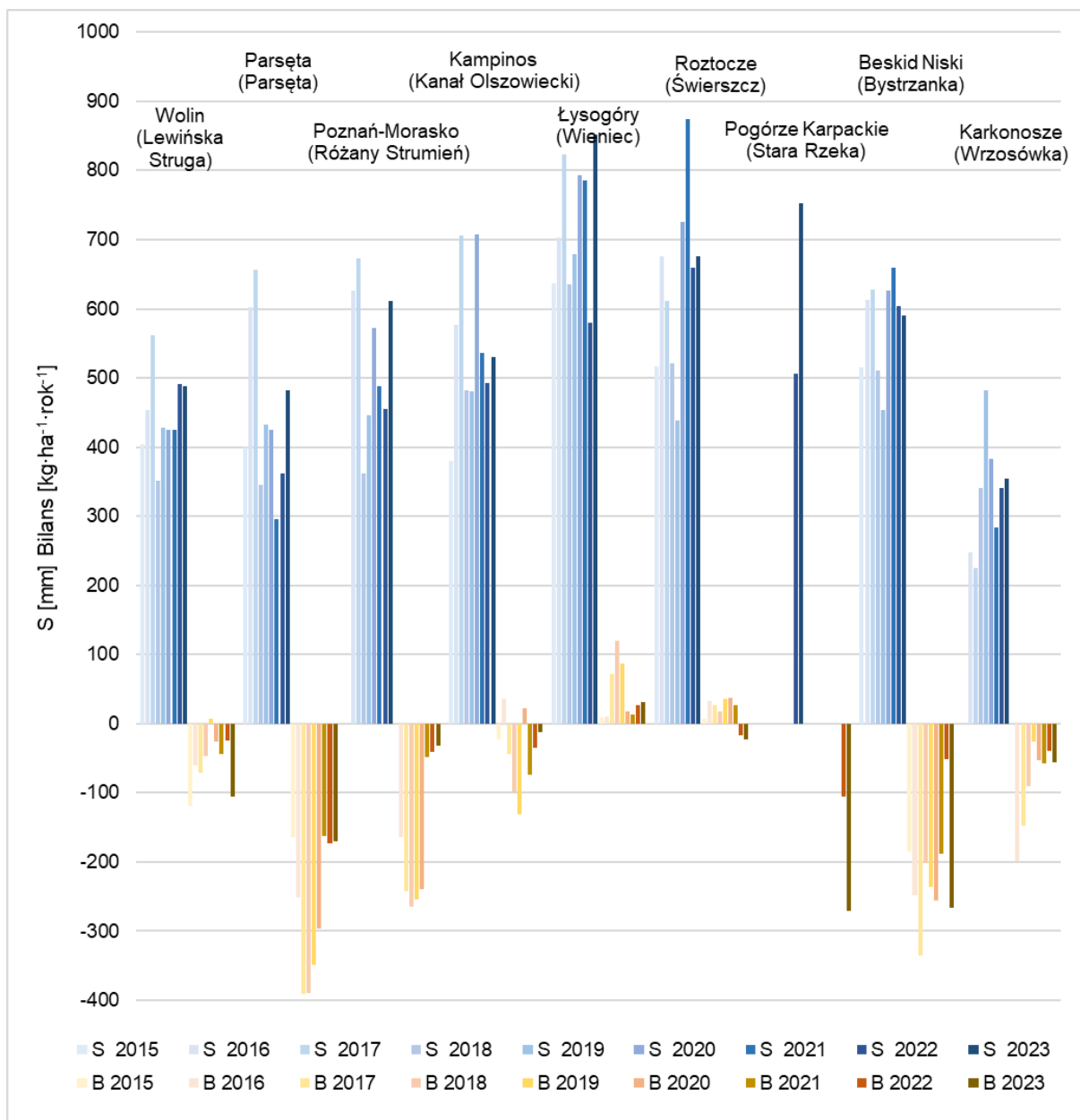
Za stabilne geosystemy uznano zlewnie o ujemnym kierunku bilansu denudacyjnego: Parsęta, Różany Strumień, Bystrzanka i Wrzosówka. W tych geosystemach pomimo różnych uwarunkowań meteorologicznych (lata 2015, 2018, 2019, 2022 suche, rok 2016 normalny lub wilgotny, rok 2017 wilgotny, lata 2020-2021 ponownie normalne lub wilgotne oraz rok 2023 normalny lub wilgotny) ujemny kierunek bilansu denudacyjnego był zachowany. Z kolei za niestabilne uznano zlewnie o dodatnim bądź zmiennym kierunku bilansu denudacyjnego: Lewińska Struga, Kanał Olszowiecki, Wieniec i Świerszcz. W związku z drugim rokiem pomiarowym w Stacji Pogórze Karpackie, dla zlewni Starej Rzeki nie określono jej „stabilności”. W geosystemie Wieńca o niestabilności świadczy utrzymujący 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 cieków. W pozostałych geosystemach uznanych za niestabilne kierunek bilansu denudacyjnego w latach 2015-2023 był zmienny (dodatni lub ujemny). W przypadku Lewińskiej Strugi dodatni bilans denudacyjny wystąpił tylko w 2019 roku. Jeśli w kolejnym, 2024 roku utrzyma się ujemny bilans denudacyjny, zlewnię Lewińskiej Strugi będzie można zakwalifikować jako stabilną. 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 i 2023.

Wśród badanych geosystemów można dokonać pewnej waloryzacji względnej, gdzie za wysokoenergetyczne można uznać zlewnie o średnim wieloletnim bilansie denudacyjnym  $\geq \pm 100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Do tych geosystemów można zakwalifikować zlewnie: Parsęty, Bystrzanki i Różanego Strumienia. Zlewnię Wrzosówki można zaliczyć do typu umiarkowanego  $\geq \pm 50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ , a zlewnie Świerszcza i Wieńca można zaliczyć do geosystemów niskoenergetycznych  $\leq \pm 50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Z kolei zlewnie Lewińskiej Strugi i Kanału Olszowieckiego, ze względu na znaczną dynamikę rocznego bilansu materii rozpuszczonej, balansują na granicy geosystemu umiarkowanego ( $\pm 50\text{-}100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ ) i niskoenergetycznego (Ryc. 21).

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

Tab. 28. Bilans jonów denudacyjnych i biogenicznych w zlewniach badawczych ZMSP w 2023 roku

Stacja (zlewnia)	Wolin (Lewińska Struga)	Parsęta (Parsęta)	Poznań-Morasko (Różany Strumień)	Kampinos (Kanał Olszowiecki)	Łysogóry (Wieniec)	Roztocze (Świerzcz)	Pogórze Karpackie (Stara Rzeką)	Beskid Niski (Bystrzanka)	Karkonosze (Wrzosówka)
<b>Składowe obieg wody [mm]</b>									
P – Opad atmosferyczny	575,3	665,2	628,4	546,5	878,8	750,7	934,4	926,1	1108,0
H <sub>pow</sub> – Odpływ powierzchniowy	86,7	182,6	17,6	15,6	27,6	74,9	181,8	335,5	753,7
<b>S – Deficyt odpływu</b>	<b>488,6</b>	<b>482,6</b>	<b>610,8</b>	<b>530,9</b>	<b>851,2</b>	<b>675,8</b>	<b>752,6</b>	<b>590,6</b>	<b>354,3</b>
<b>Bilans jonów denudacyjnych [kg·ha<sup>-1</sup>]</b>									
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-31,9	-19,1	-6,8	-11,2	15,3	11,3	-67,5	-60,4	-36,2
Cl <sup>-</sup>	-12,5	-9,3	-9,3	0,0	3,7	2,0	-45,4	-14,5	-3,6
Ca <sup>2+</sup>	-47,6	-129,5	-26,4	-12,2	5,9	-34,8	-108,2	-129,9	-10,9
Mg <sup>2+</sup>	-5,6	-10,2	-2,0	-0,9	1,7	-1,1	-22,2	-17,7	-2,7
Na <sup>+</sup>	-7,7	-9,3	-4,1	-0,4	2,5	-1,5	-34,0	-37,9	-9,8
<b>Bilans JD</b>	<b>-105,3</b>	<b>-177,4</b>	<b>-48,6</b>	<b>-24,6</b>	<b>29,1</b>	<b>-24,0</b>	<b>-277,4</b>	<b>-260,4</b>	<b>-63,3</b>
<b>Bilans jonów biogenicznych [kg·ha<sup>-1</sup>]</b>									
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-1,4	6,2	10,3	6,9	1,2	0,8	6,8	2,5	5,0
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	3,2	4,3	4,6	4,7	0,1	0,1	5,5	2,8	5,0
K <sup>+</sup>	-1,6	-2,7	1,2	0,9	0,2	0,7	-5,4	-11,3	-2,2
<b>Bilans JB</b>	<b>0,3</b>	<b>7,7</b>	<b>16,1</b>	<b>12,5</b>	<b>1,6</b>	<b>1,5</b>	<b>6,9</b>	<b>-6,0</b>	<b>7,9</b>
<b>Bilans materii rozpuszczonej [kg·ha<sup>-1</sup>]</b>									
<b>Bilans JD+JB</b>	<b>-105,0</b>	<b>-169,7</b>	<b>-32,5</b>	<b>-12,1</b>	<b>30,7</b>	<b>-22,5</b>	<b>-270,5</b>	<b>-266,4</b>	<b>-55,4</b>



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

## **7. WPLYW UWARUNKOWAŃ ABIOTYCZNYCH NA PRZYRODĘ OŻYWIONĄ W EKSPERYMENTALNYCH GEOEKOSYSTEMACH ZLEWNI RZECZNYCH I JEZIORNICH ZMŚP**

Wpływ uwarunkowań abiotycznych (związanych ze zmiennością warunków pogodowych oraz właściwościami fizycznogeograficznymi badanych geosystemów) na potencjalny stan przyrody ożywionej obejmuje charakterystykę m.in. występowania w 2023 roku termicznych pór roku i sezonu wegetacyjnego. Przedstawiono także syntetyczne wyniki realizacji programów ZMŚP w 2023 roku dotyczące:

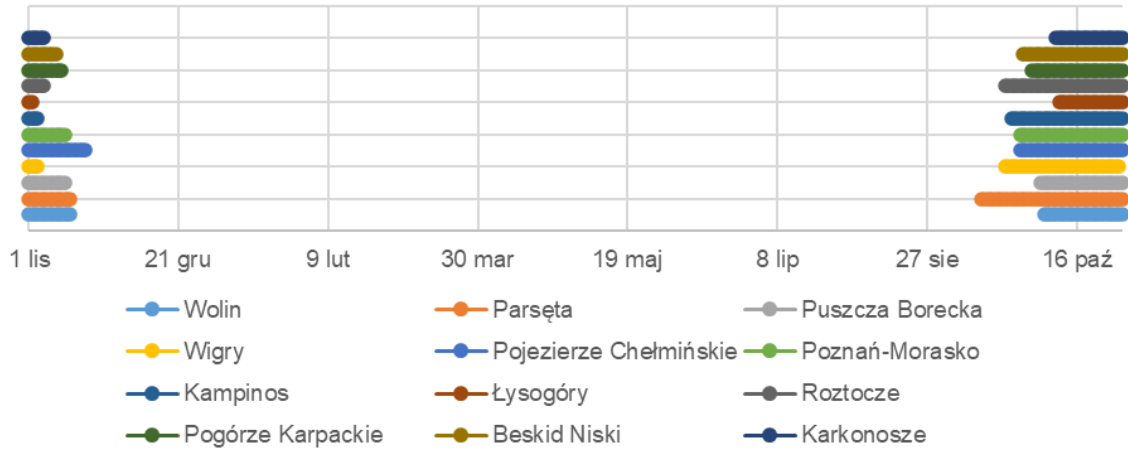
- zanieczyszczenia powietrza,
- uszkodzeń drzew i drzewostanów,
- roślinnych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia,
- hydrobiologii rzek – makrofity i hydromorfologiczna ocena koryt rzecznych,
- struktury i dynamiki szaty roślinnej.

### **7.1. Termiczne pory roku**

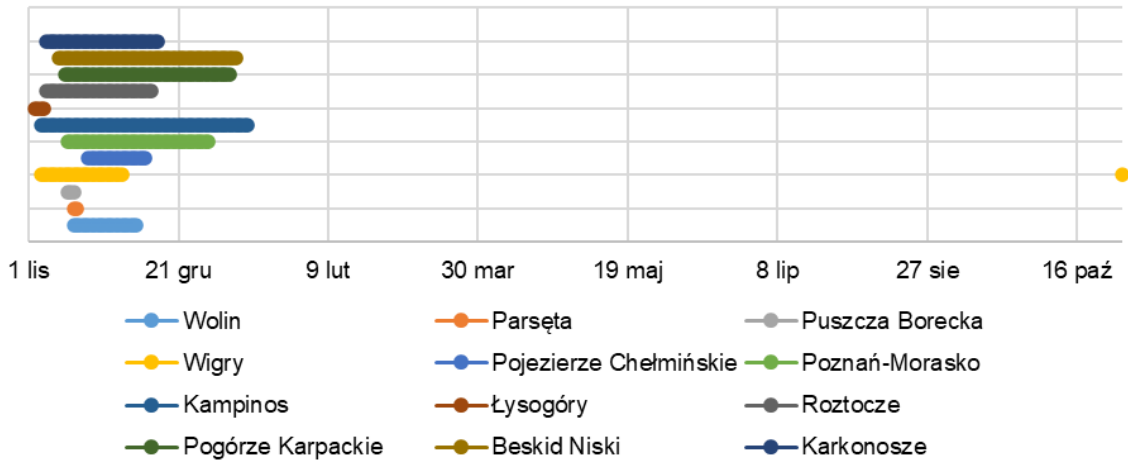
Warunki cieplne w 2023 roku znalazły odzwierciedlenie w długości trwania poszczególnych termicznych pór roku. Po raz pierwszy w aż 4 Stacjach (Poznań-Morasko, Kampinos, Pogórze Karpackie i Beskid Niski) nie wystąpiła termiczna zima. We wszystkich pozostałych monitorowanych geosystemach stwierdzono występowanie wszystkich sześciu termicznych pór roku (Ryc. 22). Najdłużej trwającą porą roku było lato (120 dni) i było krótsze tylko niż w 2018 roku (135 dni). Było zdecydowanie dłuższe niż w dwóch latach poprzednich (2021 – 93 dni, 2022 – 96 dni). Zdecydowanie krócej od lata trwały przedwiośnie (66 dni) i wiosna (65 dni). Najkrócej trwającymi termicznymi porami roku były przedzimie (32 dni) i zima (37 dni).

W 2023 roku nie występowała wyraźna zmienność regionalna występowania termicznych pór roku (np. brak zimy zarówno w Stacjach przy dużych aglomeracjach miejskich, jak i w Beskidach). Taka sytuacja świadczy o ponadregionalnych czynnikach meteorologicznych warunkujących występowanie termicznych pór roku. Pewne oddziaływanie czynników lokalnych można zauważyć w zlewniach położonej w Polsce północno-wschodniej Stacji w Puszczy Boreckiej oraz w zlewniach położonych wysoko nad poziomem morza – w Górach Świętokrzyskich i w Karkonoszach. Czynniki lokalne związane z wyniesieniem nad poziom morza decydowały o specyfice długości termicznych pór roku i terminach ich występowania. W tych Stacjach zdecydowanie najdłużej trwała zima: Łysogóry (125 dni), Puszcza Borecka (123 dni), Karkonosze (91 dni) (Ryc. 23).

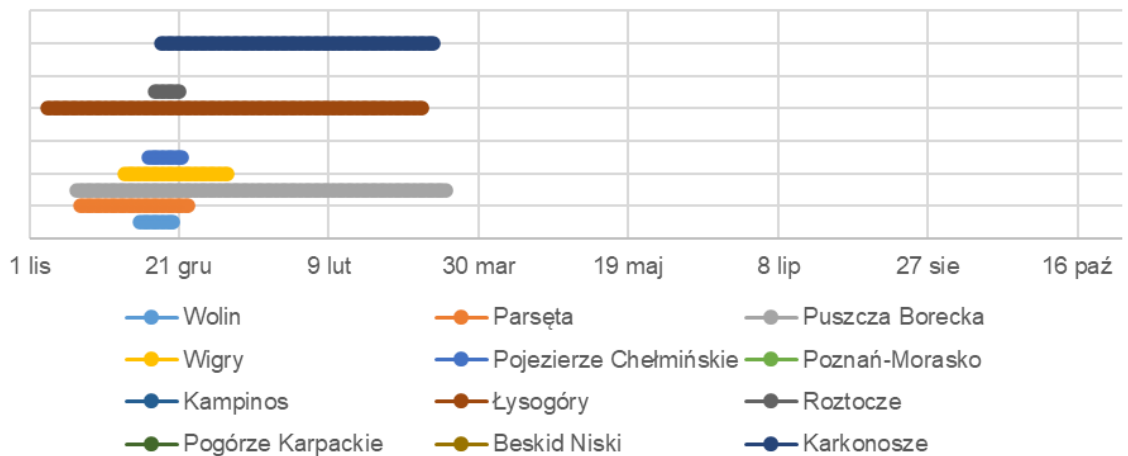
## Jesień



## Przedzime



## Zima



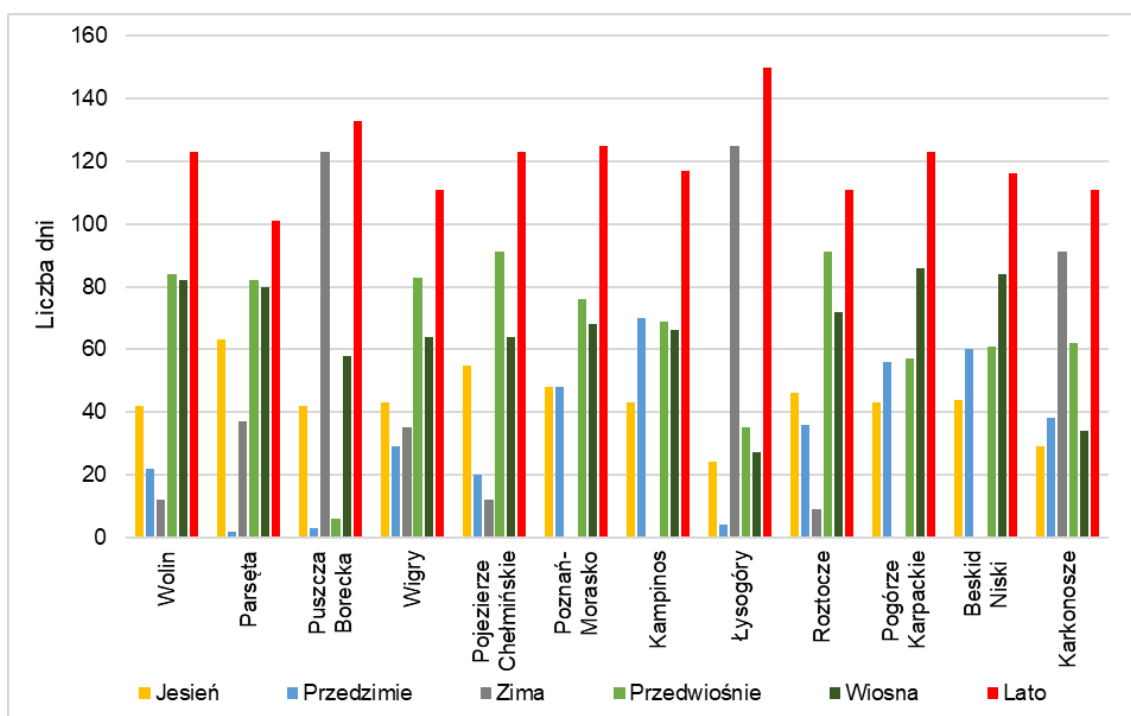


Ryc. 22. Przebieg termicznych pór roku w zlewniach badawczych ZMŚP w 2023 roku



Czas trwania termicznych pór roku generalnie nawiązywał do prawidłowości wieloletniej. Korzystne warunki termiczne dla rozwoju roślinności występowały od początku termicznej wiosny do końca termicznej jesieni. W dziesięciu zlewniach (Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie, Poznań-Morasko, Kampinos, Roztocze, Pogórze Karpackie i Beskid Niski) termiczna wiosna rozpoczęła się w marcu, z czego najwcześniej w zlewni Starej Rzeki – już 6 marca. W pozostałych dwóch zlewniach termiczna wiosna rozpoczęła się w kwietniu: 16 kwietnia w Łysogórach, a nawet w maju: 17 maja w Karkonoszach. We wszystkich badanych geosystemach (poza Wigrami) termiczna jesień trwała do końca roku hydrologicznego. W Wigrach jesień zakończyła się 30 października. W rozkładzie czasowym termicznych pór roku utrzymał się stosunek czasu trwania skrajnych termicznych pór roku z niewielką zmianą na korzyść długości trwania lata. W poprzednich latach (poza latami 2021 i 2022) stwierdzono ponad dwukrotnie dłuższy średni czas trwania termicznego lata niż średni czas trwania zimy, a w roku 2023 lato (średnio 120 dni) trwało ponad trzykrotnie dłużej niż zima (37 dni).

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



Ryc. 23. Czas trwania termicznych pór roku w zlewniach badawczych ZMŚP w 2023 roku

## 7.2. Sezon wegetacyjny

Rok 2023 był cieplejszy niż lata 2021-2022 i porównywalny pod względem temperatury z wcześniejszymi latami 2018-2020. Skutkowało to dłuższym czasem trwania sezonu wegetacyjnego niż w roku ubiegłym (średnio dla wszystkich stacji o 10 dni) (Tab. 29). Okres wegetacyjny trwał średnio 231 dni, od 177 dni w Karkonoszach do 257 dni na Pogórzu Karpackim. W porównaniu z rokiem 2022, krótszy okres wegetacyjny wystąpił tylko w strefie nadmorskiej (Wolin) oraz w górach średnich (Karkonosze). W pozostałych dziesięciu stacjach, sezon wegetacyjny był dłuższy (od 7 dni na Wigrach do 35 dni w Łysogórach). Czas trwania sezonu intensywnej wegetacji o średniej dobowej temperaturze powietrza  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  był również najkrótszy w Karkonoszach (147 dni), a najdłuższy w Poznaniu (178 dni).

Tab. 29. Sezon wegetacyjny w zlewniach badawczych ZMŚP w 2023 roku

Stacja	Strefa krajobrazowa	Okres wegetacyjny	Okres intensywnej wegetacji
Wolin	nadmorska	247	161
Parsęta	pojezierzy	241	159
Puszcza Borecka		232	172
Wigry		214	160
Pojezierze Chełmińskie		228	158
Poznań-Morasko		244	178
Kampinos		nizin	228
Łysogóry	wyżyn	235	174
Roztocze		230	170
Pogórze Karpackie	gór średnich	257	172
Beskid Niski		246	175
Karkonosze		171	147

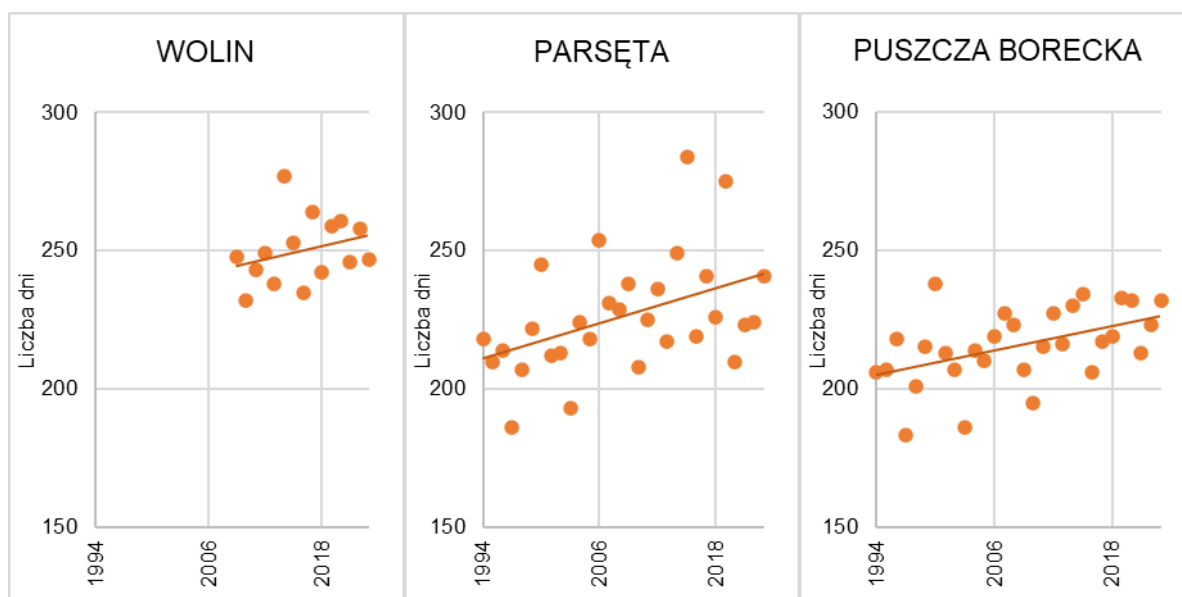
W 2023 roku czas trwania sezonu wegetacyjnego malał wraz z oddalaniem się od Morza Bałtyckiego, jednak różnice między strefami były mniej wyraźne niż w latach wcześniejszych. Najdłużej trwał w strefie nadmorskiej (Wolin) – 247 dni, następnie w strefie nizin – 232 dni, w strefie wyżyn – 233 dni i w górach – 225 dni.

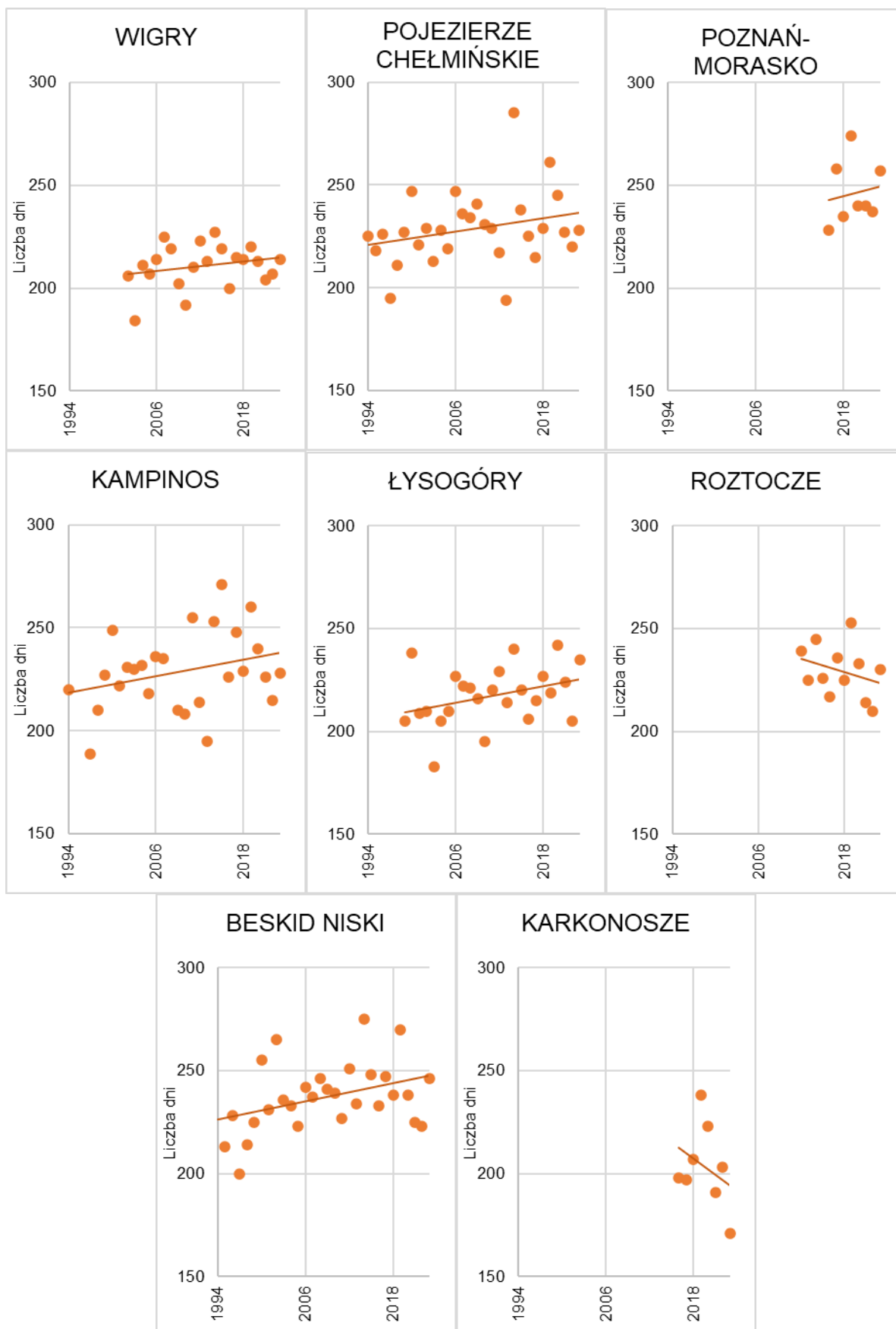
W Stacjach Bazowych ZMŚP rok 2023 był lekko ciepły, ciepły, bardzo ciepły, a nawet ekstremalnie ciepłym pod względem termicznym, co przy porównaniu z normalnymi i lekko ciepłymi latami 2021-2022 bardzo ciepłymi, wskazuje na wydłużenie okresu wegetacyjnego, co miało swoje odzwierciedlenie w długości trwania okresu wegetacyjnego. W większości monitorowanych zlewni (Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Poznań-Morasko, Łysogóry,

Roztocze, Pogórze Karpackie i Beskid Niski) czas trwania okresu wegetacyjnego w 2023 roku był dłuższy od średniej z wielolecia średnio o 10 dni. Krótszy okres wegetacyjny niż w wieloleciu stwierdzono jedynie na Wolinie (o 3 dni), na Pojezierzu Chełmińskim (o 1 dzień), w Kampinosie (o 1 dzień) i w Karkonoszach (o 33 dni).

Wieloletnie obserwacje sezonu wegetacyjnego w Stacjach Bazowych ZMŚP wskazują na wyraźne wydłużanie się czasu jego trwania. Jednak istotny statystycznie trend wydłużania się okresu wegetacyjnego ( $p < 0,05$ ) stwierdzono tylko dla 3 Stacji: Parsęty, Puszczy Boreckiej i Beskidy Niskiego. Średni trend 20-letni wydłużenia trwania okresu wegetacyjnego w wymienionych zlewniach wynosi 23 dni w zlewni górnej Parsęty, 18 w Puszczy Boreckiej i 9 dni w zlewni Bystrzanki (Ryc. 24). Wydłużający się okres wegetacji 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 2023 roku (w przeciwieństwie do sum rocznych opadów atmosferycznych) w Stacjach Bazowych ZMŚP były umiarkowanie 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

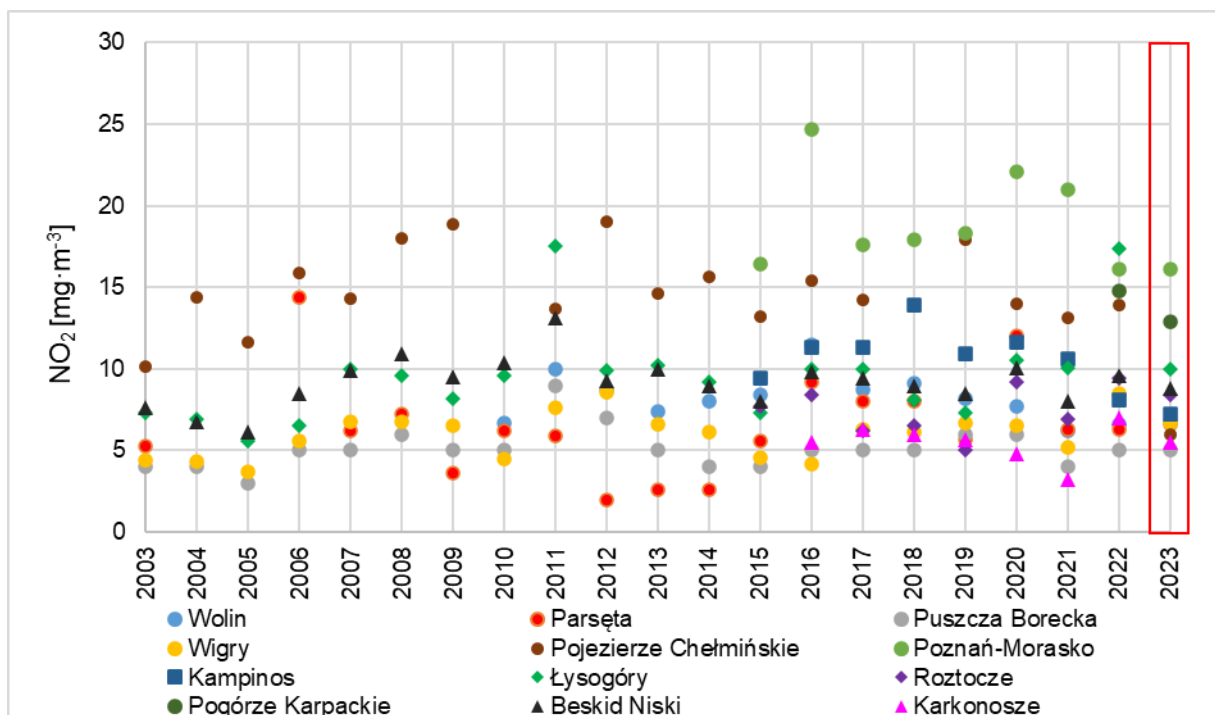
W 2023 roku badania zanieczyszczenia powietrza, obejmujące pomiary stężenia dwutlenku siarki (SO<sub>2</sub>) i dwutlenku azotu (NO<sub>2</sub>), we wszystkich Stacjach Bazowych prowadzono metodą pasywną. We wszystkich zlewniach średnie roczne stężenia dwutlenku azotu i dwutlenku siarki w powietrzu atmosferycznym w 2023 roku hydrologicznym były zbliżone do wartości z wielolecia 2003-2022, a dopuszczalne stężenia nie zostały przekroczone w żadnej Stacji Bazowej (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 2023, podobnie jak z roku 2022 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<sub>2</sub> i NO<sub>2</sub> [μg·m<sup>-3</sup>] w zlewniach badawczych ZMŚP w 2023 roku

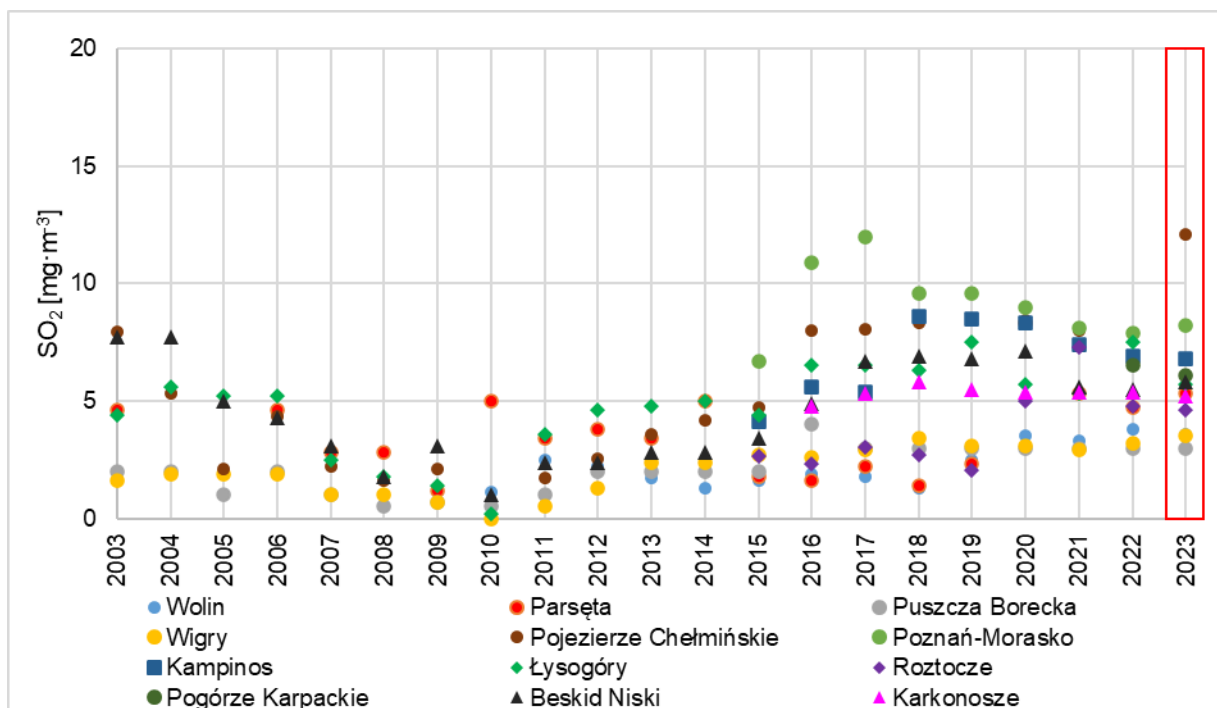
Stacja	Strefa krajobrazowa	NO <sub>2</sub> [μg·m <sup>-3</sup> ]	SO <sub>2</sub> [μg·m <sup>-3</sup> ]
Wolin	nadmorska	6,8	3,6
Parsęta	pojezierzy	5,3	6,6
Puszcza Borecka		5,0	3,0
Wigry		6,7	3,5
Pojezierze Chełmińskie		6,0	12,1
Poznań-Morasko		16,1	8,2
Kampinos	nizin	7,2	6,8
Łysogóry	wyżyn	10,0	5,7
Roztocze		8,4	4,6
Pogórze Karpackie	gór średnich	12,9	6,1
Beskid Niski		8,8	5,8
Karkonosze		5,5	5,2

Generalnie najwyższe poziomy zanieczyszczeń powietrza notowano w zlewniach znajdujących się w pobliżu dużych aglomeracji miejskich (Pojezierze Chełmińskie, Poznań-Morasko, Kampinos, 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,

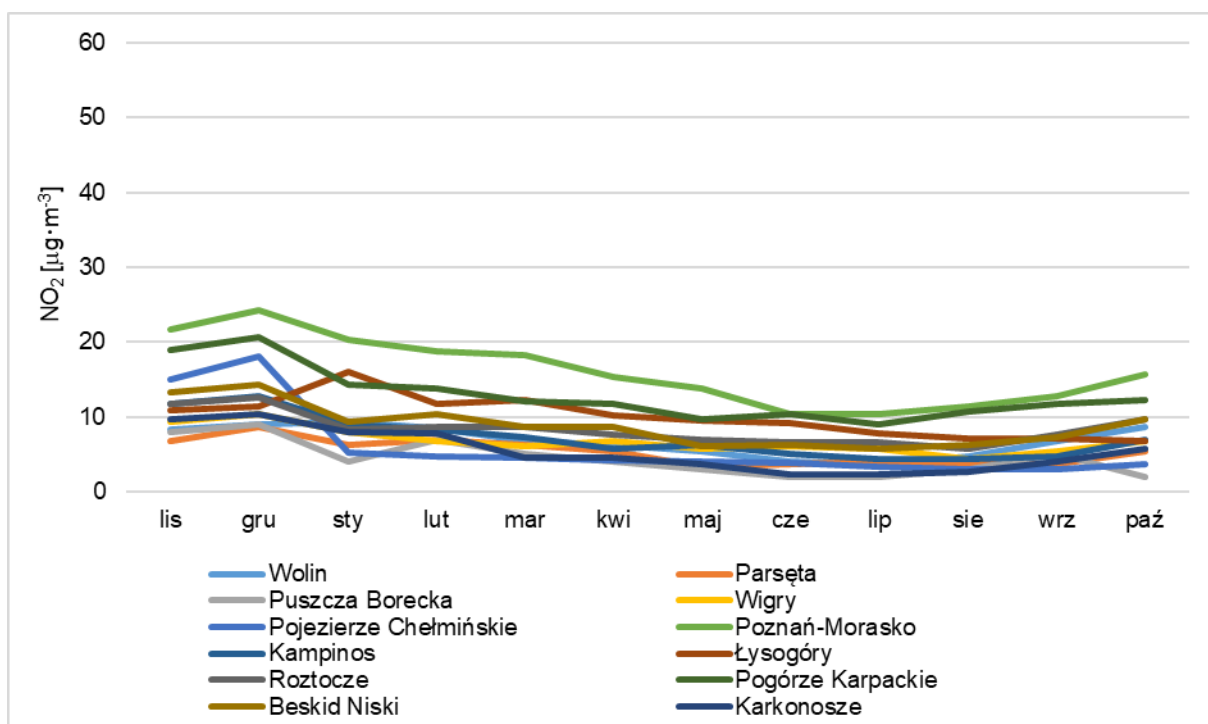
istotny wpływ na stan kontaminacji powietrza atmosferycznego w całym regionie świętokrzyskim mają odległe ośrodki miejsko-przemysłowe. Do nich należą przede wszystkim Górnośląski Okręg Przemysłowy i dalekosiężna silna migracja zanieczyszczeń z Ostrawsko-Karwińskiego Okręgu Przemysłowego w Czechach (Kozłowski i in. 2024). 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 Kampinos (Ryc. 27, Ryc. 28).



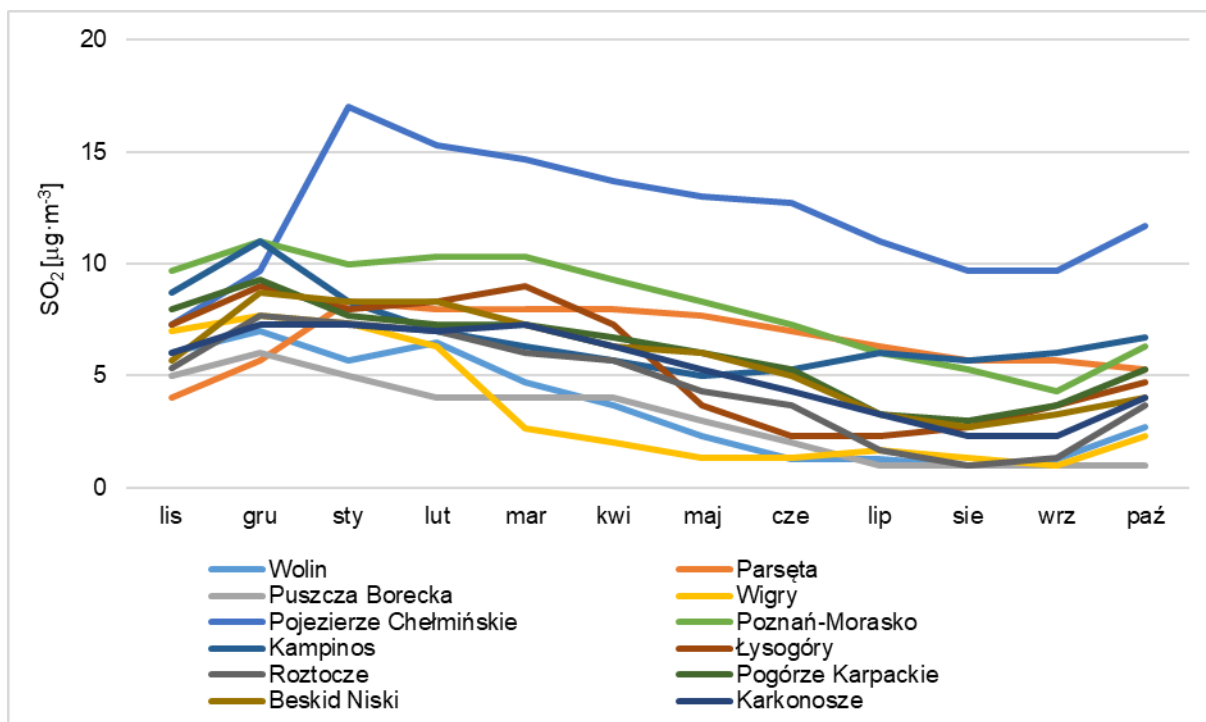
Ryc. 25. Średnie roczne stężenia  $NO_2$  w zlewniach badawczych ZMŚP w latach 2003-2023 (metoda pasywna)



Ryc. 26. Średnie roczne stężenia  $SO_2$  w zlewniach badawczych ZMŚP w latach 2003-2023 (metoda pasywna)



Ryc. 27. Średnie miesięczne stężenia  $NO_2$  w 2023 roku w zlewniach badawczych ZMŚP (metoda pasywna)



Ryc. 28. Średnie miesięczne stężenia SO<sub>2</sub> w 2023 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 lasów 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 2023 roku po raz pierwszy we wszystkich zlewniach pomiary uszkodzeń drzew i drzewostanów przeprowadzono według nowej metodyki – w oparciu o 25 stanowisk rozlokowanych na terenie całej zlewni, przez co nie można odnieść tych wyników do lat wcześniejszych (jedynie w Stacjach Wolin oraz Wigry pomiary tą metodyką przeprowadzono po raz drugi). Zgodnie z nową metodyką (Zajączkowski 2021), w poszczególnych zlewniach monitorowane są gatunki drzew z dominujących zbiorowisk leśnych. W 2023 roku monitorowano następujące gatunki drzew:

- Buk zwyczajny (*Fagus sylvatica*); Stacje: Wolin, Pogórze Karpackie, Beskid Niski;
- 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 2023 roku zarejestrowano lekką defoliację (11-25%, poziom ostrzegawczy). Wyjątkiem jest zlewnia Lewińskiej Strugi na Wolinie, gdzie średnia defoliacja buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica*) wyniosła zaledwie 5,2% i zaklasyfikowano ją do zerowej klasy (0-10%, drzewostany zdrowe). Z kolei w Puszczy Boreckiej (dąb szypułkowy *Quercus robur*) oraz w Kampinosie (sosna zwyczajna *Pinus sylvestris*) 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).

Tab. 31. Średnia defoliacja w zlewniach ZMŚP w 2023 roku hydrologicznym

Stacja	Buk zwyczajny	Dąb szypułkowy	Jodła pospolita	Olsza czarna	Sosna zwyczajna	Świerk pospolity
	<i>Fagus sylvatica</i>	<i>Quercus robur</i>	<i>Abies alba</i>	<i>Alnus glutinosa</i>	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Picea abies</i>
Defoliacja [%]						
Wolin	5,2	-	-	-	-	-
Parsęta	-	-	-	-	12,1	-
Puszcza Borecka	-	32,8	-	-	-	24,4
Wigry	-	-	-	-	21,2	-
Poznań-Morasko	-	-	-	-	16,1	-
Kampinos	-	-	-	16,6	34,8	-
Łysogóry	-	-	15,8	-	-	-
Roztocze	-	-	24,6	-	-	-
Pogórze Karpackie	10,9	-	15,6	-	-	-
Beskid Niski	12,4	-	19,6	-	-	-
Karkonosze	-	-	-	-	-	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 rzecznyymi i szlakami komunikacyjnymi (Czyryca 2017).

W 2023 roku zrealizowano badania patrolowe (obserwacje sprawdzające) występowania roślinnych gatunków inwazyjnych na obszarze całych zlewni badawczych w ramach monitoringu ogólnego. 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 2016-2023*

Stacja Bazowa	Liczba gatunków obcego pochodzenia w ramach monitoringu ogólnego									Zagrożenie
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	średnio	
Wolin	5	7	7	7	5	5	5	5	6	małe
Parsęta	18	18	19	43	18	16	15	18	21	duże
Puszcza Borecka	3	5	6	6	6	6	5	6	5	małe
Wigry	23	3	14	14	14	14	14	7	13	duże
Pojezierze Chełmińskie	68	68	8	8	7	7	7	7	23	duże
Poznań-Morasko	23	17	13	5	7	5	3	5	10	duże
Kampinos	-	20	20	16	19	11	20	20	18	duże
Łysogóry	8	8	7	7	6	6	1	10	7	małe
Roztocze	38	38	38	38	28	31	38	20	34	duże
Pogórze Karpackie	-	-	-	-	-	-	15	9	9	małe
Beskid Niski	-	2	2	6	10	10	10	6	7	małe
Karkonosze	5	7	7	5	18	1	18	0	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 zwartej, 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 nawłóć kanadyjska (*Solidago canadensis*)

#### **7.6. Hydrobiologia rzek – makrofity i hydromorfologiczna ocena koryt rzecznych**

Warunki hydrometeorologiczne w 2023 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 2023 roku przeprowadzono w czterech Stacjach Bazowych (w każdej zlewni na 3 stanowiskach): Pogórze Karpackie (Stara Rzeka), Łysogóry (Czarna Woda i Pokrzywianka), Wigry (Czarna Hańcza) i Puszcza Borecka (dopływ z Jeziora Łękek). W ocenie hydrobiologii rzek wykorzystano opracowanie Jusika i in. (2023).

Na podstawie wyników badań terenowych, które dostarczyły informacji o składzie gatunkowym makrofitów oraz ich pokryciu na stanowiskach, obliczono Makrofitowy Indeks Rzeczny (MIR) (Szozkiewicz 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 32,7 w Dopływie z Jeziora Łękek, na stanowisku poniżej jeziora 1 do 52,5 w Starej Rzece na odcinku środkowym. Trzy stanowiska zaklasyfikowano do bardzo dobrego stanu ekologicznego, cztery do dobrego, cztery do umiarkowanego i jedno do słabego stanu ekologicznego, uzyskane oceny były więc bardzo

zróznicowane. W obrębie wszystkich stacji bazowym Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego, badanych w 2023 roku, występuje zróznicowanie klas stanu ekologicznego, związane ze stosunkowo dużą zmiennością wartości wskaźnika MIR w danej JCWP. Odchylenie standardowe indeksu MIR dla badanych zlewni wynosiło odpowiednio: Stara Rzeka (Gróbka, Grabka) – 5,80, Pokrzywianka i Czarna Woda – 2,16, Czarna Hańcza – 2,52 oraz dopływ z jeziora Łękuk – 7,80. Zróznicowanie to w 2023 roku było większe niż w poprzednich cyklach badawczych (2016, 2019). W dopływie z jeziora Łękuk każde z trzech stanowisk reprezentowało inną klasę stanu ekologicznego – od bardzo dobrej do umiarkowanej. Wyraźne i jednoznaczne symptomy degradacji troficznej potwierdzono w przypadku Pokrzywianki i Czarnej Wody (Jusik i in. 2023).

Badania hydromorfologiczne były prowadzone w oparciu o metodę oceny wód płynących – River Habitat Survey (RHS) (Environment Agency 2003), wg polskiej jej wersji. Na jej podstawie możliwa jest charakterystyka koryta rzecznego oraz w mniejszym stopniu doliny rzecznej. Dzięki temu możliwa jest ocena stopnia naturalności i przekształcenia morfologicznego cieków (Szoszkiewicz, Gebler 2012). Ocenę stanu hydromorfologicznego metodą RHS wykonano jako wypadkową wskaźników naturalności HQA i przekształcenia siedliska HMS.

Wśród badanych odcinków wyróżnić można jednak odcinek o niewielkiej naturalności, którym była Czarna Woda. Było to efektem istotnych przekształceń antropogenicznych, które znacznie ograniczają naturalności i różnorodność hydromorfologiczną. Dla pozostałych odcinków odnotowano wyraźnie wyższe wartości wskaźnika naturalności, które przy braku przekształceń umożliwiłyby osiągnięcie co najmniej dobrego stanu hydromorfologicznego. Najbardziej naturalnym odcinkiem była Czarna Hańcza w miejscowości Sobolewo, który charakteryzował się różnorodnymi warunkami siedliskowymi (typy nurtu, substrat), naturalnymi elementami morfologicznymi oraz zróznicowaną roślinnością korytową. W przypadku drugiej składowej wskaźnika HIR, czyli wskaźnika przekształcenia, niemal połowa odcinków odznaczała się bardzo niewielkimi modyfikacjami (Czarna Hańcza – Starorzecze i Ujście, Stara Rzeka – odcinek dolny, Dopływ z jeziora Łękuk – poniżej Jez. Łękuk 2, Pokrzywianka – Serwis) lub umiarkowanym stopniem przekształcenia. Jedynie Czarna Woda charakteryzowała się bardzo dużym przekształceniem koryta rzecznego, w tym przekształceniem zrealizowanym po roku 2019, czyli rokiem wykonania poprzednich badań (Jusik i in. 2023).

Porównanie uzyskanych wyników z poprzednimi badaniami przeprowadzonymi w latach 2016 i 2019 roku wskazuje na brak zmian w klasyfikacji stanu czterech badanych

odcinków rzecznych (Czarna Woda, Czarna Hańcza – Starorzecze i Ujście, Dopływ z J. Łękuk – powyżej Jez. Łękuk). Ponadto, w przypadku dwóch odcinków klasa osiągnięta w roku 2023 wróciła do poziomu z roku 2016 (Pokrzywianka – Dębno, Dopływ z J. Łękuk – poniżej Jez. Łękuk 2). Dla jednego odcinka, Czarnej Hańczy w Sobolewie, utrzymano klasę z roku 2019. Dla Pokrzywianki – Serwis uzyskano pierwszą klasę w porównaniu z drugą klasą w roku 2016 oraz w roku 2019. Obniżenie o jedną klasę odnotowano tymczasem dla Dopływ z J. Łękuk poniżej Jez. Łękuk 1 w stosunku do dwóch poprzednich sezonów badawczych (Jusik i in. 2023). W zlewni Starej Rzeki na Pogórzu Karpackim badania hydrobiologiczne były prowadzone po raz pierwszy, więc nie można odnieść się do wcześniejszych wyników.

Stan geoekologiczny badanych geosystemów określono na podstawie niższej wartości otrzymanych wskaźników MIR i RHS. Do dobrego stanu geoekologicznego (2 klasa) zakwalifikowano Czarną Hańczę i Starą Rzekę, a do umiarkowanego stanu (3 klasa) należały pozostałe dwa ciek: dopływ z jeziora Łękuk oraz Pokrzywianka (Tab. 33).

Tab. 33. Wartości wskaźnika MIR, RHS i stan geoekologiczny koryt rzecznych w zlewniach ZMŚP (2023)

Stacja ZMŚP (ciek)	MIR	RHS	Stan geoekologiczny
Puszcza Borecka (dopływ z jeziora Łękuk)	2	3	umiarkowany
Wigry (Czarna Hańcza)	2	2	dobry
Łysogóry (Pokrzywianka, Czarna Woda)	3	3	umiarkowany
Pogórze Karpackie (Stara Rzeką)	1	2	dobry

## 7.7. Struktura i dynamika szaty roślinnej

Monitoring struktury i dynamiki szaty roślinnej został zrealizowany na stałych powierzchniach w obrębie 12 zlewni badawczych ZMŚP. Pomiary zostały wykonane zgodnie z metodyką programu J2 (Chmiel i in. 2021). We wszystkich Stacjach Bazowych monitoring był prowadzony na czterech sąsiadujących ze sobą powierzchniach (tetradach) będących kwadratami o boku 20 m. W obrębie każdego, tzw. dużego kwadratu wyznaczono po dwa losowo wskazane kwadraty małe o boku 2 m do prowadzenia obserwacji w zakresie szczegółowym (łącznie 8). Ich usytuowanie oraz oznakowanie cyfrowe jest identyczne we wszystkich Stacjach Bazowych.

Powierzchnie leśne objęte monitoringiem ZMŚP różniły się w sposób zasadniczy. Z reguły obserwowano drzewostan dwuwarstwowy. Warstwę wyższą najczęściej tworzy sosna

(Kampinos, Poznań-Morasko), jodła (Łysogóry, Roztocze), świerk i buk (Karkonosze). Generować może pokrycie od 10 do 85%. W niższej warstwie drzew reprezentowane są wszystkie gatunki drzew oraz drzewiaste formy gatunków krzewiastych: *Crataegus monogyna*, *Cornus sanguinea* i *Rhamnus cathartica* (Pojezierze Chelmińskie). Warstwa niższa generuje pokrycie od 5 do 80%. Na powierzchniach badawczych wyznaczonych na terenie Stacji Bazowych Karkonosze, Roztocze, Wolin i Parsęta drzewostan jest jednowarstwowy (pokrycie 25-95). Warstwy podszytu leśnego (krzewów) brakuje lub wykształcona jest w szczątkowej postaci na powierzchni Wolin. W pozostałych lokalizacjach krzewy generują pokrycie od 5 do 70%. Także wykształcenie warstwy runa leśnego jest zróżnicowane w poszczególnych lokalizacjach. Zawierało się w przedziale od 1 do 95%. Obfitość uformowania się warstwy runa leśnego zależy od wielu czynników. Poza czynnikiem troficznym i wilgotnościowym istotne znaczenie ma czynnik świetlny. Ilość docierającego światła do dna lasu limitowana jest obfitością uformowania wyższych warstw lasu. Obfitość wykształcenia warstwy runa leśnego skorelowana jest negatywnie z ilością ściółki leśnej. Z tego względu warstwa ta najsłabiej – tak pod względem bogactwa gatunków, jak i pokrycia wykształcona jest w buczynie na powierzchni pomiarowej Wolin. Z obfitością ściółki leśnej negatywnie skorelowana jest też warstwa naziemnych mchów i porostów. Brakuje jej zupełnie na powierzchni pomiarowej Wolin, zaś w borze sosnowym na stałej powierzchni Kampinos osiąga nawet 100% pokrycia. Warstwa ściółki leśnej nie zdążyła się jeszcze ukształtować na powierzchni formowania się pierwszej generacji zbiorowiska leśnego na gruncie porolnym Stacji Parsęta. Najobficiej wykształcona jest w buczynie z trudno rozkładalnego listowia buka (zalegającego nawet przez kilka lat) na powierzchni monitoringowej Wolin (Chmiel 2023).

W roku 2023 najwięcej gatunków zaobserwowano na powierzchniach stałych założonych w lasach grądowych: Puszcza Borecka – 84 i Wigry – 67 gatunków. Dużym poziomem bogactwa gatunkowego cechowały się powierzchnie założone w układach zaburzonych: Parsęta – 57 i Poznań-Morasko – 41 gatunków. Najmniej gatunków odnotowano na powierzchniach założonych w buczynach: Karkonosze – 21, Wolin – 22 oraz Pogórze Karpackie – 22 gatunki. Dobrym parametrem naturalności kompleksu leśnego jest wskaźnik udziału gatunków starych lasów. Liczebność gatunków starych lasów, tj. gatunków unikających wtórnych układów leśnych powstałych na powierzchni, które w przeszłości były powierzchniami odlesionymi. Na powierzchniach monitoringowych Wigry oraz Puszcza Borecka osiągają one największe liczebności. Z kolei na powierzchniach Parsęta oraz Poznań Morasko są reprezentowane znikomo (Tab. 34) (Chmiel 2023).

*Tab. 34. Liczebność ogólna gatunków oraz udział gatunków starych lasów na stałych powierzchniach pomiarowych w zlewniach ZMŚP w 2023 roku hydrologicznym*

<b>Stacja Bazowa</b>	<b>Ogólna liczba gatunków</b>	<b>Udział gatunków starych lasów [%]</b>
Wolin	22	31,8
Parsęta	57	0,0
Puszcza Borecka	84	48,8
Wigry	67	38,8
Pojezierze Chełmińskie	31	3,2
Poznań-Morasko	41	2,4
Kampinos	25	28,0
Łysogóry	35	40,0
Roztocze	22	36,4
Pogórze Karpackie	22	45,5
Beskid Niski	48	29,2
Karkonosze	21	19,0

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

Stan środowiska przyrodniczego badanych geoeekosystemów 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 geoeekologiczny geoeekosystemu oznacza rozpoznanie i określenie stanu przyrody ożywionej i nieożywionej w zasięgu monitorowanej zlewni rzecznej (lub jeziornej), w określonym czasie (doba, dekada, miesiąc, rok, wielolecie). Opis stanu geoeekologicznego 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 geoeekologiczny roku 2023 został określony na podstawie wyników realizacji corocznego programu ZMŚP w Stacjach Bazowych w 2023 roku z uwzględnieniem stanu z roku poprzedniego (z 2022 roku na 2023 rok). Do oceny dynamiki rocznej stanu geoeekologicznego 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 geoeekologicznej w 2023 roku było uwzględnienie także programów realizowanych 1 raz na 3 lata (Tab. 36): zmiany pokrycia terenu i użytkowanie ziemi, struktura i dynamika szaty roślinnej, hydrobiologia rzek – makrofity i hydromorfologiczna ocena koryt rzecznych, ocena usług geoeekosystemów. Biorąc pod uwagę krótkookresową (z roku na rok) zmienność tych komponentów środowiska przyrodniczego można założyć, że wyniki z lat 2020-2022 są aktualne także dla 2023 roku.

Celem jest rozpoznanie i określenie jakościowe i ilościowe związków i zależności, o największym natężeniu, pomiędzy analizowanymi elementami środowiska geograficznego, które określają stan geoeekologiczny geoeekosystemu.

### **8.1. Potencjał środowiska przyrodniczego w oparciu o ocenę usług geoeekosystemów**

Potencjał środowiska przyrodniczego badanych geoeekosystemów określono na podstawie realizacji programu „Ocena usług geoeekosystemów”. Ocena potencjału środowiska



przyrodniczego do dostarczania usług polegała na porównaniu geosystemów (reprezentowanych przez określone typy pokrycia i użytkowania terenu) pod względem ich zdolności do dostarczania usług zaopatrujących, a zwłaszcza regulacyjnych. Metodyka określenia potencjału geosystemów oraz wyniki dla poszczególnych zlewni ZMŚP zostały zawarte w opracowaniu Lupy (2023). W procedurze wykorzystano matrycę usług ekosystemów, zawierającą wykaz typów ekosystemów i przypisane im usługi wraz z oceną poziomu usług.

Zdolność geosystemów 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 geosystemy;
- kształtowanie klimatu w skali lokalnej – oddziaływanie na elementy pogody i klimatu (wiatr, opady, temperaturę, wilgotność, radiację) przez komponenty geosystemów, zwłaszcza pokrycie terenu;
- poprawa jakości powietrza – przechwytywanie i filtrowanie pyłów, zanieczyszczeń chemicznych i gazowych;
- poprawa jakości wody – oddziaływanie geosystemów 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 geosystemu do recyklingu, np. azotu i fosforu;
- ochrona przed erozją – retencja glebowa oraz zdolność do przeciwdziałania erozji gleb i powstawania osuwisk;
- zapylenie 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 2023 roku program „Ocena usług geosystemów” był realizowany w czterech Stacjach Bazowych: Wolin, Parsęta, Poznań-Morasko i Karkonosze. W ocenie usług geosystemów wzięto pod uwagę dominację klasy potencjału środowiska przyrodniczego (największy udział procentowy) dla danej usługi. Potencjał środowiska badanych geosystemów określono na podstawie sumy punktów z macierzy (Tab. 35), 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. 35. Potencjał środowiskowy w zlewniach ZMŚP na podstawie programu oceny usług geosystemów (2023)

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	zapylenie i rozprzestrzenianie nasion	kontrola szkodników i przeciwdziałanie plagom		
Wolin	4	4	4	4	3	4	4	4	4	41	wysoki
Parsęta	4	3	3	3	2	3	4	2	3	29	średni
Poznań-Morasko	4	2	1	2	2	4	4	1	1	22	średni
Karkonosze	4	4	4	4	3	4	4	4	4	42	wysoki

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: Wolin i Karkonosze). Natomiast średni potencjał stwierdzono w zlewniach podlegających większej antropopresji: górnej Parsęty i Różanego Strumienia (Stacja Poznań-Morasko)..

## 8.2. Stan geoeologiczny

W oparciu o realizowany program ZMŚP dokonano waloryzacji stanu geoeologicznego badanych geosystemów w oparciu o wyniki z lat 2020-2023 (Tab. 36). Dokonano oceny geoeologicznej komponentów środowiska przyrodniczego (zgodnie z programem ZMŚP) monitorowanych w stacjach. Uwzględniono właściwości ilościowe i jakościowe oraz tendencje zmian danego komponentu środowiska przyrodniczego.

Waloryzacja stanu geoeekologicznego 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 2023 roku w odniesieniu do roku 2022; lub zachowanie dobrego stanu z poprzedniego roku;
- **stan przeciętny 0 pkt** – brak zmiany ilościowej lub jakościowej danego komponentu w 2023 roku na tle roku 2022; lub zachowanie przeciętnego stanu z poprzedniego roku;
- **stan słaby -1 pkt** – negatywna zmiana ilościowa lub jakościowa danego komponentu w 2023 roku na tle roku 2022; 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 2020-2023 (Tab. 36). 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 2023 roku do roku ubiegłego. Natomiast dla pozostałych programów odniesiono się do wyników badań z wcześniejszego cyklu pomiarowego.

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

Stan geoeekologiczny w głównej mierze określany był na podstawie obiegu wody w poszczególnych geoeekosystemach. O zakwalifikowaniu danego komponentu środowiska do stanu dobrego, przeciętnego lub słabego decydował stan ilościowy wody na poszczególnych etapach jego obiegu, np. w programie A1 – meteorologia, stan geoeekologiczny 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 geoeekologicznym 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%). W roku 2023 niemożliwe jest jednak porównanie klas defoliacji z rokiem wcześniejszym, w związku ze zmianą metodyki. Takie porównania będą wartościowe od 2024 roku. 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 2023 roku charakteryzowały się geokosystemy niepoddawane antropopresji, położone w Parkach Narodowych (Stacje: Wolin, Karkonosze i Roztocze). Przeciętnym stanem odznaczały się geokosystemy znajdujące się w Polsce północnej (Stacje: Parsęta, Puszcza Borecka i Wigry), zlewnia Kanału Olszowieckiego (Stacja Kampinos) oraz zlewnie położone w strefie wyżynno-górskiej (Stacje: Łysogóry, Pogórze Karpackie i Beskid Niski). Z kolei najgorszym stanem charakteryzowały się geokosystemy poddane silnej antropopresji rolniczej i urbanizacyjnej (Stacje: 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  $\pm 1$  pkt). Nieznaczną poprawę (+2 pkt) zanotowano w Beskidach (Stacje Pogórze Karpackie i Beskid Niski). Z kolei pogorszenie stanu geoekologicznego (ponad -2 pkt) stwierdzono na Wigrach, Pojezierzu Chełmińskim i w Karkonoszach. W przypadku Wigier i Pojezierza Chełmińskiego wpłynęły na to w głównej mierze niekorzystne uwarunkowania hydrometeorologiczne. Niższe opady oraz wyższa temperatura niż w latach wcześniejszych negatywnie wpłynęły na obieg wody w geokosystemie. Z kolei w Karkonoszach stwierdzono m.in. gorszą jakość wód podziemnych (Tab. 36). Przeprowadzona analiza umożliwi nie tylko na określenie aktualnego stanu badanych elementów środowiska przyrodniczego, ale także skali przemian środowiska przyrodniczego analizowanych geokosystemów w cyklu rocznym, a także wieloletnim.

Tab. 36. Stan geoeologiczny zlewni badawczych ZMŚP w 2023 roku (na podstawie programów o rocznym i trzyletnim interwale czasowym)

Program ZMŚP	Rok	Wolin	Parzęta	Puszcza Borecka	Wigry	Pojezierze Chelmińskie	Poznań-Morasko	Kampinos	Łysogóry	Roztocze	Pogórze Karpackie	Beskid Niski	Karkonosze
<b>Programy 1 raz/rok</b> <span style="background-color: #00b0f0; color: white;">+1 pkt stan dobry</span> , <span style="background-color: #ffff00; color: black;">0 pkt stan przeciętny</span> , <span style="background-color: #ff0000; color: white;">-1 pkt stan słaby</span> <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; vertical-align: middle;"></span> program nierealizowany w Stacji Bazowej													
Meteorologia	2023												
	2022												
Zanieczyszczenie powietrza	2023												
	2022												
Chemizm opadów atmosferycznych	2023												
	2022												
Chemizm opadu podkoronowego	2023												
	2022												
Chemizm spływu po pniach	2023												
	2022												
Chemizm roztworów glebowych	2023												
	2022												
Wody podziemne	2023												
	2022												
Opad organiczny	2023												
	2022												
Wody powierzchniowe – rzeki	2023												
	2022												
Wody powierzchniowe – jeziora	2023												
	2022												
Gatunki inwazyjne obcego pochodzenia – rośliny	2023												
	2022												
Uszkodzenia drzew i drzewostanów	2023												
	2022												
Metale ciężkie i siarka w porostach	2023												
	2022												
Metale ciężkie i siarka w mchach	2023												
	2022												
<b>Programy 1 raz/3 lata</b> <span style="background-color: #00b0f0; color: white;">+1 pkt stan dobry</span> , <span style="background-color: #ffff00; color: black;">0 pkt stan przeciętny</span> , <span style="background-color: #ff0000; color: white;">-1 pkt stan słaby</span>													
Zmiany pokrycia terenu i użytkowanie ziemi	2022												
Struktura i dynamika szaty roślinnej	2023												
Hydrobiologia rzek – makrofity i hydromorfologiczna ocena koryt rzecznych	2023												
	2021												
	2020												
Ocena usług geoeosystemów	2023												
	2021												
	2020												
<b>Stan geoeologiczny</b>	<b>2023</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>-5</b>	<b>-2</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>11</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>12</b>
	<b>2022</b>	<b>11</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>-3</b>	<b>-2</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>11</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>14</b>
	<b>2021</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>-3</b>	<b>-2</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>10</b>		<b>8</b>	<b>12</b>
	<b>2020</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>-6</b>	<b>-5</b>	<b>-4</b>	<b>4</b>	<b>6</b>		<b>9</b>	<b>11</b>

## **9. MODELOWANIE ZMIAN BILANSU WODNEGO I BIOGEOCHEMICZNEGO EKSPERYMENTALNYCH ZLEWNI ZMŚP**

Modelowanie hydrochemiczne zlewni zostało przeprowadzone za pomocą modelu Soil and Water Assessment Tool (SWAT) dla zlewni dla podstawowego okresu symulacji: 2005-2022 (dodatkowe dwa lata wstecz, od 2003 r. – okres dostosowywania modelu, ang. *warm-up period*). z wykorzystaniem dostępnego dla każdej stacji indywidualnego zakresu danych. W Stacjach z krótszym okresem badań w ZMŚP wykonano symulacje dla dostępnych lat pomiarów, do 2022 roku włącznie (z krótszym okresem dostosowywania modelu). Okres symulacji podzielono na lata objęte kalibracją (2/3 okresu symulacji) i lata objęte walidacją (1/3 okresu symulacji). Prognozowanie zmian odpływu ze wszystkich 12 zlewni badawczych w odniesieniu do referencyjnego wielolecia przeprowadzono trzech okresów 10-letnich (dekadowych): 2021-2030, 2031-2040 i 2041-2050, z uwzględnieniem scenariuszy klimatycznych RCP4.5 i RCP8.5. Do przeprowadzenia modelowania wykorzystano oprogramowanie ArcGIS/ArcSWAT z wykorzystaniem bazy danych SWAT 2009. W bazie tej zapisano rekordy zawierające parametry gleb oraz generator pogody. Kalibrację wyników symulacji przeprowadzono w oprogramowaniu SWAT Calibration and Uncertainty Program (SWAT-CUP) (Abbaspour i in., 2007) z wykorzystaniem algorytmu Sequential Uncertainty Fitting (SUFI2) (Abbaspour i in., 2004, 2007). Dane wejściowe do modelu obejmowały dane przestrzenne (cyfrowy model wysokościowy, granica zlewni i sieć drenażu, pokrycie terenu i użytkowanie ziemi, gleby, spadki terenu) oraz dobowe dane klimatyczne pozyskane z bazy danych ZMŚP lub, dla Stacji z krótszym okresem pomiarowym z IMGW.

Symulacje bilansu wodnego i biogeochemicznego zostały przeprowadzone dla całego okresu dostępności danych, które były bardzo zróżnicowane w poszczególnych zlewniach badawczych (od kilku do ponad 20 lat). Im większy zakres danych tym dopasowanie modelu, kalibracja i walidacja w odniesieniu do wartości rzeczywistych było lepsze. Do wykonania symulacji zastosowano m. in. następujące metody: szacowanie opadu efektywnego (metoda SCS-CN), szacowanie ewapotranspiracji (metoda Penmana-Monteitha). Symulacje wykonano dla miesięcznego kroku danych wyjściowych. Uzyskane wyniki symulacji każdego parametru wykazywały odchylenia od wartości pochodzących z bezpośrednich pomiarów. Niezbędnym było przeprowadzenie procesu kalibracji uzyskanych wyników. Kalibracja jest procesem wyznaczania wartości parametrów modelu na podstawie analizy danych rzeczywistych i metod optymalizacyjnych, w celu osiągnięcia możliwie najlepszej zgodności między danymi rzeczywistymi i wygenerowanymi przez model. Analiza wrażliwości (*Sensitive Analysis*),

przeprowadzana po symulacji, umożliwiła wybór najważniejszych parametrów morfologicznych, glebowych i roślinnych, wpływających na wielkość symulowanych parametrów, na których zmiany model jest najbardziej czuły (Sorooshian, Gupta 1995).

Kalibrację przeprowadzono w programie SWAT-CUP w oparciu o algorytm kalibracji SUFI2. Do kalibracji modelu wykorzystano następujące parametry: stała recesji zasilania cieków wodą gruntową (ALPHA\_BF), opóźnienie dopływu wód gruntowych (GW\_DELAY), wartość progowa ilości wody w płytkim poziomie wodonośnym, powyżej której pojawia się zasilanie cieków wodą gruntową (GWQMN), współczynnik podsiąku wód gruntowych (GW\_REVAP), głębokość zalegania wody w płytkiej warstwie wodonośnej, dla której występuje przesiąkanie lub perkolacja do głębokich warstw wodonośnych (REVAPMN), parametr CN w metodzie SCS (CN2), współczynnik kompensacji ewaporacji glebowej (ESCO), woda dostępna dla roślin (SOL\_AWC), maksymalna pojemność roślinna (CANMX). Dla każdej z badanych zlewni eksperymentalnych wybrano po kilka najważniejszych parametrów, wyznaczanych podczas procedury analizy wrażliwości. W każdej ze zlewni zastosowano inny „zestaw” parametrów, które są zależne od lokalnych uwarunkowań przyrodniczych. Wykonano kilka iteracji (najczęściej 4), a każda iteracja obejmowała kilkaset symulacji (najczęściej 500). Na podstawie wykonanych iteracji określono optymalne wartości parametrów dla każdej zlewni. Wyznaczone parametry zostały następnie zastosowane do obliczeń bilansu wodnego i biogeochemicznego w okresie walidacji modelu.

Pewne odstępstwa w okresach kalibracji i walidacji miały miejsce w Górach Świętokrzyskich i w Puszczy Boreckiej. W zlewni Wieńca (Stacja Łysogóry), cały badany okres (2005-2008) potraktowano jako okres kalibracji. Zrezygnowano z wyodrębnienia w wieloletnim okresie walidacji z powodu braku do porównań wiarygodnych danych odpływu, z powodu bardzo intensywnego poboru wody (od 2010 roku) do celów gospodarczych (rolniczych) przez mieszkańców zabudowań położonych w dolnej części badanej zlewni, skutkujący znikomym odpływem wody, szczególnie w półroczu letnim (Kozłowski i in. 2024). Uniemożliwiło to zatem dokonanie porównania „obserwowanych” (zmienionych antropogenicznie) i symulowanych wartości przepływu w profilu zamykającym zlewnię. Z kolei w zlewni jeziora Łękuk (Stacja Puszcza Borecka), aktywność bobrów od roku 2009 spowodowała wielokrotne zmiany w geometrii przekroju pomiarowego odpływu wody z jeziora, a nawet w skrajnych przypadkach zmianę lokalizacji koryta odpływowego. Zważywszy na powyższe dane na potrzeby kalibracji i walidacji natężenia przepływu pochodziły z okresu 2004-2008 (Degórska i in. 2024).

Uzyskane wyniki symulowanych wartości średnich miesięcznych przepływu wody poddano ocenie wg trzech parametrów: współczynnika determinacji  $R^2$ , współczynnika efektywności modelu Nasha-Sutcliffe'a (NSE) oraz współczynnika odchylenia procentowego PBIAS (Tab. 37).

Tab. 37. Statystyki oceny symulowanych średnich miesięcznych wartości przepływu

Stacja	Okres kalibracji	$R^2$	NSE	PBIAS	Okres walidacji	$R^2$	NSE	PBIAS
Wolin	2011-2019	0,49	0,47	6,3	2020-2022	0,55	0,30	-46,6
Parzęta	2005-2017	0,67	0,69	-29,4	2018-2022	0,81	0,14	-9,0
Puszcza Borecka	2004-2006	0,75	0,73	-2,0	2007-2008	0,75	0,67	-25,0
Wigry	2010-2012	0,15	-0,57	6,1	2018-2022	0,24	0,021	10,9
	2013-2017	0,39	0,074	5,5				
Pojezierze Chełmińskie	2005-2012	0,50	0,52	4,1	2018-2022	0,22	0,10	-19,2
	2013-2017	0,03	-0,85	-20,6				
Poznań-Morasko	2017-2019	0,64	0,54	28,5	2020-2022	0,44	0,31	23,7
Kampinos	2005-2011	0,43	0,43	12,6	2018-2022	0,76	0,74	-19,7
	2012-2017	0,22	0,22	10,7				
Łysogóry	2005-2008	0,52	0,09	24,5	-	-	-	-
Roztocze	2016-2020	0,39	0,23	-21,6	2021-2022	0,15	-0,03	-14,6
Pogórze Karpackie	2016-2019	0,83	0,66	-6,7	2020-2022	0,76	-1,63	-64,4
Beskid Niski	2005-2012	0,75	0,73	8,9	2018-2022	0,73	0,73	-1,0
	2013-2017	0,71	0,67	-16,9				
Karkonosze	2017-2018	0,62	0,56	5,4	2019-2022	0,18	0,16	6,9

Klasa wskaźnika	$R^2$	NSE	PBIAS
niezadowalający	$R^2 \leq 0,36$	$NSE \leq 0,50$	$PBIAS > \pm 25$
zadowalający	$0,36 < R^2 \leq 0,49$	$0,50 < NSE \leq 0,65$	$\pm 15 < PBIAS \leq \pm 25$
dobry	$0,49 < R^2 \leq 0,64$	$0,65 < NSE \leq 0,75$	$\pm 10 < PBIAS \leq \pm 15$
bardzo dobry	$R^2 > 0,64$	$0,75 < NSE \leq 1,00$	$PBIAS \leq \pm 10$



W oparciu o analizę statystyk dla opracowanych modeli obiegu wody (opad-odpływ) stwierdzono dobre dopasowanie modelu pod względem wszystkich trzech współczynników dla zlewni: jeziora Łękuk (Puszcza Borecka), Starej Rzeki (Pogórze Karpackie), Bystrzanki (Beskid Niski) oraz Wrzosówki (Karkonosze). Współczynniki determinacji R<sup>2</sup>, efektywności NSE i odchylenia PBIAS w tych geoekosystemach są przynajmniej zadowalające dla okresu kalibracji. W przypadku zlewni: Lewińskiej Strugi (Wolin), górnej Parsęty (Parsęta), Czarnej Hańczy (Wigry), Różanego Strumienia (Poznań-Morasko), Wieńca (Łysogóry) i Świerszcza (Roztocze) dwa z trzech współczynników są przynajmniej zadowalające w okresie kalibracji. Z kolei dla okresu walidacji dobre współczynniki stwierdzono w Puszczy Boreckiej, Kampinosie i Beskidzie Niskim. Dwa z trzech współczynników są dobre ponadto w zlewniach: górnej Parsęty (Parsęta), Różanego Strumienia (Poznań-Morasko) i Świerszcza (Roztocze). Najgorsze dopasowanie miało miejsce w zlewni Strugi Toruńskiej (Pojezierze Chełmińskie), w której naturalnie kształtowany odpływ jest zaburzony przez zlewnie drenarskie. Ponadto, kryteria oceny wypracowane zostały na podstawie symulacji w dużych zlewniach rzecznych, których bezwładność jest znacznie większa niż zlewni małych, którymi są zlewnie eksperymentalne ZMŚP. Poprawa jakości modeli może być uzyskana poprzez zebranie dłuższych serii obserwacyjnych, uwzględnienie bilansu wodnego zbiorników wodnych (brak danych pomiarowych) oraz weryfikację wielkości poboru wody w zlewniach.

Na podstawie wyników symulacji dla poszczególnych zlewni zestawiono średnie roczne wartości podstawowych elementów bilansu wodnego i biogeochemicznego, m.in.: odpływ, odprowadzane ze zlewni ładunki azotu azotanowego i fosforu ogólnego. Porównanie symulowanych i obserwowanych wartości podstawowych składników obiegu wody wskazuje na przeszacowanie przez model odpływu w stosunku do wartości pomiarowych w większości zlewni (Wolin, Parsęta, Kampinos, Łysogóry, Roztocze, Pogórze Karpackie). W przypadku Puszczy Boreckiej i Beskidu Niskiego różnice między odpływem obserwowanym, a symulowanym są bardzo małe i wynoszą odpowiednio 0,01 mm i 1,8 mm. Symulacje wskazują również znacznie wyższe wartości ładunku azotu azotanowego (8 zlewni) w stosunku do wyników obserwowanych. Z kolei symulowana wielkość ładunku fosforu ogólnego jest wyższa w 5 zlewniach i niższa w 6 zlewniach od wartości obserwowanych (Tab. 38). Dla każdej zlewni zestawiono także wartości miesięczne wysokości warstwy opadu i odpływu [mm] z analizowanego okresu kalibracji oraz okresu walidacji.

Przebieg zmienności czasowej symulowanych wartości przepływu wody w zestawieniu z danymi pomiarowymi (hydrogramy odpływu) przedstawiono w oparciu o wartości średnie

miesięczne dla okresu kalibracji oraz walidacji modeli. Przykład dobrego dopasowania modelu w górskiej zlewni Bystrzanki przedstawiono na Ryc. 29.

Przeprowadzono również symulację odpływu w trzech 10-letnich (dekadowych) okresach: 2021-2030, 2031-2040 i 2041-2050 w oparciu o dane klimatyczne uzyskane z internetowego portalu KLIMADA 2.0. Zmiany średnich rocznych sum odpływu były zróżnicowane w poszczególnych zlewniach. Największy wzrost (średnio 22%) uzyskano w dekadzie 2041-2050 dla scenariusza RCP8.5. W ujęciu przestrzennym, największy wzrost (średnio >10%) prognozowany jest na Wolinie, w Parsęcie i na Pojezierzu Chełmińskim. Spadek odpływu obliczono tylko dla 6 przypadków w 4 Stacjach Bazowych: Wigry (dekada 2031-2040, RCP 8.5), Poznań-Morasko (dekada 2031-2040, RCP 8.5), Łysogóry (dekada 2021-2030, RCP 4.5 oraz dekada 2041-2050, RCP 4.5) oraz Pogórze Karpackie (dekada 2021-2030, RCP 4.5 oraz dekada 2041-2050, RCP 4.5) (Tab. 39). Większą różnorodność uzyskano w przypadku zmian średnich miesięcznych odpływów. Przykładową prognozę zmian miesięcznej warstwy odpływu ze zlewni górnej Parsęty przedstawiono na Ryc. 30.

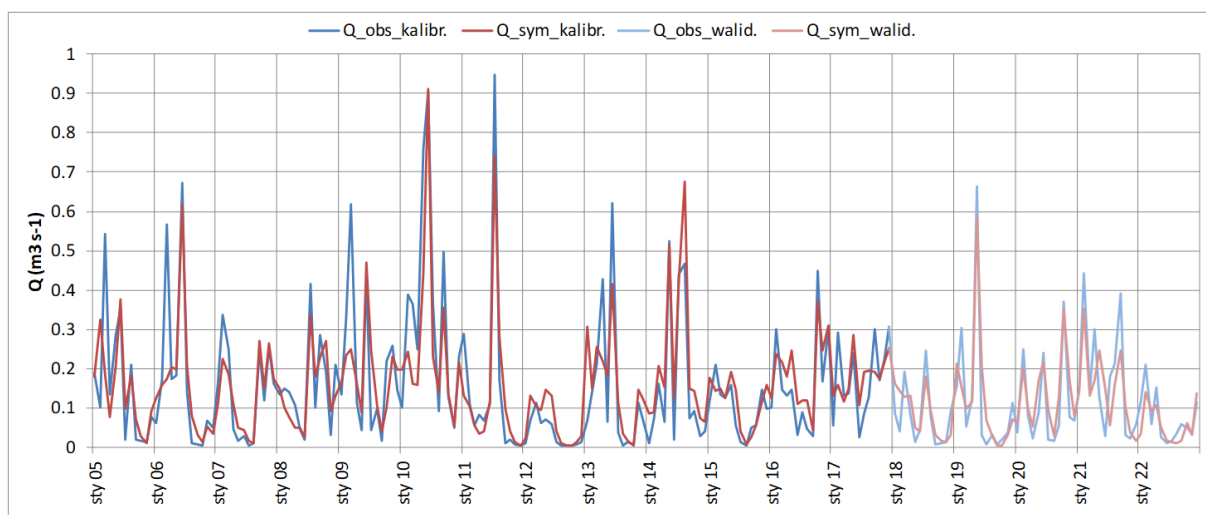
Tab. 38. Przebieg średnich rocznych obserwowanych i symulowanych (po kalibracji) sum odpływu ze zlewni, ładunków azotu azotanowego i fosforu ogólnego w zlewniach ZMŚP

Stacja	Odpływ [mm]			Ładunek N-NO <sub>3</sub> [kg]			Ładunek P <sub>og.</sub> [kg]		
	O	S	S-O	O	S	S-O	O	S	S-O
Wolin	122,0	122,5	0,5	354	332	-22	16,5	6,5	-10
Parsęta	236,7	294,2	57,5	27758	29782	2024	1342	840	-502
Puszcza Borecka	0,072	0,082	0,01	0,34	0,19	-0,15	59,9	70,5	10,6
Wigry	263,5	261,3	-2,2	520	583	63	73,9	125,1	51,2
Pojezierze Chełmińskie	219,0	151,1	-67,9	5394	10137	4743	211	125	-86
Poznań-Morasko	37,88	32,82	-5,06	649	922	273	8,9	59,4	50,5
Kampinos	98,1	106,1	8,0	163	151	-12	87	10	-77
Łysogóry	44,8	257,0	212,2	60	317	257	0,9	4,6	3,7
Roztocze	217,6	258,5	40,9	180	183	3	54,1	33	-21,1
Pogórze Karpackie	134,2	171,8	37,6	-	-	-	-	-	-
Beskid Niski	360,4	362,2	1,8	6595	7415	820	387	871	484
Karkonosze	650,5	608,6	-41,9	1636	1998	362	109	69	-40

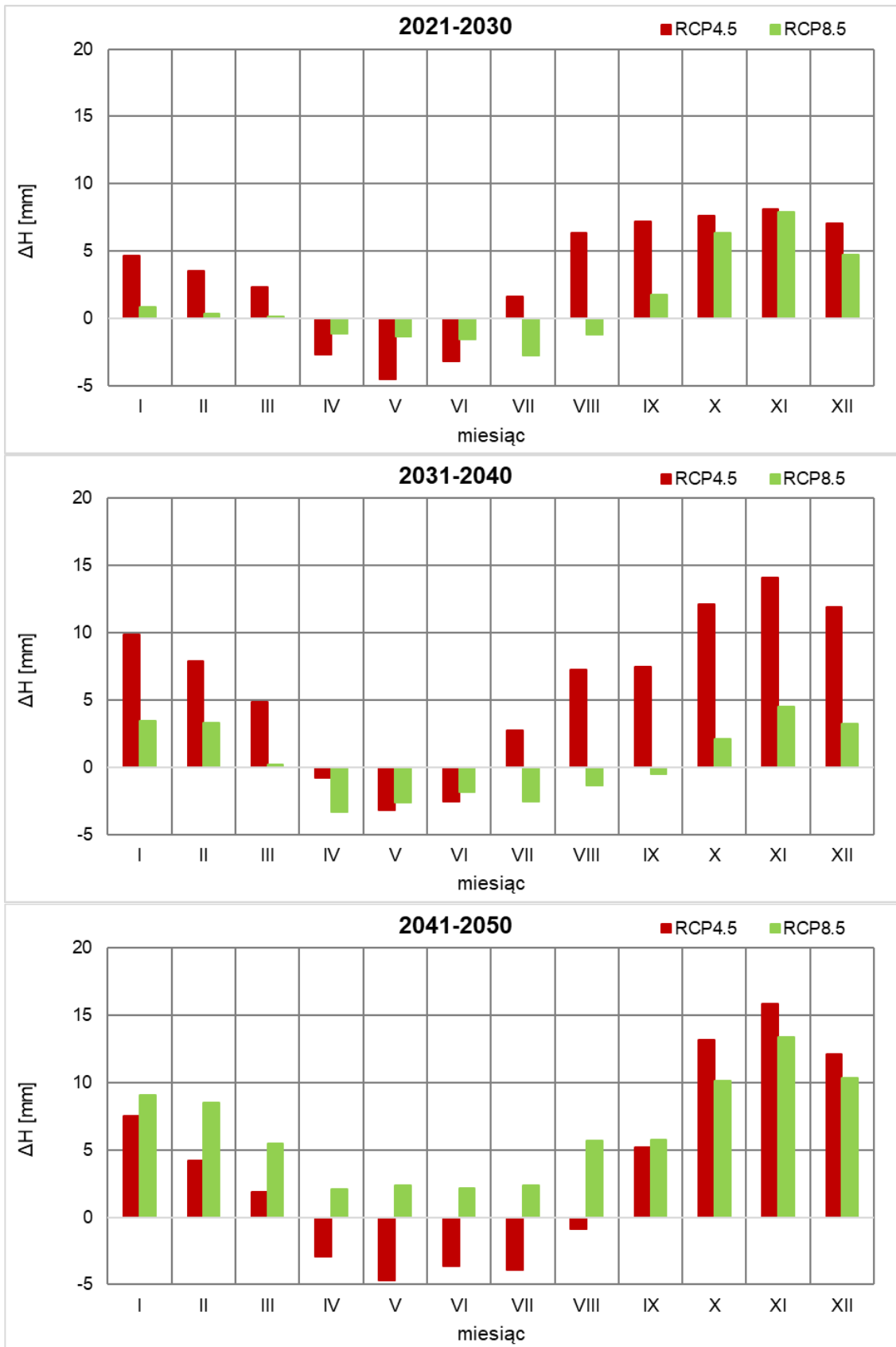
O – wartość obserwowana, S – wartość symulowana

Tab. 39. Zmiany średnich rocznych sum odpływu ze zlewni ZMŚP dla okresów: 2021-2030, 2031-2040 i 2041-2050 w odniesieniu do wielolecia 2011-2020 w oparciu o scenariusze zmian klimatu w Polsce (KLIMADA 2.0)

Stacja	Okres symulacji	KLIMADA 2.0					
		Prognoza 2021-2030		Prognoza 2031-2040		Prognoza 2041-2050	
		RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
		[mm]					
Wolin	130,2	139,5	145,8	156,1	139,2	146,8	154,1
Parsęta	306,2	344,3	320,3	378,0	310,8	350,1	383,5
Puszcza Borecka	235,6	249,8	264,6	259,2	241,5	237,4	284,0
Wigry	266,9	272,7	287,6	280,7	252,2	268,7	311,1
Pojezierze Chełmińskie	118,5	128,3	124,5	141,7	125,8	135,3	150,5
Poznań-Morasko	33,5	35,3	35,9	34,6	32,0	33,6	40,2
Kampinos	97,0	100,9	102,3	110,5	99,5	103,6	119,1
Łysogóry	239,2	229,8	246,3	243,0	246,1	235,0	290,9
Roztocze	258,1	271,0	310,2	270,5	277,5	277,5	309,5
Pogórze Karpackie	155,3	152,9	176,7	163,6	170,8	145,5	214,0
Beskid Niski	347,6	352,1	393,8	363,3	366,5	350,6	426,6
Karkonosze	606,9	632,3	684,1	685,0	669,5	646,2	724,8



Ryc. 29. Średnie miesięczne natężenie przepływu obserwowanego i symulowanego w okresie kalibracji w zlewni Bystrzanki (Kijowska-Strugała i in. 2024)



Ryc. 30. Prognoza zmian miesięcznej warstwy odpływu ze zlewni górnej Parsęty w latach 2021-2030, 2031-2040 i 2041-2050 w porównaniu z referencyjnym wieloleciem 2011-2020 (Szpikowski i in. 2024)

Podsumowując realizację modelowania zmian bilansu wodnego i biogeochemicznego w zlewniach ZMŚP, można przedstawić następujące wnioski:

- Ocena porównania obserwowanych i symulowanych przepływów w różnych zlewniach eksperymentalnych ZMŚP wskazuje na występowanie lepszego lub gorszego dopasowania i zależy od długości serii rzeczywistych danych pomiarowych. Ponadto istotny wpływ mają również czynniki „zakłócające” naturalny przebieg odpływu ze zlewni: tamy bobów, zlewnie drenarskie, nadmierny pobór wody przez ludność i inne. Bez uwzględnienia wyników pomiarów lub przynajmniej danych szacunkowych określających wpływ tych elementów na kształtowanie odpływu, nie możliwa jest właściwa interpretacja poprawności działania modelu SWAT.
- Cyfrowy model wysokości (DEM) sporządzony na podstawie zobrazowania LiDAR jest wystarczająco dokładny do przygotowania symulacji. Również pokrycie terenu i użytkowanie ziemi i jego zmiany wykonywane w 3-letnich interwałach czasowych stanowią wystarczającą informację wprowadzaną do modelu. Poprawy wymagają dane glebowe wprowadzane do modelu, np. wykorzystując szczegółowe mapy glebowe, opracowywane przez Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy.
- Prognozy zmian odpływu, sporządzone na podstawie danych z serwisu KLIMADA 2.0, bardzo wzbogacają przeprowadzone modelowanie, wskazując na wpływ zmian klimatycznych na objętość i dostępność wody dla właściwego funkcjonowania geosystemów badanych zlewni. Prognozowane wieloletnie oraz sezonowe (miesięczne) zmiany odpływu mogą stanowić informację o zagrożeniach dla siedlisk flory i fauny oraz dla rolniczej działalności człowieka.

W porównaniu z poprzednim opracowaniem, wykonanym w 2020 r.:

- dokonano optymalizacji parametrów symulacji we wszystkich zlewniach,
- dodatkowo przeprowadzono prognozę odpływu w dekadzie 2031-2040 wg scenariusza klimatycznego RCP4.5 ,
- przygotowano prognozę odpływu dla dekad: 2021-2030, 2031-2040 i 2041-2050 nie tylko wg scenariusza klimatycznego RCP4.5., ale również RCP8.5.

## **10. PODSUMOWANIE STANU EKSPERYMENTALNYCH GEOEKOSYSTEMÓW ZLEWNI RZECZNYCH I JEZIORNÝCH POLSKI W 2023 ROKU**

W 2023 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 młodogłacjalnej strefie Niżu Polskiego badanych jest 6 geoeosystemów 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 geoeosystemów 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 geoeosystemów 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 2023 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 2023 był cieplejszy od wartości normalnej. Wyższe temperatury w 2023 roku wpisują się w trend stale wzrastającej średniej rocznej temperatury powietrza. Dla 8 stacji stwierdzono istotny statystycznie trend wzrostowy średniej rocznej temperatury powietrza (Stacje: Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Pojezierze Chełmińskie, Kampinos, Łysogóry, Pogórze Karpackie i Beskid Niski), ponadto w 4 stacjach (Parsęta, Pojezierze Chełmińskie, Łysogóry i Beskid Niski) stwierdzono również istotny statystycznie trend wzrostowy frekwencji występowania dni gorących, a w 3 stacjach (Parsęta, Pojezierze Chełmińskie i Beskid Niski) również dla dni upalnych. Z kolei w przypadku frekwencji występowania dni mroźnych stwierdzono istotny statystycznie trend spadkowy dla 9 stacji (Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie, Kampinos, Łysogóry, Roztocze i Beskid Niski), a w przypadku dni bardzo mroźnych w 5 stacjach (Wolin, Puszcza Borecka, Wigry, Kampinos i Beskid Niski).

Warunki opadowe w badanych zlewniach w 2023 roku zmieniały się od niekorzystnych w Wigrach i na Pojezierzu Chełmińskim, gdzie był to rok suchy, przez umiarkowanie korzystne w pozostałych stacjach w Polsce północnej (Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka) oraz w Kampinosie, Beskidzie Niskim i Karkonoszach, gdzie był to rok normalny pod względem opadowym, do korzystnych w pozostałych stacjach, gdzie był to rok wilgotny (Poznań-Morasko, Łysogóry, Roztocze, Pogórze Karpackie). Klasyfikacja ilościowa opadów w 2023 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 niskich zlewnie 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 geosystemów wpływał ładunek zanieczyszczeń dostarczony wraz z mokrą depozycją atmosferyczną. Jakość opadów atmosferycznych w 2023 roku pod względem wskaźnika odczynu i przewodności elektrolitycznej właściwej była bardzo dobra w większości badanych geosystemów, poza zlewnią Wieńca w Górach Świętokrzyskich, którą zakwalifikowano do klasy przewodności mocno podwyższonej. Przewodność nieznaczną stwierdzono w 5 Puszcza Borecka, Kampinos,

Roztocze, Pogórza Karpackie i Karkonosze. W pozostałych stacjach mineralizacja opadów była lekko podwyższona. Odczyn opadów atmosferycznych w porównaniu do roku poprzedniego uległ nieznacznemu pogorszeniu. W dwóch stacjach (Wolin i Wigry) stwierdzono lekko podwyższone pH, również w dwóch stacjach (Łysogóry 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 geosystemów była dobra.

W 2023 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 Polsce południowo-wschodniej (Łysogóry, Roztocze i Pogórze Karpackie) oraz w Kampinosie. Powyższe prawidłowości odzwierciedlają sytuację większego wpływu związków azotu (np.  $\text{NO}_2$ ) w zakwaszeniu opadów w Polsce, których źródłem są głównie zanieczyszczenia komunikacyjne. Jedynie w Polsce południowo-wschodniej większy wpływ w zakwaszeniu opadów mają siarczany, których źródłem jest zwłaszcza spalanie paliw kopalnych.

Korzystniejsze warunki hydrometeorologiczne w latach 2021-2023 pozwoliły nieznacznie poprawić sytuację hydrogeologiczną. Tylko w październiku w Kampinosie stwierdzono występowanie głębokiej niżówki, a frekwencja występowania płytkiej niżówki była zdecydowanie niższa niż w latach wcześniejszych (wystąpiła tylko trzykrotnie na Pojezierzu Chełmińskim). W większości zlewni (poza zlewniami górnej Parsęty i Czarnej Hańczy), we wszystkich strefach krajobrazowych, wystąpiły miesiące ze spadkiem retencji. Wyższe stany wody nie wpłynęły znacząco na stan jakościowy wód podziemnych w zlewniach badawczych ZMŚP, w 9 (Wolin, Puszcza Borecka, Wigry, Poznań-Morasko, Kampinos, Łysogóry, Roztocze, Pogórze Karpackie i Karkonosze) z 12 zlewni stwierdzono zadowalającą klasę jakości wody, do dobrej klasy zaliczono tylko wody na 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 tym samym, przeciętnym poziomie od roku 2016, chociaż w 2023 roku zanotowano nieznaczny spadek jakości tych wód. Cztery badane ciekł (Lewińska Struga, Parsęta, Świerszcz i Wrzosówka) posiadały w 2023 roku dobrą klasę elementów fizykochemicznych, a w żadnej zlewni nie stwierdzono bardzo dobrej klasy elementów fizykochemicznych. Z kolei w pozostałych 7 ciekach (Czarna Hańcza, Struga



Toruńska, Różany Strumień, Kanał Olszowiecki, Wieniec, Stara Rzeka i Bystrzanka) elementy te przekroczyły normy dla dobrego stanu (poniżej drugiej klasy). Zadecydowały o tym głównie podwyższone stężenia przewodności wody, 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  $\text{SO}_2$  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  $\text{SO}_2$  malały w tym okresie wyraźnie, a stężenia  $\text{NO}_2$  wykazywały tendencję wzrostową (Degórska i in. 2024). 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 geosystemów 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 ( $\text{Cl}^-$  i  $\text{Na}^+$ ) możliwa jest regionalizacja jakości opadów atmosferycznych w transektach południkowych i równoleżnikowym. Powyższa regionalizacja chlorkowo-sodowa opadów atmosferycznych 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 geosystemów są zarówno procesy naturalne (np. ekstremalne zdarzenia hydrometeorologiczne i geomorfologiczne) jak i antropogeniczne związane z dostawą zanieczyszczeń. W 2023 roku nie stwierdzono istotnych zagrożeń w funkcjonowaniu środowiska przyrodniczego badanych zlewni. Wśród naturalnych zjawisk ekstremalnych potencjalnie przekształcających środowisko przyrodnicze badanych geosystemów wyróżnić można występowanie suszy meteorologicznej w dziesięciu monitorowanych zlewniach (Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie, Poznań-Morasko, Kampinos, Łysogóry, Pogórze Karpackie i Beskid Niski). Jednakże okresy bezopadowe nie spowodowały w większości badanych zlewni istotnych dla funkcjonowania środowiska przyrodniczego zmian. Efektem tych zdarzeń był m.in. okresowy zanik odpływu fluwialnego w zlewniach: Lewińskiej Strugi, Strugi Toruńskiej, Różanego Strumienia i Kanału Olszowieckiego.

Istotna dla zachowania i oceny walorów przyrodniczych geosystemów Polski była realizacja w 2023 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 geosystemów). Wartościowanie środowiska przyrodniczego w zlewniach ZMŚP pozwoliło na wypracowanie metodyki wyceny zasobów środowiska przyrodniczego w różnych geosystemach Polski oraz określenie potencjału środowiskowego badanych geosystemów.

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 geoeosystemów 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  $0,32^{\circ}\text{C}/10$  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 w Polsce. Inicjatywa ta jest

z powodzeniem realizowana, co pomaga w przygotowaniu specjalistów w zakresie monitoringu środowiska przyrodniczego.

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 międzynarodowej.

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 2023 roku na tle wielolecia przedstawiono w raportach Stacji Bazowych ZMŚP, które stanowią załącznik do niniejszego opracowania.

## LITERATURA

- Abbaspour K.C., Johnson A., Van Genuchten M.Th., 2004: Estimating uncertain flow and transport parameters using a sequential uncertainty fitting procedure. *Vadose Zone Journal*, 3(4): 1340-1352.
- Abbaspour K.C., Vejdani M., Haghghat S., 2007: SWAT-CUP: Calibration and uncertainty programs for SWAT. [W:] MODSIM 2007 International Congress on Modelling and Simulation, L. Oxley, D. Kulasiri (red.), Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, 1596-1602
- Awłasiewicz W., 1953: Sposób badania odpływu rzek przy pomocy mapy parowania. *Gospodarka Wodna* 13(6): 202-205.
- Awłasiewicz W., 1953: Sposób badania odpływu rzek przy pomocy mapy parowania. *Gospodarka Wodna* 13(6), 202-205.
- Chmiel J., 2023: Struktura i dynamika szaty roślinnej. Sprawozdanie z realizacji I etapu umowy GIOŚ/ZP/139/2023/DMS/NFOŚiGW pt. „Realizacja programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (ZMŚP) – nadzór merytoryczny oraz przeprowadzenie badań w latach 2023-2025”,. Poznań, maszynopis
- Chmiel J., Celka Z., Jackowiak B., 2021: Program J2 Struktura i dynamika szaty roślinnej (powierzchnie stałe), str. 260-283. [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: 260-283.
- Czyryca P., 2017: Zagrożenie inwazyjnymi gatunkami roślin obcego pochodzenia w zlewni Jeziora Gardno (Woliński Park Narodowy). *Przegląd Przyrodniczy* XXVIII 3: 18-28.
- Degórska A., Białoskórska U., Bratkowski J., Marcinkowski M., Prządka Z., Skotak K., Syrzycki M., Typiak-Nowak D., Ułańczyk R., 2024: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Puszcza Borecka w 2023 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., 2023: Hydrobiologia rzek – makrofity i ocena hydromorfologiczna koryta rzecznego. Sprawozdanie z realizacji I 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., Bochenek W., Hildebrandt K., Jankowski M., Nowak M., Pius B., Rasała Ł., Rutkowski L., Sobota I., Sulik S., 2024: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Pojezierze Chełmińskie w 2023 roku. Toruń, maszynopis.
- Kijowska-Strugała M., Bochenek W., 2024: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Beskid Niski w 2023 roku. Szymbark, maszynopis.
- Klimek M., Bochenek W., Bojarczuk A., Krzaklewski P., Michno A., Piątek D., Rajwa-Kuligiewicz A., Siwek J., Stachurska-Swakoń A., Święchowicz J., Szymański W., 2024: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Pogórze Karpackie w 2023 roku. Łazy, maszynopis.
- Kolander R., 1999: Stan geosystemów Polski w 1998 roku.  
[http://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport\\_1998.pdf](http://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_1998.pdf)
- Kostrzewski A., 1993: Geosystem obszarów nizinnych. Koncepcja metodologiczna. [W:] A. Kostrzewski (red.), *Geosystem 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 geosystemów 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 geosystemów 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., 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., 2024: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Łysogóry w 2023 roku. Kielce, maszynopis.
- Krakowski K., Dobrowolski M., Stanek M., Przewoźnik L., Rachwalska P., 2024: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Karkonosze w 2023 roku. Jelenia Góra, maszynopis.
- Kruszyk R., 2003: Stan geosystemów Polski w 2002 roku.  
[https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport\\_2002.pdf](https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2002.pdf)
- Kruszyk R., 2004: Stan geosystemów Polski w roku 2003.  
[https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport\\_2003.pdf](https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2003.pdf)
- Kruszyk R., 2005: Stan geosystemów Polski w roku 2004.  
[https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport\\_2004.pdf](https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2004.pdf)
- Kruszyk R., 2006: Stan geosystemów Polski w roku 2005.  
[https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport\\_2005.pdf](https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2005.pdf)
- Kruszyk R., 2009: Raport o stanie geosystemów Polski w roku 2008.  
[https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport\\_2008.pdf](https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2008.pdf)
- Kruszyk R., 2010: Stan geosystemów Polski w roku 2009.  
[https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport\\_2009.pdf](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 geosystemów Polski. IX Sympozjum ZMŚP, Bibl. Monit. Środ., Warszawa: 113-119.
- Lupa P., 2023: Ocena usług geosystemów. Sprawozdanie z realizacji I etapu umowy GIOŚ/ZP/139/2023/DMS/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., 2024: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Wigry w 2023 roku. Krzywe, maszynopis.
- Majewski M., Kostrzewski A., 2019: Stan geosystemów Polski w roku 2018.  
[https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/Raport\\_2018.pdf](https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/Raport_2018.pdf)
- Majewski M., Kostrzewski A., 2020: Stan geosystemów Polski w roku 2019.  
[https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/Raport\\_2019.pdf](https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/Raport_2019.pdf)
- Majewski M., Kostrzewski A., 2021: Stan geosystemów Polski w roku 2020.  
[https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2021/11/Raport\\_2020.pdf](https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2021/11/Raport_2020.pdf)
- Majewski M., Kostrzewski A., 2022: Stan geosystemów Polski w roku 2021.  
[https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2022/09/Raport\\_2021.pdf](https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2022/09/Raport_2021.pdf)



- Majewski M., Kostrzewski A., 2023: Stan geoeosystemów Polski w roku 2022.  
[https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2024/02/Raport\\_2022.pdf](https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2024/02/Raport_2022.pdf)
- Major M., 2007: Stan geoeosystemów Polski w roku 2006.  
[https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport\\_2006.pdf](https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2006.pdf)
- Major M., 2008: Stan geoeosystemów Polski w roku 2007.  
[https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport\\_2007.pdf](https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2007.pdf)
- Major M., Chudzińska M., Fabjańska W., Kolendowicz L., Kruszyk R., Majewski M., Marciniak M., Okońska M., Półrolniczak M., Stefaniak M., 2024: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Poznań-Morasko w 2023 roku. Poznań, maszynopis.
- Manual for Integrated Monitoring, 1998: Finnish Environment Institute, ICP IM Programme Centre, Helsinki, Finland. [www.syke.fi/nature/icpim](http://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 geoeosystemów Polski w świetle pomiarów monitoringowych w roku hydrologicznym 1999.  
[http://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport\\_1999.pdf](http://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_1999.pdf)
- Mazurek M., Zwoliński Z., 2001: Stan geoeosystemów Polski w roku 2000.  
[https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport\\_2000.pdf](https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2000.pdf)
- Mazurek M., Zwoliński Z., 2002: Stan geoeosystemów Polski w roku 2001.  
[https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport\\_2001.pdf](https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2001.pdf)
- Michalska G.M., Szpikowski J., 2000: Obieg wody w geoeosystemie zlewni górnej Parsęty w roku hydrologicznym 2005. [W:] Funkcjonowanie i monitoring geoeosystemów 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., 2024: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Kampinos w 2023 roku. Leszno k. Warszawy – Izabelin, maszynopis.
- 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., Grzegorzczak 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.
- Sorooshian S., Gupta V.K., 1995: Model calibration. In: *Computers models of watershed hydrology*. [W:] V.P. Singh (red.), Highlands Ranch, CO. Water Resources Publication: 23-63.
- Stach A., 2009: Analiza struktury przestrzennej i czasoprzestrzennej maksymalnych opadów dobowych w Polsce w latach 1956-1980. Wyd. Nauk, UAM, Poznań, 323.
- Stachyra P, Bochenek W., Maciejewski Z., Radliński B., Sokołowski A., Szpyra E., 2024: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Roztocze w 2023 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., 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 geosystemów 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 geosystemów 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 geosystemów 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](https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2010b.pdf)
- Szpikowski J., 2012: Stan geosystemów 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](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., 2024: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Parsęta w 2023 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:] *Plejstoceny i holoceny przemiany środowiska przyrodniczego Polski*, K. Borówka (Red.), US, INoM, PTG, Szczecin: 58-62.

- Tylkowski J., 2013: Stan geoeosystemów 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](https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2012.pdf)
- Tylkowski J., 2014: Stan geoeosystemów 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](https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2013.pdf)
- Tylkowski J., 2015a: Stan geoeosystemów 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](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 geoeosystemów 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](https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2015.pdf)
- Tylkowski J., Czyryca P., Winowski M., Kostrzewski A., Bochenek W., 2024: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Wolin w 2023 roku. Biała Góra, maszynopis.
- Tylkowski J., Kostrzewski A., 2017: Stan geoeosystemów 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](https://centrumzmsp.home.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2016.pdf)
- Tylkowski J., Kostrzewski A., 2018: Stan geoeosystemów 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](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 geoeosystemów Polski w roku hydrologicznym 1996. [https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport\\_1996.pdf](https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_1996.pdf)
- Zwoliński Z., 1998: Geoindykatory w badaniach współczesnej dynamiki geoeosystemów. [W:] A. Kostrzewski (red.), *Zintegrowany monitoring środowiska przyrodniczego, Funkcjonowanie i tendencje rozwoju geoeosystemów 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 makroregionach 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 2023 roku hydrologicznym na tle wielolecia	37
Ryc. 7. Istotne statystycznie trendy wzrostu temperatury powietrza w Stacjach Bazowych ZMŚP – Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Pojezierze Chełmińskie, Kampinos, Łysogóry, Pogórze Karpackie i Beskid Niski	37
Ryc. 8. Sumy roczne opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2023 roku hydrologicznym na tle wielolecia	38
Ryc. 9. Przebieg miesięczny temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2023 roku na tle wielolecia	41
Ryc. 10. Przebieg zmian liczby dni gorących ( $T_{max}>25^{\circ}C$ ) w latach 1994-2023 w Stacjach Bazowych ZMŚP dysponujących przynajmniej 10-letnim okresem pomiarowym	43
Ryc. 11. Przebieg zmian liczby dni upalnych ( $T_{max}>30^{\circ}C$ ) w latach 1994-2023 w Stacjach Bazowych ZMŚP dysponujących przynajmniej 10-letnim okresem pomiarowym	43
Ryc. 12. Przebieg zmian liczby dni mroźnych ( $T_{max}<0^{\circ}C$ ) w latach 1994-2023 w Stacjach Bazowych ZMŚP dysponujących przynajmniej 10-letnim okresem pomiarowym	44
Ryc. 13. Przebieg zmian liczby dni bardzo mroźnych ( $T_{min}<-10^{\circ}C$ ) w latach 1994-2023 w Stacjach Bazowych ZMŚP dysponujących przynajmniej 10-letnim okresem pomiarowym	44
Ryc. 14. Zmienność czasowa współczynników miesięcznych przepływu w roku hydrologicznym 2023 na tle zmienności czasowej wartości współczynników miesięcznych przepływu z wielolecia	64
Ryc. 15. Klasyfikacja pH i SEC opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2023 roku (dla opadu całkowitego)	69
Ryc. 16. Zmienność czasowa SEC opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2023 roku hydrologicznym na tle wielolecia	70
Ryc. 17. Istotne statystycznie trendy spadku SEC w opadach atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP – Puszcza Borecka, Pojezierze Chełmińskie i Kampinos	71
Ryc. 18. Zmienność czasowa kwasowości opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2023 roku hydrologicznym na tle wielolecia	72
Ryc. 19. Istotne statystycznie trendy wzrostu odczynu (spadku zakwaszenia) opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP – Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Kampinos, Roztocze i Beskid Niski	73
Ryc. 20. Zmiany wskaźnika czynników kwasogennych w zakwaszaniu wód opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP w wieloleciu 1994-2023	75
Ryc. 21. Deficyt odpływu wody i bilans substancji rozpuszczonych w zlewniach ZMŚP w latach 2015-2023. S – deficyt odpływu, B – bilans substancji rozpuszczonych	93
Ryc. 22. Przebieg termicznych pór roku w zlewniach badawczych ZMŚP w 2023 roku	96
Ryc. 23. Czas trwania termicznych pór roku w zlewniach badawczych ZMŚP w 2023 roku	97
Ryc. 24. Zmienność czasu trwania okresu wegetacyjnego w Stacjach Bazowych ZMŚP dysponujących ponad 5-letnim okresem pomiarowym	100
Ryc. 25. Średnie roczne stężenia NO <sub>2</sub> w zlewniach badawczych ZMŚP w latach 2003-2023 (metoda pasywna)	102
Ryc. 26. Średnie roczne stężenia SO <sub>2</sub> w zlewniach badawczych ZMŚP w latach 2003-2023 (metoda pasywna)	103
Ryc. 27. Średnie miesięczne stężenia NO <sub>2</sub> w 2023 roku w zlewniach badawczych ZMŚP (metoda pasywna)	103
Ryc. 28. Średnie miesięczne stężenia SO <sub>2</sub> w 2023 roku w zlewniach badawczych ZMŚP (metoda pasywna)	104
Ryc. 29. Średnie miesięczne natężenie przepływu obserwowanego i symulowanego w okresie kalibracji w zlewni Bystrzanki (Kijowska-Strugała i in. 2024)	123
Ryc. 30. Prognoza zmian miesięcznej warstwy odpływu ze zlewni górnej Parsęty w latach 2021-2030, 2031-2040 i 2041-2050 w porównaniu z referencyjnym wieloleciem 2011-2020 (Szpikowski i in. 2024)	124

## 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 2023 r.	24
Tab. 4. Programy badawczo-pomiarowe ZMŚP zrealizowane w Stacjach Bazowych ZMŚP przez Ekspertów ZMŚP w 2023 roku	25
Tab. 5. Zakres programów i parametrów pomiarowych ZMŚP wykonanych w Stacjach Bazowych w 2023 roku	26
Tab. 6. Programy specjalistyczne realizowane w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2023 roku	33
Tab. 7. Średnia temperatura powietrza i suma opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2023 roku	35
Tab. 8. Liczba dni charakterystycznych temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2023 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 2023 roku	52
Tab. 14. Wartości maksymalne i minimalne temperatur w roku hydrologicznym 2023 w Stacjach Bazowych ZMŚP	53
Tab. 15. Wskaźnik miesięcznych zmian retencji RM dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2023 roku hydrologicznym	56
Tab. 16. Wskaźnik zagrożenia niżówką hydrogeologiczną kn dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2023 roku hydrologicznym	58
Tab. 17. Miesięczne średnie wartości współczynnika odpływu [-] i odpływu jednostkowego oraz ekstremalne dobowe odpływy jednostkowe [ $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ] w 2023 roku hydrologicznym w Stacjach Bazowych ZMŚP	59
Tab. 18. Miesięczne wysokości warstwy opadu i odpływu [mm] oraz skróconego bilansu wodnego [mm] w 2023 roku hydrologicznym w zlewniach ZMŚP	65
Tab. 19. Klasyfikacja przewodności elektrolitycznej wód opadowych (wg Jansena i in. 1988)	68
Tab. 20. Klasyfikacja odczynu wód opadowych (wg Jansena i in. 1988)	68
Tab. 21. Średnie stężenie substancji rozpuszczonych w wodach opadowych w zlewniach ZMŚP w 2023 roku	77
Tab. 22. Klasy jakości wody i stan chemiczny wód podziemnych w zlewniach ZMŚP w 2023 roku wg wybranych elementów fizykochemicznych	80
Tab. 23. Średnie stężenie substancji rozpuszczonych w wodach rzecznych w zlewniach ZMŚP w 2023 roku	82
Tab. 24. Klasyfikacja wybranych elementów fizykochemicznych wód płynących w zlewniach ZMŚP w 2023 roku wg Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021	85
Tab. 25. Jakość wód stojących w 2023 roku wg wybranych elementów fizykochemicznych (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021)	86
Tab. 26. Wskaźniki eutrofizacji rzek w Stacjach ZMŚP w 2023 roku	88
Tab. 27. Wskaźniki eutrofizacji jezior w Stacjach ZMŚP w 2023 roku	88
Tab. 28. Bilans jonów denudacyjnych i biogenicznych w zlewniach badawczych ZMŚP w 2023 roku	92
Tab. 29. Sezon wegetacyjny w zlewniach badawczych ZMŚP w 2023 roku	98

Tab. 30. Zanieczyszczenie powietrza – średnie roczne stężenie SO <sub>2</sub> i NO <sub>2</sub> [μg·m <sup>-3</sup> ] w zlewniach badawczych ZMŚP w 2023 roku	101
Tab. 31. Średnia defoliacja w zlewniach ZMŚP w 2023 roku hydrologicznym	105
Tab. 32. Występowanie roślinnych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia w zlewniach ZMŚP w latach 2016-2023	106
Tab. 33. Wartości wskaźnika MIR, RHS i stan geoekologiczny koryt rzecznych w zlewniach ZMŚP (2023)	109
Tab. 34. Liczebność ogólna gatunków oraz udział gatunków starych lasów na stałych powierzchniach pomiarowych w zlewniach ZMŚP w 2023 roku hydrologicznym	111
Tab. 35. Potencjał środowiskowy w zlewniach ZMŚP na podstawie programu oceny usług geoekosystemów (2023)	114
Tab. 36. Stan geoekologiczny zlewni badawczych ZMŚP w 2023 roku (na podstawie programów o rocznym i trzyletnim interwale czasowym)	117
Tab. 37. Statystyki oceny symulowanych średnich miesięcznych wartości przepływu	120
Tab. 38. Przebieg średnich rocznych obserwowanych i symulowanych (po kalibracji) sum odpływu ze zlewni, ładunków azotu azotanowego i fosforu ogólnego w zlewniach ZMŚP	122
Tab. 39. Zmiany średnich rocznych sum odpływu ze zlewni ZMŚP dla okresów: 2021-2030, 2031-2040 i 2041-2050 w odniesieniu do wielolecia 2011-2020 w oparciu o scenariusze zmian klimatu w Polsce (KLIMADA 2.0)	123