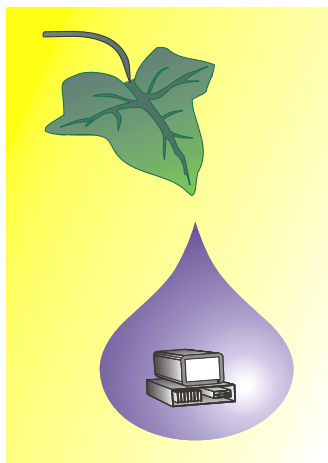




Dofinansowano ze środków
Narodowego Funduszu Ochrony
Środowiska i Gospodarki Wodnej

**Sprawozdanie z realizacji I 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 2022 roku**

**Poznań
2023**

Mikołaj Majewski

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Instytut Geoekologii i Geoinformacji, Pracownia Monitoringu Środowiska Przyrodniczego

Centrum Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego

Stacja Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego Poznań-Morasko

Stacja Bazowa ZMŚP Poznań-Morasko

majewski@amu.edu.pl

Andrzej Kostrzewski

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Instytut Geoekologii i Geoinformacji

Centrum Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego

anko@amu.edu.pl

Stan geoekosystemów Polski w 2022 roku
na podstawie badań
Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego

Poznań 2023

SPIS TREŚCI

1. WPROWADZENIE	4
2. ZLEWNIE BADAWCZE ZMŚP	9
3. ZLEWNIE BADAWCZE ZMŚP A OBSZARY SZCZEGÓLNIE CENNE PRZYRODNICZO: PARKI NARODOWE I SIEĆ NATURA 2000	17
4. PROGRAM BADAWCZO-POMIAROWY STACJI BAZOWYCH ZMŚP	24
5. GEOINDYKATORY OBIEGU WODY W EKSPERYMENTALNYCH GEOEKOSYSTEMACH ZLEWNI RZECZNYCH I JEZIORNYCH ZMŚP	34
5.1. Warunki pogodowe	34
5.2. Wody podziemne	54
5.3. Wody powierzchniowe	58
5.4. Skrócony bilans wodny	63
6. GEOINDYKATORY JAKOŚCI WODY W EKSPERYMENTALNYCH GEOEKOSYSTEMACH ZLEWNI RZECZNYCH I JEZIORNYCH ZMŚP	66
6.1. Opady atmosferyczne	66
6.2. Wody podziemne	77
6.3. Wody powierzchniowe	79
6.4. Bilans jonów denudacyjnych i biogennych	87
7. WPŁYW UWARUNKOWAŃ ABIOTYCZNYCH NA PRZYRODĘ OŻYWIONĄ W EKSPERYMENTALNYCH GEOEKOSYSTEMACH ZLEWNI RZECZNYCH I JEZIORNYCH ZMŚP	93
7.1. Termiczne pory roku	93
7.2. Sezon wegetacyjny	97
7.3. Zanieczyszczenie powietrza	100
7.4. Uszkodzenia drzew i drzewostanów	103
7.5. Roślinne gatunki inwazyjne obcego pochodzenia	105
7.6. Zmiany pokrycia terenu i użytkowanie ziemi	107
8. STAN GEOEKOLOGICZNY W EKSPERYMENTALNYCH GEOEKOSYSTEMACH ZLEWNI RZECZNYCH I JEZIORNYCH ZMŚP	110
8.1. Stan geoekologiczny	110
9. PODSUMOWANIE STANU EKSPERYMENTALNYCH GEOEKOSYSTEMÓW ZLEWNI RZECZNYCH I JEZIORNYCH POLSKI W 2022 ROKU	114
LITERATURA	123
Spis rycin	128
Spis tabel	129

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 geoekosystemów Polski”. W pracy przedstawiono stan geoekosystemów Polski w 2022 roku hydrologicznym, z odniesieniem do wieloletniego (1994-2021) okresu badań w ramach Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (ZMŚP). Takie podejście badawcze umożliwia określenie skali przemian środowiska przyrodniczego monitorowanych geoekosystemów eksperymentalnych zlewni rzecznych i jeziornych, w powiązaniu z obserwowanymi zmianami klimatu i różnymi przejawami antropopresji.

Program badawczo-pomiarowy ZMŚP w 2022 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 2022 rok hydrologiczny (od 1 listopada 2021 roku do 31 października 2022 roku), w których przedstawiono funkcjonowanie geoekosystemów (zlewni) eksperymentalnych, uznanych za reprezentatywne w wybranych strefach krajobrazowych Polski (tj. Degórska i in. 2023; Kejna i in. 2023; Kijowska-Strugała, Bochenek 2023; Klimek i in. 2023; Kozłowski i in. 2023; Krakowski i in. 2023; Mackiewicz i in. 2023; Major i in. 2022; Olszewski i in. 2023; Stachyra i in. 2023; Szpikowski i in. 2023; Tylkowski i in. 2023). W opracowaniu wykorzystano także dane zgromadzone w Centralnej Bazie Danych ZMŚP za lata hydrologiczne 1994-2022. Szczególnie przydatne w prezentowanych studiach porównawczych było syntetyczne opracowanie dotyczące funkcjonowania i przemian środowiska przyrodniczego wybranych geoekosystemów Polski w oparciu o realizację programu ZMŚP w latach 1994-2015 (Kostrzewski, Majewski 2018). Powyższe opracowanie umożliwiło odniesienie stanu środowiska przyrodniczego monitorowanych geoekosystemów 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 geoeosystemów ZMŚP na terenie Polski (Stacje Bazowe: Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie, Kampinos, Łysogóry, Roztocze i Beskid Niski) należy do ww. programu europejskiego. 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 geoeosystemów Polski w 2022 roku na tle wielolecia 1994-2021. 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 geoeosystemach, 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 geoeosystemu, m.in. wzrost stężenia metali ciężkich i siarki w porostach i mchach.

Koncepcja geoindykatorów zaproponowana przez Międzynarodową Unię Geologiczną (IUNG) w roku 1992 stanowiła próbę ujednolicenia i uporządkowania różnorodnych wskaźników stosowanych szeroko w naukach geograficznych, a szczególnie w monitoringu i ochronie środowiska (Zwoliński 1998). W niniejszym opracowaniu wykorzystano kilka

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

W oparciu o założenia metodologiczne i metodyczne ZMŚP sporządzano coroczne opracowania syntetyczne o stanie geoekosystemów Polski (Kruszyk 2003, 2004, 2005, 2006, 2009, 2010; Major 2007, 2008; Szpikowski 2011, 2012; Tylkowski 2013, 2014, 2015a, 2016; Tylkowski, Kostrzewski 2017, 2018; Majewski, Kostrzewski 2019, 2020, 2021, 2022). 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 2022 rok, będący przedmiotem niniejszego opracowania, podobnie jak sprawozdania za lata 2011-2021 został sporządzony w oparciu o wybrane geowskaźniki ilościowe i jakościowe obiegu wody wprowadzone przez Szpikowskiego (2011) i uzupełnione przez Tylkowskiego (2016). Ponadto w opracowaniu wskazano trendy zmian w środowisku przyrodniczym badanych zlewni od 1994 roku, ze szczególnym uwzględnieniem zdarzeń ekstremalnych. Przedstawiono również stan środowiska wodnego w nawiązaniu do wybranych parametrów fizykochemicznych, uwzględnionych np. w Ramowej Dyrektywie Wodnej.

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

Obecny zasób zebranych informacji i danych ZMŚP pozwala 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 1994-2022. 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 2022 roku. Szczegółowe informacje o programie ZMŚP znajdują się na stronie internetowej <http://zmsp.gios.gov.pl>.

2. ZLEWNIE BADAWCZE ZMŚP

Podstawowym obiektem badań w sieci Stacji Bazowych Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego są reprezentatywne dla poszczególnych regionów geograficznych eksperymentalne zlewnie rzeczne lub jeziorne. Przyjęta koncepcja funkcjonowania zlewni rzecznej, traktowanej jako geoekosystem (Kostrzewski 1993), określa indywidualność programu ZMŚP w porównaniu z branżowymi programami monitoringu. W poszczególnych zlewniach i ich otulinach zlokalizowane są powierzchnie testowe i profile badawcze oraz stanowiska pomiarowe. W 2022 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 (Kondracki 2000, 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). Nienaturalny i średnio zalesiony typ pokrycia terenu występuje w zlewni Kanału Olszowieckiego, natomiast w zlewniach Wieńca, Starej Rzeki i Bystrzanki dominuje pokrycie terenu w formie rolniczej i średnio nienaturalnej. Największym stopniem antropogenicznej przemiany pokrycia terenu cechują się zlewnie Strugi Toruńskiej oraz Czarnej Hańczy, które zakwalifikowano jako nienaturalne bądź rolnicze. Zlewnie Różanego Strumienia, górnej Parsęty i jeziora Łękuk charakteryzują się dużym zróżnicowaniem form pokrycia terenu, bez dominacji określonego typu.

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

Stacja ZMŚP	Zlewnia	Strefa krajobrazowa	Dominująca forma pokrycia terenu	Rok włączenia do sieci Stacji Bazowych ZMŚP
Wolin	jezioro Gardno	Morze Bałtyckie	leśna i średnio nienaturalna	2010
Parsęta	górna Parsęta	Pojezierza	zróżnicowana	1994
Puszcza Borecka	jezioro Łękuk	Pojezierza	zróżnicowana	1994
Wigry	Czarna Hańcza	Pojezierza	rolnicza	1994
Pojezierze Chełmińskie	Struga Toruńska	Pojezierza	rolnicza	1994
Poznań-Morasko	Różany Strumień	Pojezierza	zróżnicowana	2016
Kampinos	Kanał Olszowiecki	Niziny	nienaturalna i średnio leśna	1994
Łysogóry	Wieniec	Wyżyny	rolnicza i średnio nienaturalna	1994
Roztocze	Świerszcz	Wyżyny	leśna	2012
Pogórze Karpackie	Stara 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 km². Do największych powierzchniowo geosystemów należą zlewnie: górnej Parsęty (74,0 km²), Świerszcza (46,5 km²) i Strugi Toruńskiej (35,2 km²). Z kolei najmniejsze w sieci ZMŚP są zlewnie Wieńca (1,3 km²) i jeziora Gardno (2,4 km²). 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 makroregionach 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 – Wewnętrzne 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; PARSETA – 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 ²]	Zlewnia/Dorzecze	Mezoregion fizycznogeograficzny	Makroregion fizycznogeograficzny
Wolin	jezioro Gardno	2,4	Morze Bałtyckie	Uznam i Wolin	Pobrzeże Szczecińskie
Parsęta	Parsęta	74,0	Parsęta	Pojezierze Drawskie	Pojezierze Zachodniopomorskie
Puszcza Borecka	jezioro Łękuk	13,3	Węgorapa/Pregoła	Pojezierze Elckie	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 Rzeką	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 młodogłacjalna Niżu Polskiego (Stacje Bazowe: Wolin, Parsęta, Poznań-Morasko), strefa górską (Stacja Bazowa Karkonosze).
2. Transekt środkowy: strefa młodogłacjalna Niżu Polskiego (Stacja Bazowa Pojezierze Chełmińskie), strefa starogłacjalna Niżu Polskiego (Stacja Bazowa Kampinos), strefa wyżynna (Stacja Bazowa Łysogóry), strefa górską (Stacje Bazowe: Pogórze Karpackie i Beskid Niski).
3. Transekt wschodni: strefa młodogłacjalna Niżu Polskiego (Stacje Bazowe: Wigry i Puszcza Borecka), strefa wyżynna (Stacja Bazowa Roztocze).

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

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

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

Zlewnia jeziora Gardno (Stacja Bazowa Wolin) reprezentuje geosystem 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. 2023).

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. 2023).

Szczególną lokalizację w północnym pasie pojezierzy posiada Stacja Bazowa Puszcza Borecka, położona w strefie młodoglacjalnej z charakterystycznym zespołem form polodowcowych. Indywidualnością Stacji 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 Hańcy, 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. 2023).

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. 2023).

Zlewnia Rózanego Strumienia, będąca obiektem badań Stacji Bazowej Poznań-Morasko, reprezentuje typowy krajobraz młodoglacjalny i znajduje się w obrębie strefy marginalnej stadiału poznańskiego zlodowacenia bałtyckiego. Analizowany obszar

charakteryzuje się znacznymi deniwelacjami, przekraczającymi 100 m. Indywidualnością geograficzną badanej zlewni jest jej położenie w granicach aglomeracji miasta Poznania, co pozwala na uzyskanie danych charakteryzujących skalę i dynamikę przemian zlewni rzecznych w wyniku działalności człowieka. Środowisko przyrodnicze zlewni charakteryzuje się znacznymi przekształceniami będącymi rezultatem działalności człowieka. Do najważniejszych problemów środowiskowych istniejących na obszarze zlewni należy zaliczyć zagrożenie związane z zanieczyszczeniem wód powierzchniowych i podziemnych na skutek nieuporządkowanej gospodarki wodno-ściekowej (Major i in. 2023).

Krajobraz starogłacialny Polski centralnej reprezentowany jest przez zlewnię Kanału Olszowieckiego (Stacja Bazowa Kampinos), położoną w obrębie Puszczy Kampinoskiej, gdzie dominuje geosystem bagienno-łukowy 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. 2023).

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 hylo-, pedo- i hydrosfery (Kozłowski i in. 2023).

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

ukształtowane antropogenicznie, tworzące mozaikę zespołów roślinnych) (Stachyra i in. 2023).

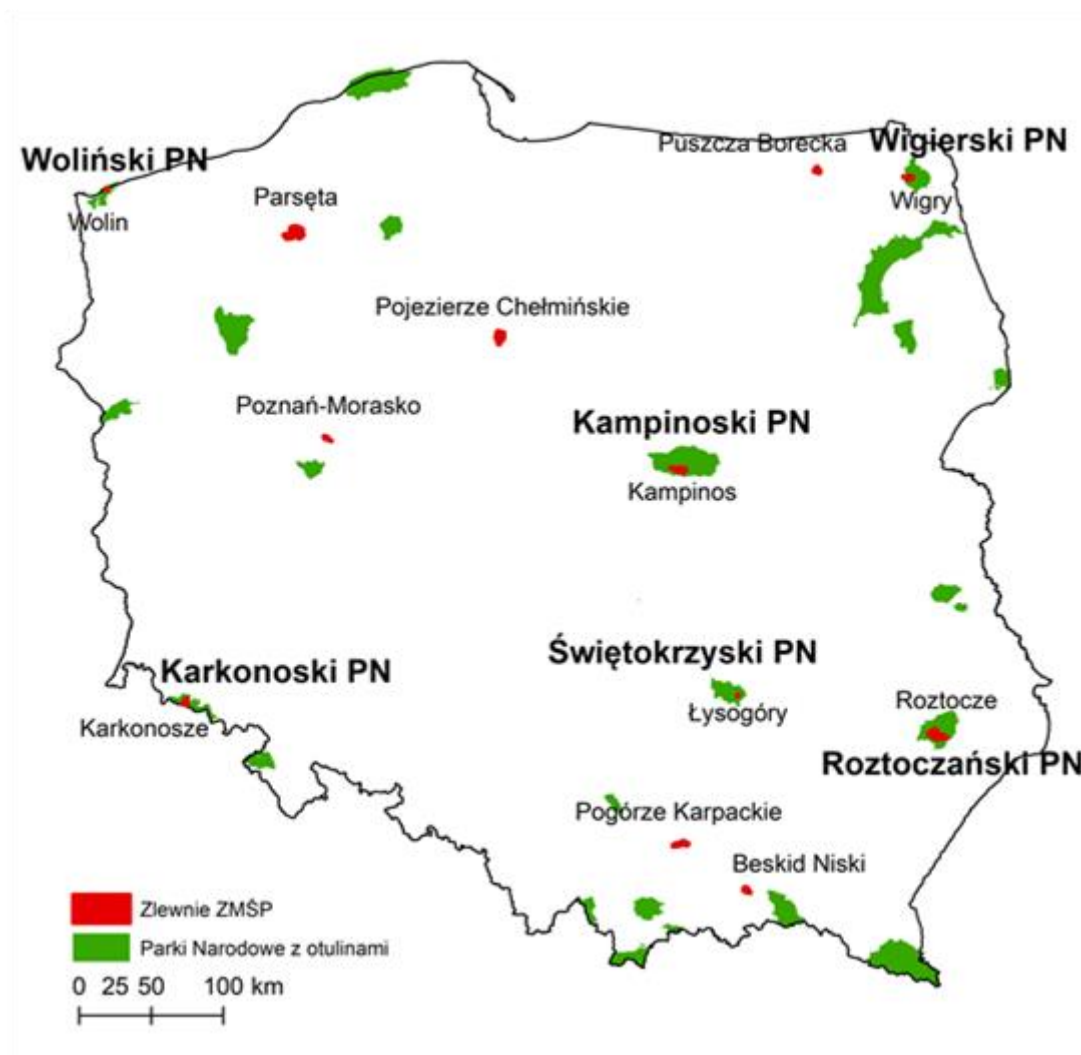
Stacja Bazowa Pogórze Karpackie, zlokalizowana w zlewni Starej Rzeki reprezentuje geoelement pogórzy karpackich: pogórze typu niskiego w północnej części zlewni oraz pogórze typu średniego w południowej. Cechą charakterystyczną zlewni jest dojrzała rzeźba fluwialno-denudacyjna. Główne doliny oddzielone 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. 2023).

Stacja Bazowa Beskid Niski, zlokalizowana w zlewni Bystrzanki, reprezentuje geoelement 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 2023).

Stacja Bazowa Karkonosze położona w zlewni Wrzosówki reprezentuje krajobraz gór średnich. W zlewni występuje duża różnorodność ekosystemów, siedlisk i zbiorowisk roślinnych, charakteryzujących się typową dla obszarów górskich piętrowością. Piętro regla dolnego porośnięte jest lasami o strukturze siedliskowej i gatunkowej typowej dla całego obszaru Sudetów. Należą do nich siedliska leśne m.in. kwaśnej buczyny sudeckiej oraz boru świerkowo-jodłowego, odtwarzane obecnie drogą restytucji jodły pospolitej. Zlokalizowane są tu cenne ekosystemy łąkowe. Regiel górny porasta górnoreglowa świerczyna sudecka, urozmaicona licznymi stokowymi torfowiskami przejściowymi. Zlewnia Wrzosówki jest reprezentatywna dla całego obszaru Karkonoszy i łączy w sobie elementy górskie oraz borealne (Krakowski i in. 2023).

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, Rózanego 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).

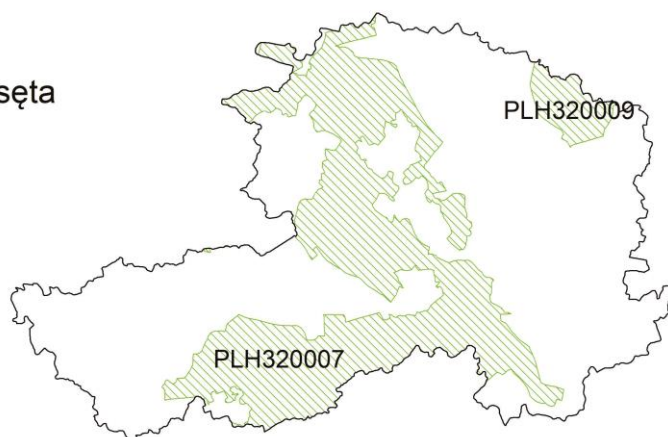
4. Zlewnia Czarnej Hańczy, objęta monitoringiem Stacji Bazowej Wigry, wchodzi w około 74,5% w skład specjalnych obszarów ochrony siedlisk sieci Natura 2000: *Ostoja Wigierska (PLH200004 – 68,5%)* i *Ostoja Augustowska (PLH200005 – 6%)*, jak również w 71% w skład obszaru specjalnej ochrony ptaków *Puszcza 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 otulinie. Zlewnia w 47% znajduje się w obrębie specjalnego obszaru ochrony siedlisk sieci Natura 2000 *Roztocze Środkowe PLH060017*. Ponadto zlewnia Świerszcza w całości znajduje się na obszarze specjalnej ochrony ptaków Natura 2000 *Roztocze PLB060012* (Ryc. 5).
8. Zlewnia Wrzosówki (Stacja Bazowa Karkonosze) położona jest w całości w Karkonoskim Parku Narodowym i jego otulinie oraz na obszarze Natura 2000: *Karkonosze PLC020001* (Ryc. 5).
9. W granicach zlewni Bystrzanki, monitorowanej przez Stację Bazową Beskid Niski, znajduje się bardzo mały fragment obszaru Natura 2000 *Wisłoka z dopływami PLH180052*.

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

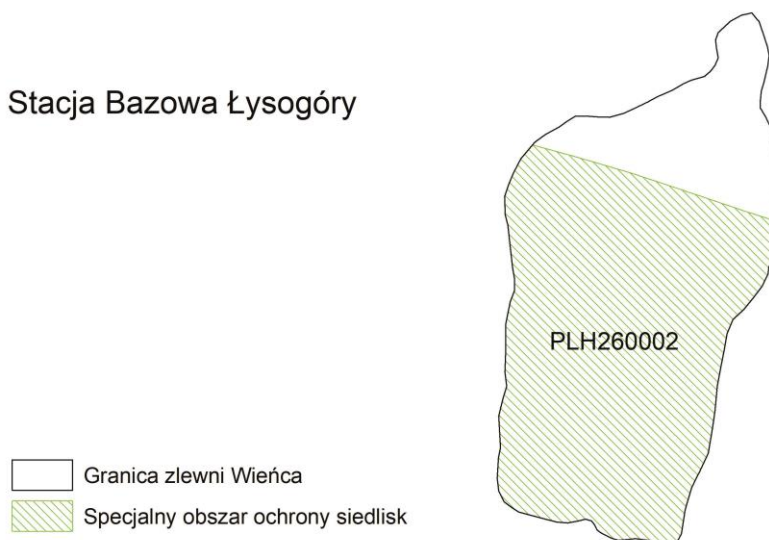
Stacja Bazowa Wigry

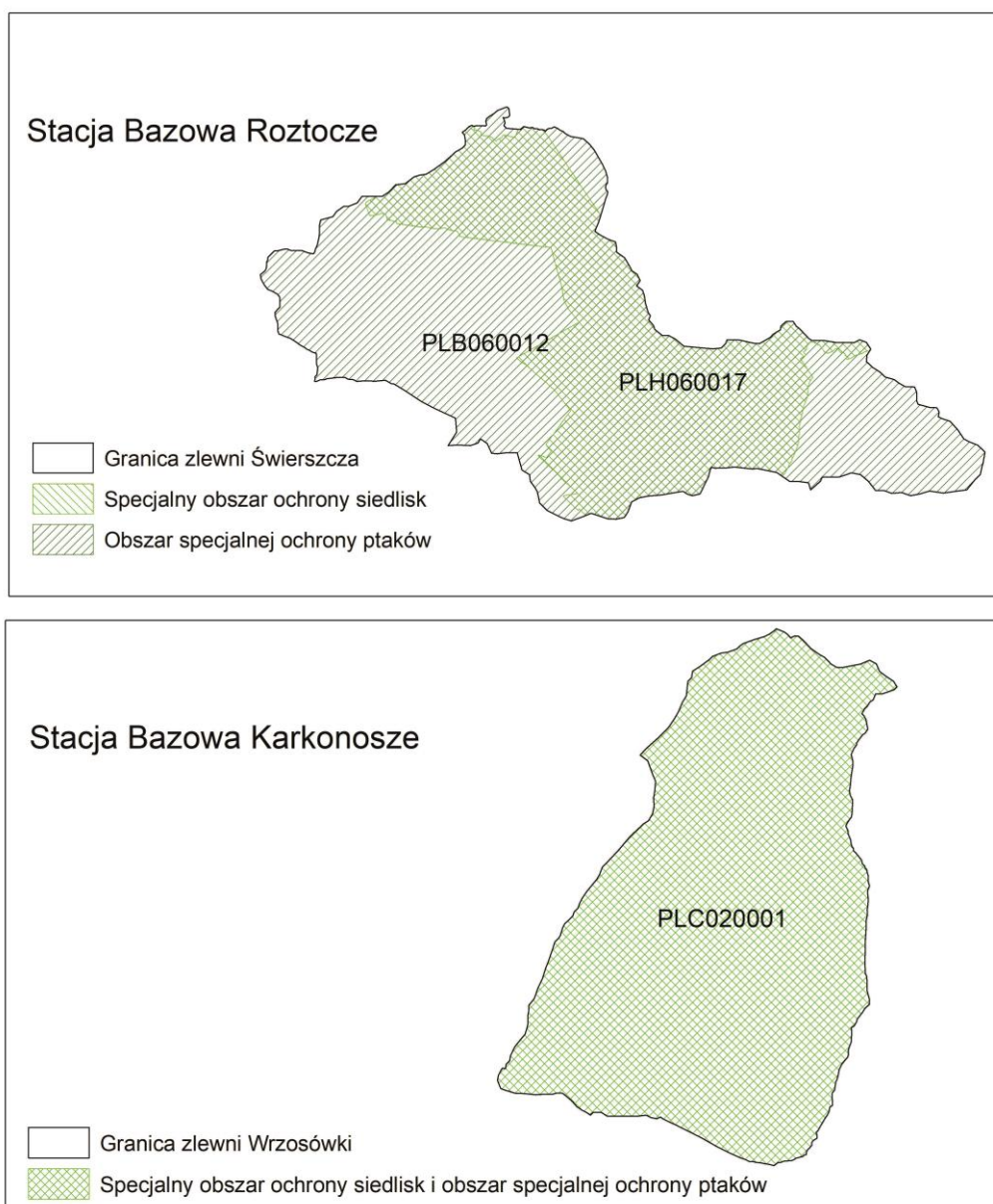


Stacja Bazowa Kampinos



Stacja Bazowa Łysogóry





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 metodyk opracowanych na zlecenie i opublikowanych przez GIOŚ (<https://siedliska.gios.gov.pl/publikacje-menu/przewodniki-metodyczne/dla-gatunkow-roslin>).

Monitoring ten jest wykonywany przez różne instytucje. W ramach państwowego monitoringu środowiska GIOŚ realizuje monitoring gatunków i siedlisk przyrodniczych, którego celem jest gromadzenie informacji pozwalających na określenie aktualnego stanu gatunków roślin i zwierząt (innych niż ptaki) oraz siedlisk przyrodniczych w kontekście zmian zachodzących na skutek różnego rodzaju antropogenicznych i naturalnych oddziaływań oraz stosowanych sposobów ochrony. 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 są mogą być wykorzystane do opisu czynników warunkujących stan siedlisk. Przykładowo, w przypadku siedliska 1230 Klify na wybrzeżu Bałtyku do fundamentalnych czynników warunkujących stan tego siedliska należą m.in. bardzo liczne procesy generowane m.in. warunkami hydrometeorologicznymi, jak erozja, w tym: wietrzna (deflacja, akumulacja), wodna (powierzchniowa, liniowa) i wodno-grawitacyjna (osuwiska, obrywy, osiadania, spełzywania, spływy) i są to parametry do opisu i oceny specyficznej struktury i funkcji siedliska przyrodniczego. Prowadzone w zlewniach badania posiadają ważne znaczenie dla osiągnięcia podstawowych celów projektu Natura 2000, zachowania dziedzictwa przyrodniczego Polski oraz kształtowania polityki zrównoważonego rozwoju (Herbich 2003).

4. PROGRAM BADAWCZO-POMIAROWY STACJI BAZOWYCH ZMŚP

W 2022 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 2022 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. W 2022 roku program C3 chemizm spływu po pniach po raz drugi był realizowany we wszystkich pozostałych 11 zlewniach. We wcześniejszych latach program ten był wykonywany jedynie na powierzchniach badawczych z dominacją drzewostanu liściastego. Program H2 wody powierzchniowe – jeziora wykonywany był w zlewniach zawierających zbiorniki jeziorne, tylko w stacjach położonych w strefie młodoglacjalnej Polski: Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka i Pojezierze Chełmińskie. W Stacji Puszcza Borecka ze względu na brak odpowiedniego cieku nie wykonywano programu H1 wody powierzchniowe – rzeki. Sześć

Stacji Bazowych (Puszcza Borecka, Pojezierze Chełmińskie, Poznań-Morasko, Kampinos, Beskid Niski, Karkonosze) zrealizowała po raz drugi, a pozostałe stacje po raz pierwszy program E1 – Gleby w zakresie przewidzianym do realizacji przez Stacje Bazowe (pomiar pH i przewodności). Ponadto, w 2022 roku, stacje wykonały analizę zmian użytkowania ziemi i pokrycia terenu w zlewniach ZMŚP, w ramach programu analitycznego, który realizowany jest co trzy lata.

W tabeli 4. przedstawiono programy i parametry pomiarowe zrealizowane w 2022 roku przez Stacje ZMŚP, zarówno w ramach zakresu obligatoryjnego jak i rozszerzonego. Zrealizowano 14 programów ZMŚP, wśród których badano 131 parametrów podstawowych i 46 parametrów rozszerzonych.

Tab. 4. Zakres programów i parametrów pomiarowych ZMŚP wykonanych w Stacjach Bazowych w 2022 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 dobową	Wszystkie stacje
	temperatura powietrza na 2 m	TA_D	pomiar ciągły/średnia dobową	
	minimalna temperatura powietrza na 2 m	TA_N	pomiar ciągły/minimalna dobową	
	maksymalna temperatura powietrza na 2 m	TA_X	pomiar ciągły/maksymalna dobową	
	temperatura minimalna powietrza przy powierzchni gruntu (na 5 cm nad gruntem)	TA_G	pomiar ciągły/minimalna dobową	
	temperatura gruntu na głębokościach 5, 10, 20 i 50 cm	T_S	pomiar ciągły/średnia dobową	
	wilgotność względna powietrza na 2 m	HH	pomiar ciągły/średnia dobową	
	wysokość opadów na 1 m	RR_T	1/dobę/suma	
	prędkość wiatru na 10 m	WIV	pomiar ciągły/średnia dobową	
	kierunek wiatru na 10 m	WID	pomiar ciągły/wartość modalna	
	grubość pokrywy śnieżnej	SC_H	1/dobę	
	uśłonecznienie	SOL_P	pomiar ciągły/suma dobową	
	natężenie promieniowania słonecznego	SOL_T_S	pomiar ciągły/średnia dobową	
	Zakres rozszerzony			
czas trwania opadów	RR_P	rejestracja ciągła	Puszcza Borecka	

Program	Parametr	Kod parametru	Częstotliwość pomiarów/ czas uśredniania	Status Uwagi	
ZANIECZYSZCZENIE POWIETRZA B1	Zakres obligatoryjny				
	siarka w dwutlenku siarki S-SO ₂ (oznaczana metodą pasywną)	SO2S_P	1/miesiąc	Wszystkie stacje	
	azot w dwutlenku azotu N-NO ₂ (oznaczana metodą pasywną)	NDON_P			
	Zakres rozszerzony				
	siarka w dwutlenku siarki S-SO ₂ (metoda manualna lub automatyczna)	SO2S	1/dobę	Puszcza Borecka, Pojezierze Chełmińskie, Kampinos, Beskid Niski	
	azot w dwutlenku azotu N-NO ₂ (metoda manualna lub automatyczna)	NDON		Puszcza Borecka	
	ozon O ₃	O3			
	azot azotanowy [HNO ₃ (g)+NO ₃ (a)]	NO3N_T			
	azot amonowy [NH ₃ (g)+NH ₄ (a)]	NH4N_T			
	dwutlenek węgla CO ₂	CO2			
	siarka siarczanowa S-SO ₄	SO4S			
	pył zawieszony	PM10			Pojezierze Chełmińskie
	CHEMIZM OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH C1	Zakres obligatoryjny			
przewodność elektrolityczna właściwa		COND	12/rok z próbek dobowych lub tygodniowych	Wszystkie stacje	
odczyn (pH)		PH			
zasadowość (jeżeli pH > 4,5)		ALK			
siarka siarczanowa S-SO ₄		SO4S			
azot azotanowy N-NO ₃		NO3N			
azot amonowy N-NH ₄		NH4N			
chlorki Cl		CL			
sód Na		NA			
potas K		K			
wapń Ca		CA			
magnez Mg		MG			
Zakres rozszerzony					
fosfor ogólny P _{ogól.}		PTOT	12/rok z próbek dobowych lub tygodniowych	Puszcza Borecka	
kadm Cd		CD			
miedź Cu		CU			
ołów Pb		PB			
mangan Mn		MN			
żelazo Fe		FE			
cynk Zn		ZN			
nikiel Ni		NI			
arsen As		AS			
chrom Cr		CR			
glin Al		AL			

Program	Parametr	Kod parametru	Częstotliwość pomiarów/ czas uśredniania	Status Uwagi
CHEMIZM OPADU PODKORONOWEGO C2	Zakres obligatoryjny			
	opad podkoronowy	RR_TF	12/rok	Wszystkie stacje oprócz 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 ₄	SO4S		
	azot azotanowy N-NO ₃	NO3N		
	azot amonowy N-NH ₄	NH4N		
	chlorki Cl	CL		
	sód Na	NA		
	potas K	K		
	wapń Ca	CA		
	magnez Mg	MG		
	Zakres rozszerzony			
	fosfor ogólny P _{ogól.}	PTOT	12/rok z próbek tygodniowych	Puszcza Borecka
	mangan Mn	MN		
	żelazo Fe	FE		
	glin Al	AL		
CHEMIZM SPŁYWU PO PNIACH C3	Zakres obligatoryjny			
	spływ po pniach	RR_SF	12/rok	Wszystkie stacje oprócz 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 ₄	SO4S		
	azot azotanowy N-NO ₃	NO3N		
	azot amonowy N-NH ₄	NH4N		
	chlorki Cl	CL		
	sód Na	NA		
	potas K	K		
	wapń Ca	CA		
	magnez Mg	MG		
	Zakres rozszerzony			
	fosfor ogólny P _{ogól.}	PTOT	12/rok z próbek tygodniowych	Puszcza Borecka
	mangan Mn	MN		
	żelazo Fe	FE		
	glin Al	AL		

Program	Parametr	Kod parametru	Częstotliwość pomiarów/ czas uśredniania	Status Uwagi
GLEBY E1	Zakres obligatoryjny			
	odczyn (pH) zawiesiny w H ₂ O	PH_EW20	1/rok	Wszystkie stacje
	przewodność zawiesiny w H ₂ O	COND_EW		
	odczyn (pH) zawiesiny w CaCl ₂	PH_EC20		
CHEMIZM ROZTWORÓW GLEBOWYCH F1	Zakres obligatoryjny			
	przewodność elektrolityczna właściwa	COND	1/miesiąc	Wszystkie stacje
	odczyn (pH)	PH		
	zasadowość (jeżeli pH > 4,5)	ALK		
	siarka siarczanowa S-SO ₄	SO4S		
	azot azotanowy N-NO ₃	NO3N		
	azot amonowy N-NH ₄	NH4N		
	fosfor ogólny P _{ogól.}	PTOT		
	chlorki Cl	CL		
	wapń Ca	CA		
	magnez Mg	MG		
	sód Na	NA		
	potas K	K		
	Zakres rozszerzony			
	glin Al	AL	1/miesiąc	Puszcza Borecka, Roztocze, Karkonosze
	żelazo Fe	FE		Puszcza Borecka
	mangan Mn	MN		
WODY PODZIEMNE F2	Zakres obligatoryjny			
	poziom wód gruntowych lub wydajność źródła	WL SPRING_D	pomiar automatyczny lub 1/miesiąc	Wszystkie stacje
	temperatura wody	TEMP	pomiar automatyczny lub 1/miesiąc lub 1/kwartał	
	przewodność elektrolityczna właściwa	COND		
	odczyn pH	PH	1/2 miesiące	
	zasadowość (jeżeli pH > 4,5)	ALK		
	wapń Ca	CA		
	magnez Mg	MG		
	sód Na	NA		
	potas K	K		
	siarka siarczanowa S-SO ₄	SO4S		
	azot azotanowy N-NO ₃	NO3N		
	azot amonowy N-NH ₄	NH4N		
	fosfor ogólny P _{ogól.}	PTOT		
	chlorki Cl	CL		
	PO DZI EM	Zakres rozszerzony		

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

Program	Parametr	Kod parametru	Częstotliwość pomiarów/ czas uśredniania	Status Uwagi
WODY POWIERCHNIOWE RZEKI H1	Zakres obligatoryjny			
	poziom wody	WL	ciągła rejestracja	Wszystkie stacje – oprócz Puszczy Boreckiej (brak cieku); pomiar BZT5 – z przyczyn technicznych nie został wykonany w Pogórze Karpackim
	zjawiska lodowe	ZLR	Obserwacja	
	zarastanie koryta	ZK		
	przepływ obliczony na podstawie aktualnej krzywej przepływu	Q_E	1/doba	
	temperatura wody	TEMP	1/tydzień lub 1/miesiąc	
	przewodność elektrolityczna	COND		
	odczyn pH	PH		
	zasadowość (jeżeli pH > 4,5)	ALK		
	sód Na	NA		
	potas K	K		
	wapń Ca	CA		
	magnez Mg	MG		
	azot azotanowy N-NO ₃	NO3N		
	azot amonowy N-NH ₄	NH4N		
	siarka siarczanowa S-SO ₄	SO4S		
	chlorki Cl	CL		
	fosfor ogólny P _{ogól.}	PTOT		
	tlen rozpuszczony O ₂	O2D		
	BZT ₅	BZT5		
	zawiesina	SUS		
	Zakres rozszerzony			
	glin Al	AL	1/tydzień lub 1/miesiąc	Roztocze

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		

Program	Parametr	Kod parametru	Częstotliwość pomiarów/ czas uśredniania	Status Uwagi
GATUNKI INWAZYJNE OBCEGO POCHODZENIA – ROŚLINY J3	Zakres obligatoryjny			
	liczba gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia (zlewnia)	NSPEC_I_DB	Co roku, przez cały sezon wegetacyjny	Wszystkie stacje
	liczba kwadratów MGRS według gatunków (zlewnia)	NUM_MGRS_DB		
	liczba dotychczas przebadanych kwadratów MGRS (zlewnia)	NUM_MGRS_COM		
	liczba gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia (powierzchnie 1x1 m)	NSPEC_I_P1	1/2 lata	
	liczebność nadziemnych pędów juvenilnych (do 1 m wysokości) gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia - dotyczy wyłącznie drzew i krzewów, (powierzchnie 1x1 m)	JUVE_TS_P1		
	liczebność nadziemnych pędów dorosłych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia - dotyczy wyłącznie drzew i krzewów (powierzchnia 10x10 m)	ADULT_TS_P10		
	liczebność nadziemnych pędów generatywnych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia – dotyczy wyłącznie roślin zielnych (powierzchnie 1x1 m)	GENE_H_P1		
liczebność nadziemnych pędów wegetatywnych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia – dotyczy wyłącznie roślin zielnych (powierzchnie 1x1 m)	VEGE_H_P1			
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 2022 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 geoeekosystemów (Tab. 5).

Tab. 5. Programy specjalistyczne realizowane w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2022 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 geoeekosystemu w warunkach alkalicznej imisji
Roztocze	Monitoring ptaków Polski: monitoring flagowych gatunków ptaków, monitoring lęgowych sów leśnych, monitoring rzadkich dzięciołów, monitoring pospolitych ptaków lęgowych, monitoring gatunków rzadkich – łabędź krzykliwy
Pogórze Karpackie	Erozja wodna gleb
Beskid Niski	Erozja wodna gleb
Karkonosze	Właściwości fizyczne i chemizm pokrywy śnieżnej

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

Ilościowa charakterystyka obiegu wody w badanych zlewniach została ujęta w odniesieniu do następujących czynników warunkujących zasoby wodne: warunki pogodowe, wody podziemne, wody powierzchniowe oraz bilans wodny. Powyższe wskaźniki ilościowe zasobów wodnych odnoszą się do 2022 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 oraz Beskid Niski) (Tab. 6, Ryc. 6). O zmienności przestrzennej warunków termicznych świadczyć może również spadek średniej rocznej temperatury powietrza w północnej strefie młodoglacjalnej Niżu Polskiego, z zachodu na wschód, od wartości 10,4°C w Wolinie, poprzez 8,9°C w Parsęcie do 8,0°C w Puszczy Boreckiej i 7,8°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 nie wykazuje wyraźnej zmienności (głównie spadku) rocznej sumy opadów w kierunku wschodnim. W 2022 roku wystąpiła wręcz odwrotna sytuacja, w której w zlewniach położonych bliżej Morza Bałtyckiego zanotowano niższe opady. Średnia roczna suma opadów w Polsce północnej wynosiła od 544,4 mm na wyspie Wolin do 636,1 mm w Puszczy Boreckiej. Stwierdzono natomiast wyraźne

zmniejszenie się ilości opadów w transekcie południkowym Niżu Polskiego np. od Stacji Bazowej Puszcza Borecka (636,1 mm) do Stacji Bazowej Kampinos (519,9 mm). W Stacjach Bazowych położonych dalej na południe wyższe opady są efektem ich położenia na wyżej wyniesionych obszarach wyżynnych, a zwłaszcza górskich (np. Stacja Beskid Niski 691,2 mm, czy Stacja Karkonosze 1015,2 mm).

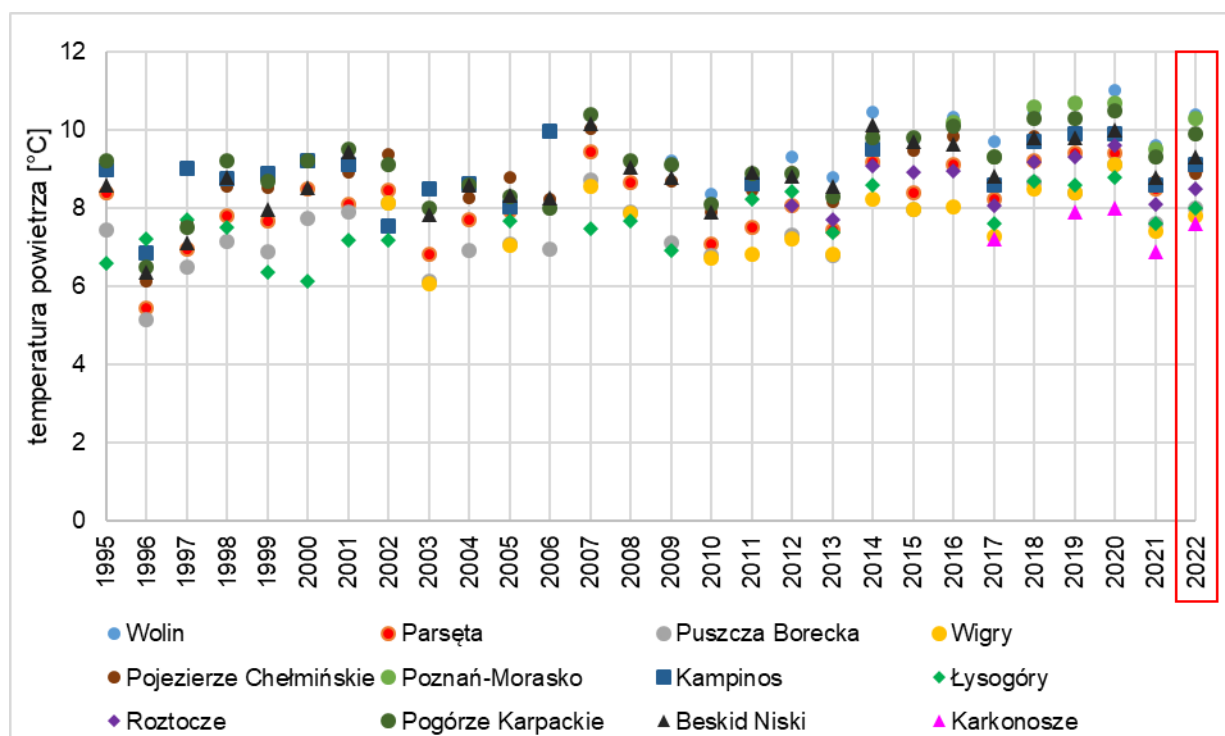
Poza czynnikami strefowymi i regionalnymi na warunki termiczne i opadowe w zlewniach ZMŚP wpływają czynniki lokalne, związane m.in. z rzędną terenu (np. wysoko położone Stacje: Łysogóry w Górach Świętokrzyskich, Pogórze Karpackie i Beskid Niski w Beskidach, Karkonosze w Sudetach), jak również odległością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

Tab. 6. Średnia temperatura powietrza i suma opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2022 roku

Stacja Bazowa ZMŚP (Okres pomiarowy – wielolecie)	Średnia temperatura powietrza [°C]		Suma opadów atmosferycznych [mm]	
	2022 r.	wielolecie	2022 r.	wielolecie
Wolin (2009-2021)	10,4	9,7	544,4	567,8
Parzęta (1987-2021)	8,9	8,0	551,4	701,3
Puszcza Borecka (1994-2021)	8,0	7,4	636,1	685,6
Wigry (2002-2021)	7,8	8,3	586,8	588,1
Pojezierze Chełmińskie (1994-2021)	8,9	8,8	465,6	544,2
Poznań-Morasko (2016-2021)	10,3	10,2	476,3	554,4
Kampinos (1994-2021)	9,1	8,7	519,9	575,9
Łysogóry (2005-2021)	7,4	7,3	610,7	756,7
Roztocze (2012-2021)	8,5	8,7	642,0	676,5
Pogórze Karpackie (1991-2021)	9,9	8,9	576,8	703,5
Beskid Niski (1994-2021)	9,3	8,8	691,2	867,7
Karkonosze (2016-2021)	7,6	7,6	1015,2	1028,0

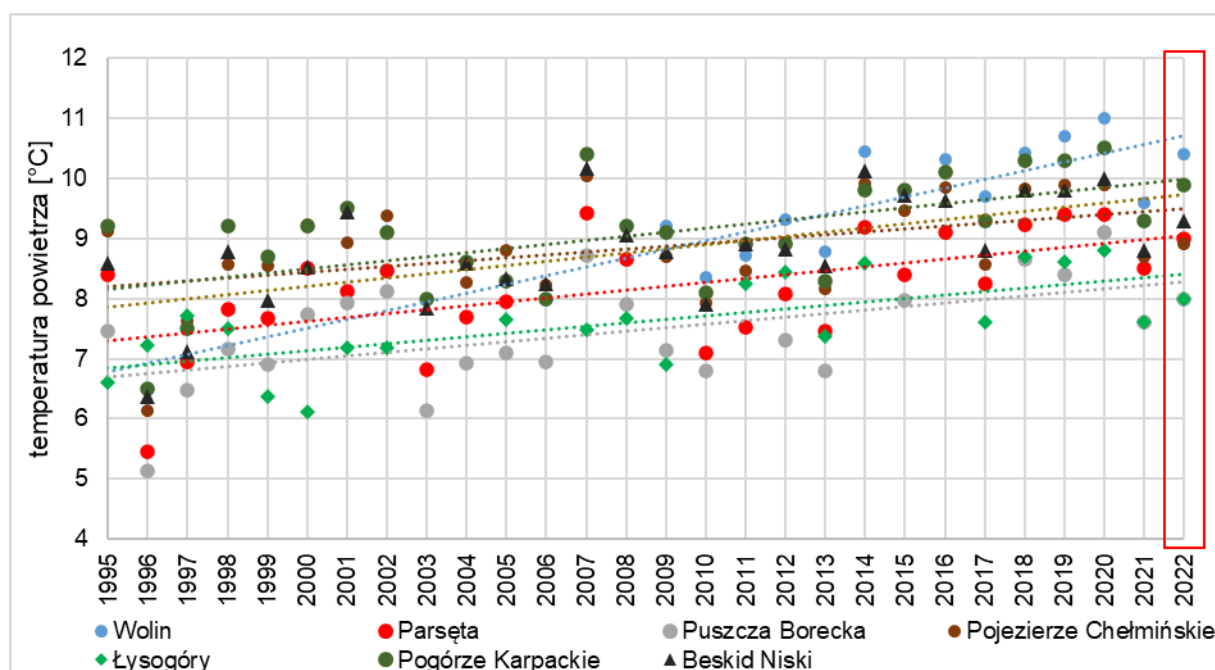
Podobnie jak w roku 2021, a w odróżnieniu od lat wcześniejszych, rok 2022 był zróżnicowany pod względem termicznym. W dwóch Stacjach Bazowych: Wigry i Roztocze średnia roczna temperatura powietrza była niższa od średniej wieloletniej. Średnia roczna temperatura w Karkonoszach była równa średniej wieloletniej. Z kolei w pozostałych dziewięciu stacjach rok 2022 był cieplejszy. Warto zwrócić uwagę, że w żadnej ze stacji odchylenie od średniej wieloletniej nie przekroczyło $1,0^{\circ}\text{C}$ (Tab. 6).

Najwyższe średnie roczne temperatury powietrza, podobnie jak we wcześniejszych latach, wystąpiły w północno-zachodniej Polsce ($10,4^{\circ}\text{C}$ w Stacji Wolin i $10,3^{\circ}\text{C}$ w Stacji Poznań-Morasko). Z kolei najniższe temperatury zanotowano w północno-wschodniej Polsce ($7,8^{\circ}\text{C}$ w Stacji Wigry i $8,0^{\circ}\text{C}$ w Stacji Puszcza Borecka) oraz w górskiej Stacji w Karkonoszach ($7,6^{\circ}\text{C}$) (Tab. 6, Tab. 11, 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 zadecydowały przede wszystkim warunki pogodowe o znaczeniu ponadregionalnym – łagodzące kontrasty termiczne oddziaływanie Morza Bałtyckiego (zwłaszcza niska frekwencja dni mroźnych).



Ryc. 6. Średnie roczne temperatury powietrza w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2022 roku hydrologicznym na tle wielolecia

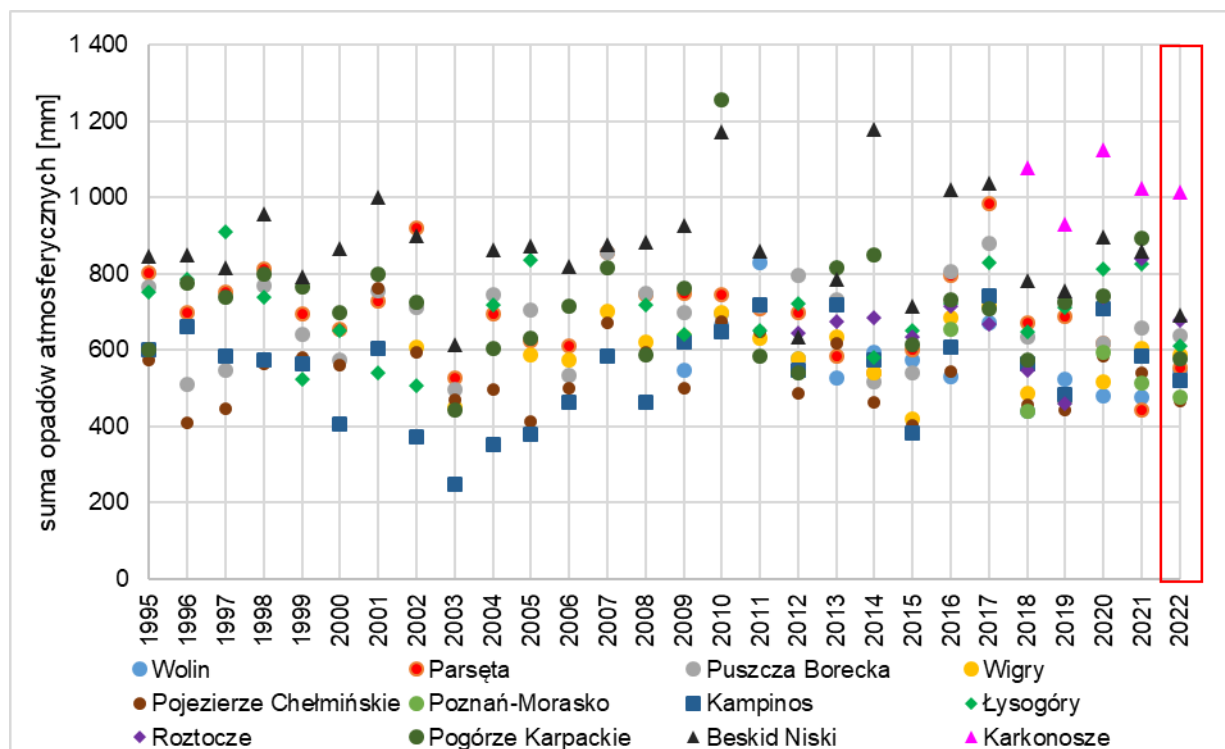
Wieloletnie pomiary temperatury powietrza w Stacjach Bazowych ZMŚP wskazują na niekorzystny trend podwyższania się średniej rocznej temperatury powietrza (Ryc. 6). Istotny statystycznie trend wzrostowy temperatury powietrza ($p < 0,05$) stwierdzono dla 7 stacji posiadających przynajmniej 10-letnią serię pomiarową, tj. dla: Wolina, Parsęty, Puszczy Boreckiej, Pojezierza Chełmińskiego, Łysogór, Pogórza Karpackiego i Beskidu Niskiego. Średni trend 10-letni wzrostu średniej temperatury powietrza wynosi $0,71^{\circ}\text{C}/10$ lat. Najwyższe trendy, przekraczające $0,7^{\circ}\text{C}$ stwierdzono w Stacji Wolin ($1,55^{\circ}\text{C}$), a najniższe, mniejsze od $0,5^{\circ}\text{C}$ w Stacji Pojezierze Chełmińskie ($0,48^{\circ}\text{C}$) (Ryc. 7).



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

We wszystkich badanych zlewniach, rok 2022 był bardziej suchy niż wartości średnie z wielolecia (Tab. 6). W dwóch zlewniach (Czarnej Hańczy na Wigrach i Wrzosówki w Karkonoszach) roczna suma opadu była nieznacznie niższa niż średnia z lat wcześniejszych (1,3 i 12,8 mm). Najmniej korzystna sytuacja, z opadem mniejszym o ponad 100 mm niż w wieloleciu wystąpiła na Pojezierzu Drawskim (Stacja Parsęta, -149,9 mm), w Górach Świętokrzyskich (Stacja Łysogóry, -146 mm) oraz w Beskidach (Stacje Pogórze Karpackie, -126,7 mm i Beskid Niski, -176,5 mm). Po dwóch relatywnie korzystnych latach 2020-2021, w większości monitorowanych zlewni warunki opadowe się pogorszyły i były porównywalne z warunkami w suchych latach 2018-2019. Nieznaczna poprawa w stosunku do dwóch lat

wcześniejszych wystąpiła tylko w Polsce północnej (Stacje Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka i Wigry), gdzie suma opadów w roku 2022 była wyższa niż średnia suma z lat 2020-2021. W pozostałych stacjach rok 2022 był suchszy o od 59 mm w Karkonoszach do 240 na Pogórzu Karpackim. W przypadku rocznych sum opadów atmosferycznych w zlewniach badawczych ZMŚP nie stwierdzono istotnych statystycznie trendów wzrostowych, ani spadkowych (Ryc. 8).

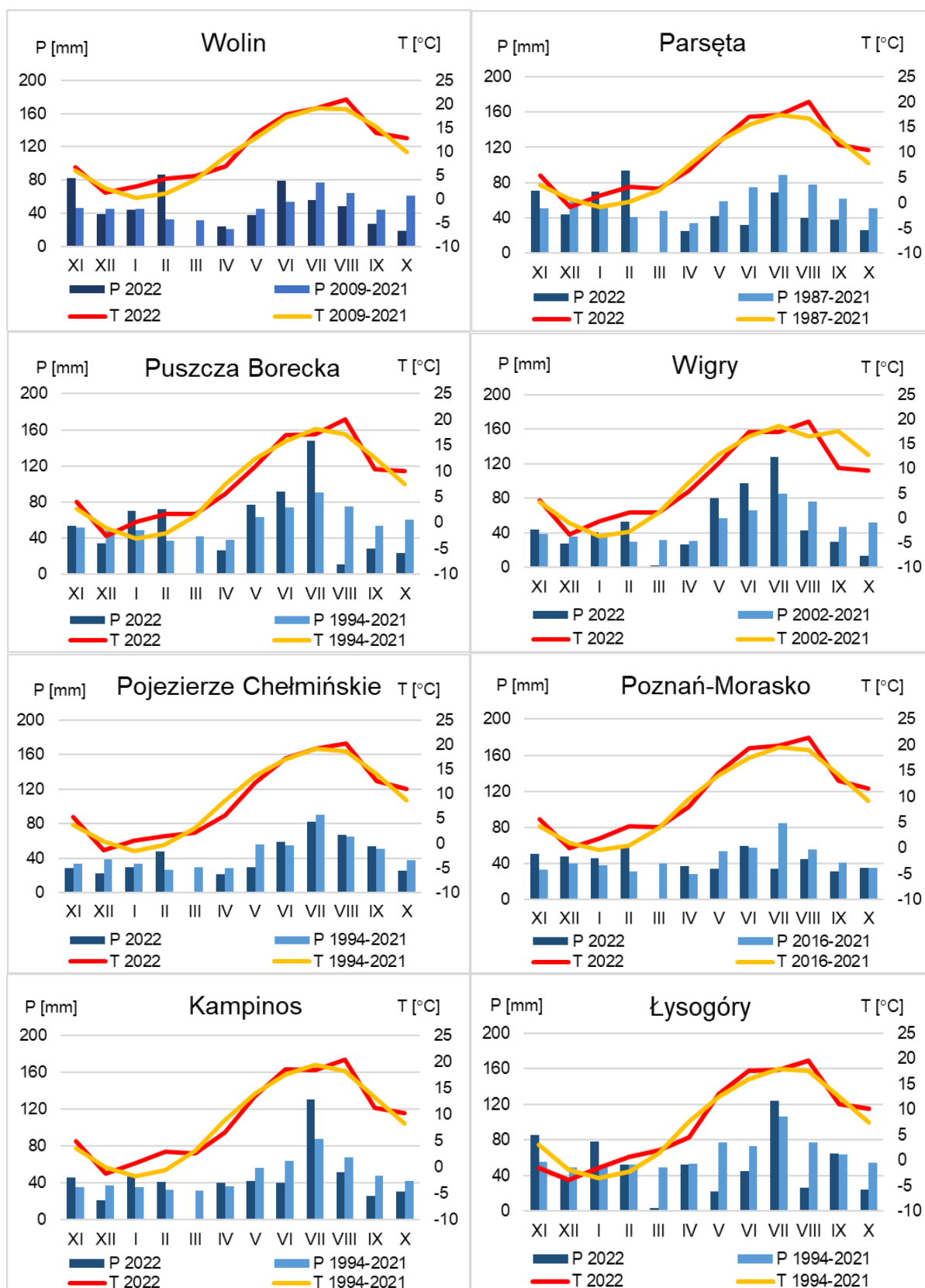


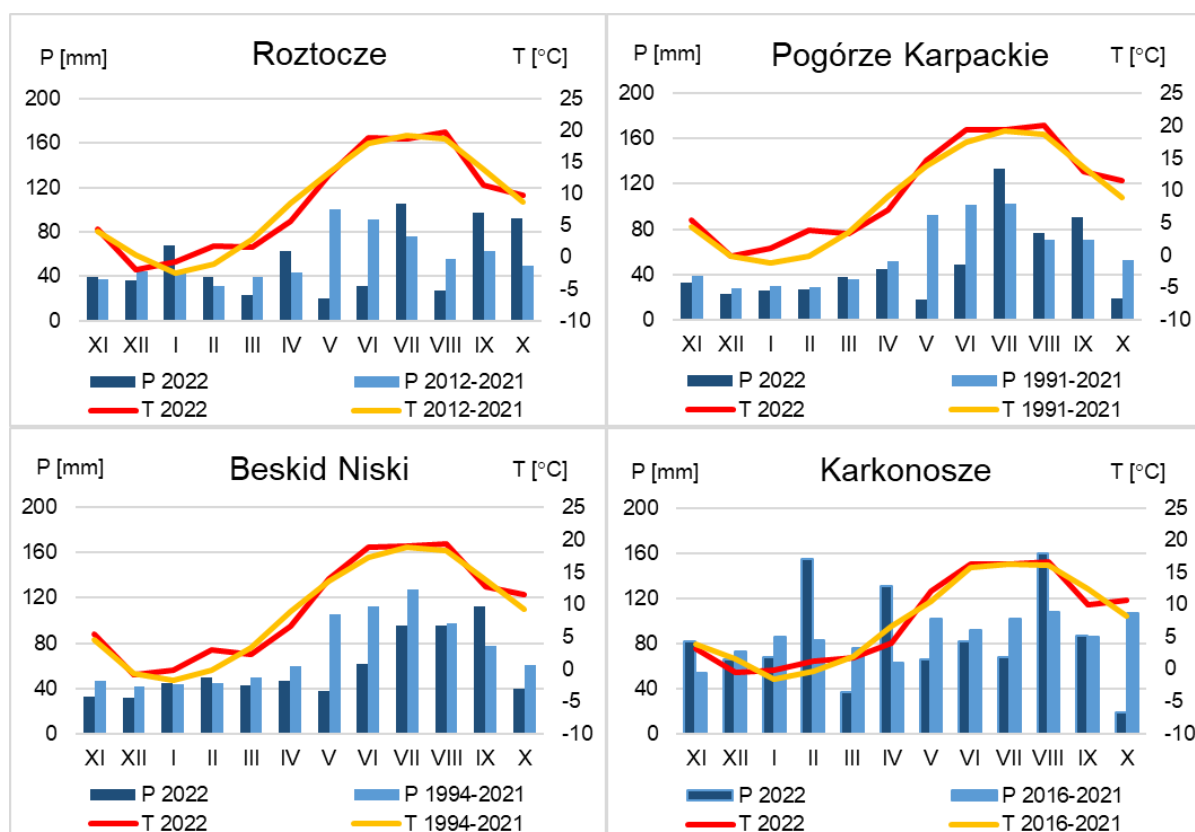
Ryc. 8. Sumy roczne opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2022 roku hydrologicznym na tle wielolecia

W 2022 roku wysoką średnią roczną temperaturą powietrza ($10,3^{\circ}\text{C}$) oraz niską sumą roczną opadów atmosferycznych (476,3 mm) wyróżniała się Stacja Poznań-Morasko, jak również Stacje Pojezierze Chełmińskie (z sumą opadów równą 465,6 mm oraz temperaturą $8,9^{\circ}\text{C}$) i Kampinos (suma opadów równa 519,9 mm, temperatura $9,1^{\circ}\text{C}$). 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 $7,6^{\circ}\text{C}$, przy rocznej sumie opadów ponad 1000 mm. Poprawie uległa sytuacja w nadmorskiej strefie krajobrazowej, w Stacji

Wolin, gdzie suma roczna opadów wyniosła 544,4 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 2022 roku (Ryc. 9). Przebieg miesięczny średniej temperatury powietrza był zróżnicowany. W trzech miesiącach: grudniu, kwietniu i październiku, we wszystkich stacjach temperatury były poniżej wartości normalnych. Średnie różnice wynosiły odpowiednio 1,4°C; 2,1°C i 2,1°C. Również w trzech miesiącach, we wszystkich stacjach, zanotowano temperatury wyższe od średnich wieloletnich: w styczniu (średnio +2,1°C), w lutym (średnio +3,1°C) i w sierpniu (średnio +2,0°C). Miesięczny rozkład temperatury w 2022 roku przejawiał się występowaniem wszystkich termicznych pór roku, jedynie w miejskiej stacji Poznań-Morasko nie wystąpiła zima. Sezon wegetacyjny rozpoczął się na przełomie marca i kwietnia i trwał do końca roku hydrologicznego. Pod względem opadowym dynamika miesięczna atmosferycznej dostawy wody w 2022 roku była również zróżnicowana. W większości miesięcy (grudzień, marzec, maj, czerwiec, sierpień, wrzesień i październik) opady były niższe niż w wielolecie. Wyjątkowo niekorzystna sytuacja opadowa wystąpiła w marcu, kiedy to w dwóch stacjach: Parsęta i Pojezierze Chełmińskie w ogóle nie wystąpił opad, a w kolejnych czterech stacjach (Wolin, Puszcza Borecka, Poznań-Morasko, Kampinos) suma miesięczna opadu nie przekroczyła 1 mm. Niskie opady w maju i czerwcu, przy stosunkowo wysokich temperaturach powietrza nie sprzyjały odbudowie zasobów wód powierzchniowych. W 2022 roku, podobnie jak w latach wcześniejszych nie wystąpiła wyraźna regionalizacja przestrzenna w Polsce dla miesięcznej atmosferycznej dostawy wody do zlewni. Sytuacja opadowa w 2022 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 ZMŚP w 2022 roku na tle wielolecia

Liczba dni charakterystycznych pod względem termiczno-wilgotnościowym

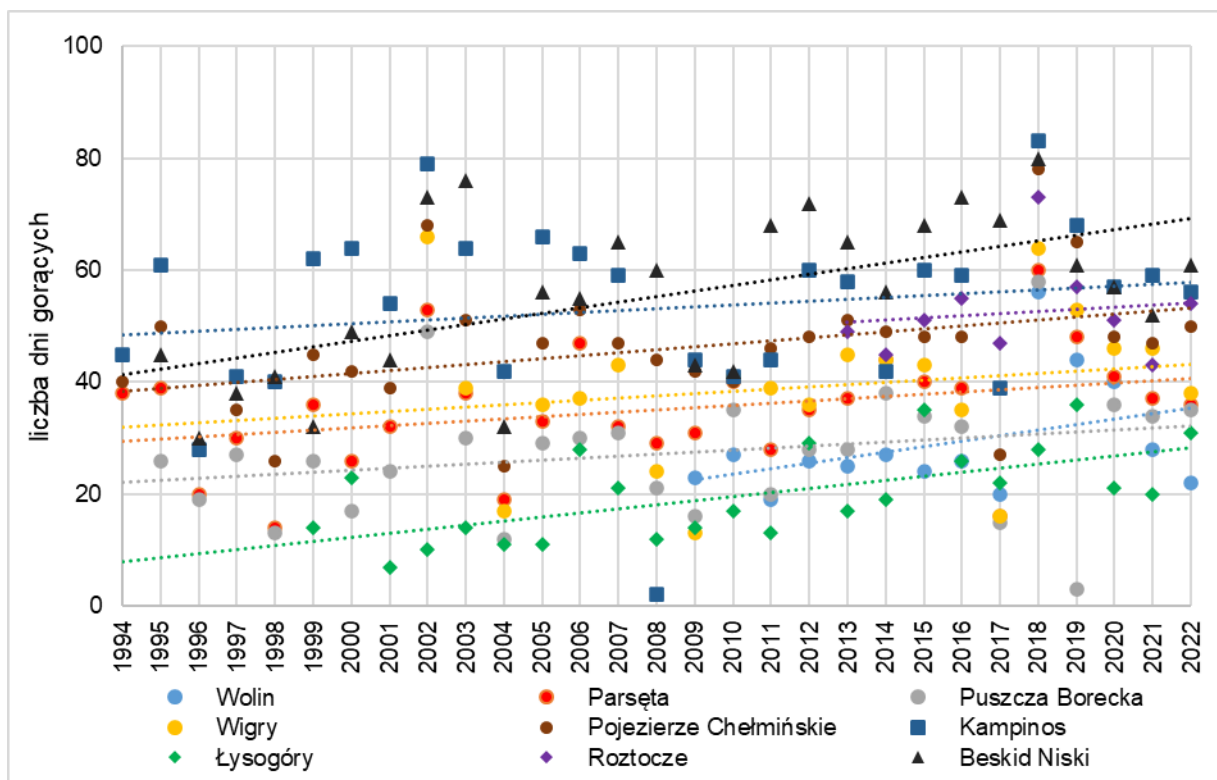
Na dynamikę obiegu wody w zlewniach ZMŚP w znacznym stopniu wpływają uwarunkowania meteorologiczne, ujęte m.in. w postaci liczby dni charakterystycznych pod względem termiczno-wilgotnościowym (Tab. 7).

W 2022 roku występowało zróżnicowanie liczby dni charakterystycznych pod względem termicznym. W badanych geoelementach stwierdzono więcej zdarzeń z pogodą mroźną, ze średnią dobową temperaturą poniżej 0°C (średnio 25 dni) niż upalną z maksymalną temperaturą dobową wyższą niż 30°C (średnio 13 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 (18 dni). Z kolei najwięcej dni ekstremalnych wystąpiło w Górach Świętokrzyskich (80 dni), i na Pojezierzu Drawskim (48 dni). W Polsce północnowschodniej (Stacje Puszcza Borecka i Wigry) oraz w stacjach położonych na znacznych wysokościach (Łysogóry i Karkonosze) nie wystąpiły dni bardzo upalne, o temperaturze maksymalnej wyższej niż 35°C. Dni bardzo mroźne (z temperaturą minimalną poniżej -10°C) wystąpiły we wszystkich stacjach, poza Wolinem.

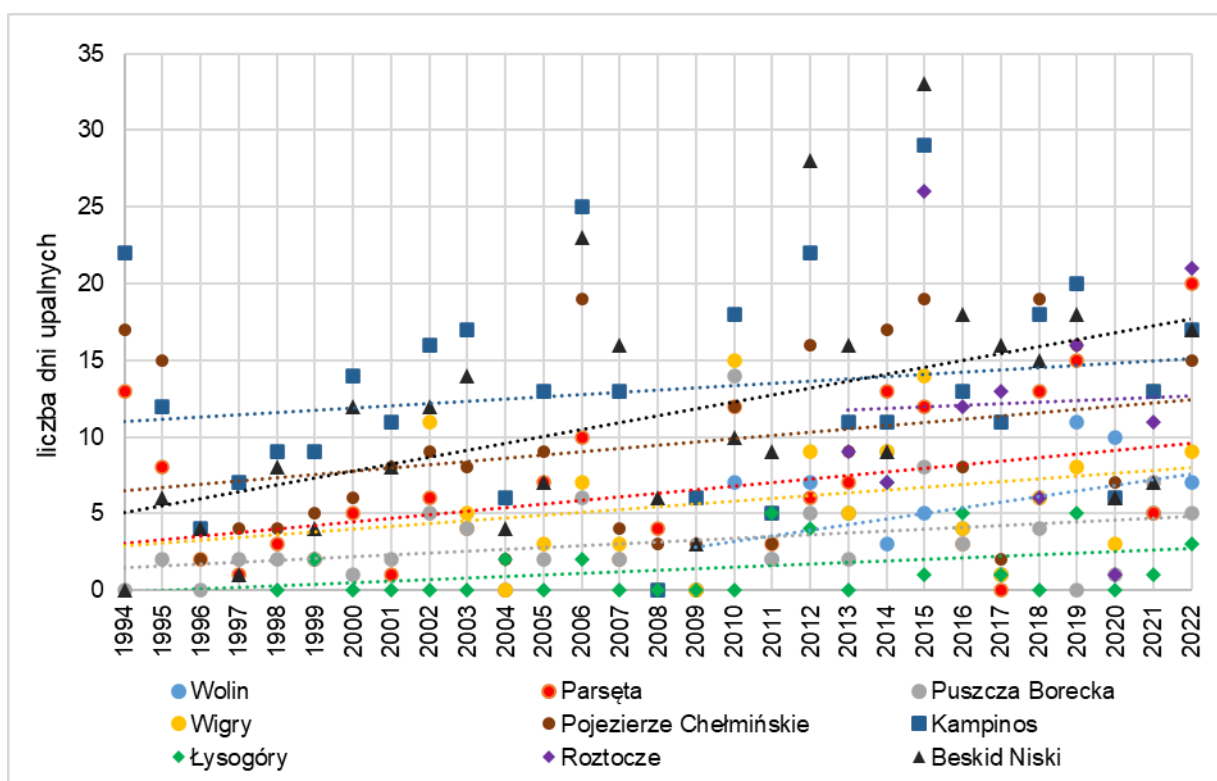
Na Niżu Polskim (Stacje: Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Poznań-Morasko, Kampinos) występowały średnio 34 dni ekstremalne (łącznie upalne i mroźne), od 18 dni na Pobrzeżu Szczecińskim w Stacji Wolin do 48 dni na Pojezierzu Drawskim w Stacji Parsęta. Wśród ekstremów termicznych na Niżu Polskim więcej było dni mroźnych (średnio 21 dni) niż dni upalnych (średnio 13 dni). Najwięcej dni mroźnych na Niżu Polskim występowało w Polsce północno-wschodniej, na Stacjach Puszcza Borecka (24 dni) i Wigry (33 dni), ale również na Pojezierzu Drawskim (28 dni). Polska nizinna charakteryzowała się na tle kraju największą frekwencją występowania dni upalnych (20 dni w Stacji Parsęta, 19 dni w Stacji Poznań-Morasko), a w Poznaniu wystąpiło aż 5 dni bardzo upalnych. Najwięcej dni mroźnych i upalnych występowało w strefie wyżynnej, średnio 61 dni, od 42 dni na Roztoczu do 80 dni w Górach Świętokrzyskich. W tej strefie zdecydowaną przewagę występowania dni mroźnych notowano w Górach Świętokrzyskich (77 mroźnych, 3 upalne), z kolei na Roztoczu dni mroźnych i upalnych było po 21. Strefa górską charakteryzowała się najmniejszą liczbą dni upalnych i mroźnych (średnio 31 dni, od 30 na Pogórzu Karpackim i w Karkonoszach do 34 dni w Beskidzie Niskim). W górach również notowano przewagę występowania dni mroźnych (średnio 20 dni) nad dniami upalnymi (średnio 12 dni). W 2022 roku występowanie ekstremów termicznych charakteryzowało się wyraźnym układem przestrzennym, gdzie najbardziej sprzyjające „łagodne” warunki występowały w strefie nizinnej, na około 2/3 powierzchni kraju, 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.

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 i upalnych, istotnie statystyczny trend wzrostowy ($p < 0,05$) stwierdzono dla 4 Stacji Bazowych: Parsęta, Pojezierze Chełmińskie, Łysogóry oraz Beskid Niski (Ryc. 10, Ryc. 11).

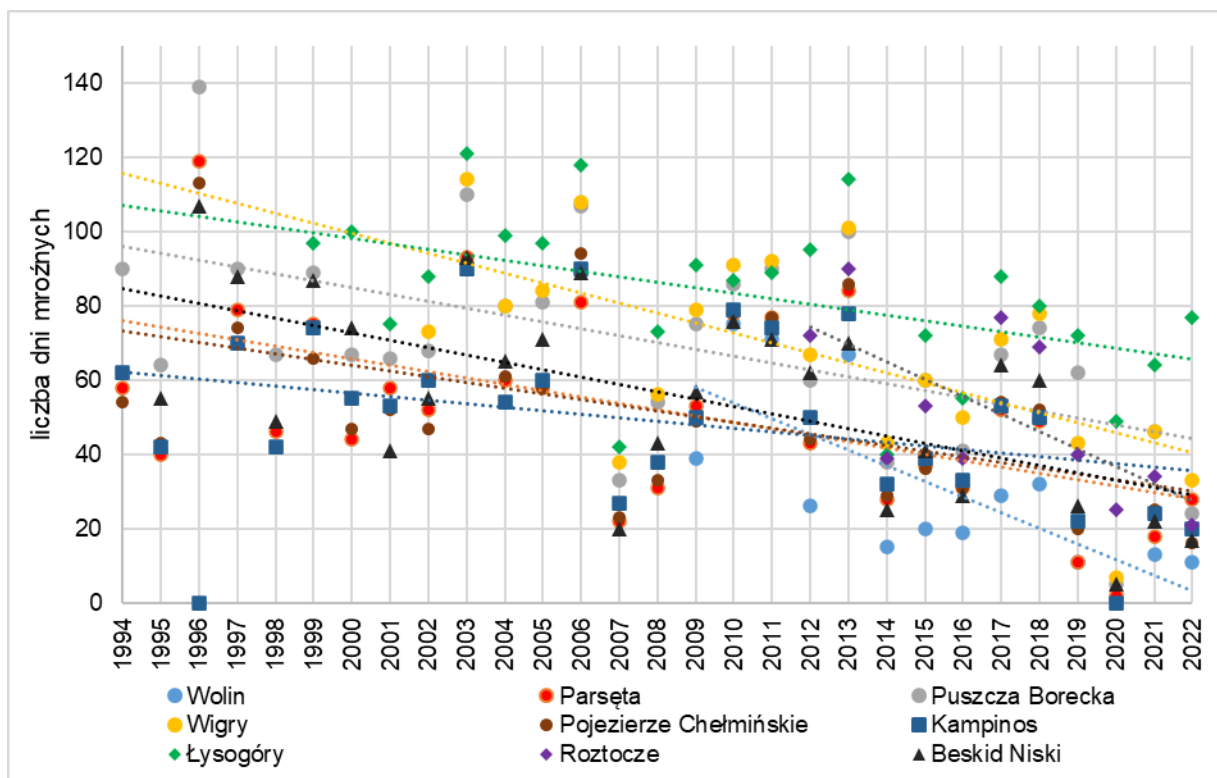
W przypadku dni mroźnych oraz bardzo mroźnych, można zauważyć tendencję zmniejszania częstości występowania tych dni. W przypadku dni mroźnych, istotnie statystyczny trend spadkowy ($p < 0,05$) stwierdzono dla 8 Stacji Bazowych: Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie, Łysogóry, Roztocze i Beskid Niski (Ryc. 12). Z kolei dla dni bardzo mroźnych istotny statystycznie trend spadkowy częstości ich występowania stwierdzono jedynie dla Stacji Wolin, dysponującej 13-letnim okresem pomiarowym (Ryc. 13).



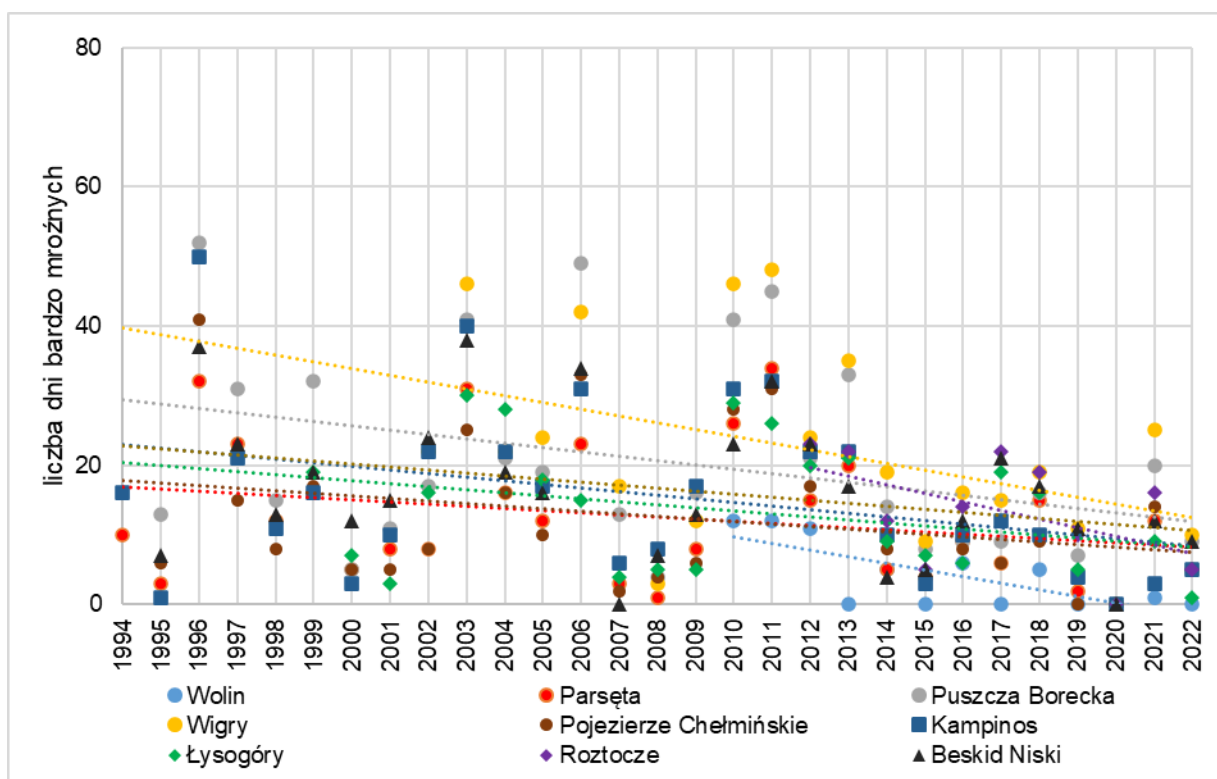
Ryc. 10. Przebieg zmian liczby dni gorących ($T_{max} > 25^{\circ}\text{C}$) w latach 1994-2022 w Stacjach Bazowych ZMŚP dysponujących przynajmniej 10-letnim okresem pomiarowym



Ryc. 11. Przebieg zmian liczby dni upalnych ($T_{max} > 30^{\circ}\text{C}$) w latach 1994-2022 w Stacjach Bazowych ZMŚP dysponujących przynajmniej 10-letnim okresem pomiarowym



Ryc. 12. Przebieg zmian liczby dni mroźnych ($T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$) w latach 1994-2022 w Stacjach Bazowych ZMŚP dysponujących przynajmniej 10-letnim okresem pomiarowym



Ryc. 13. Przebieg zmian liczby dni bardzo mroźnych ($T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$) w latach 1994-2022 w Stacjach Bazowych ZMŚP dysponujących przynajmniej 10-letnim okresem pomiarowym

Frekwencja dobowej wydajności opadów, podobnie jak w latach wcześniejszych, w 2022 roku wykazała zróżnicowanie przestrzenne, nawiązujące do struktury krajobrazowej Polski. Najwięcej dni z opadem ($P \geq 0,1$ mm) występowało w strefie górskiej (178 dni), mniej w strefie wyżynnej (163 dni), a najmniej w strefie nizinnej (161 dni). Na Niżu Polskim zakres zmienności liczby dni z opadem wynosił od 147 dni na Pojezierzu Chełmińskim do 181 dni w Puszczy Boreckiej. W strefie wyżynnej, więcej dni z opadem wystąpiło na Roztoczu (171 dni) niż w Górach Świętokrzyskich (155 dni). Z kolei w górach zdecydowanie więcej dni opadowych występowało w Karkonoszach (210 dni) niż w Beskidzie Niskim (164 dni) i na Pogórzu Karpackim (161 dni). Liczba dni z opadem w porównaniu do roku poprzedniego znacząco się nie zmieniła, jednak zanotowano nieznaczny spadek 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 (15 dni w Beskidzie Niskim, 17 dni na Pogórzu Karpackim i 24 dni w Karkonoszach) oraz na wyżynach (21 dni w Górach Świętokrzyskich i 13 dni na Roztoczu). Najmniej dni z opadem ≥ 10 mm wystąpiło na nizinach, a w szczególności w Stacjach: Wolin, Poznań-Morasko i Kampinos (po 9 dni). Najwięcej dni z opadem większym niż 10 mm w tej strefie krajobrazowej zarejestrowano w północno-wschodniej części kraju, w Stacjach Wigry (19 dni) i Puszcza Borecka (17 dni). Zależność regionalna opadów o największej wydajności była taka sama jak w latach poprzednich, jednak w roku 2022 zanotowano mniejszą liczbę dni z opadem dobowym większym niż 10 mm niż w roku 2021.

Liczba dni z opadem powyżej 10 mm w 2022 roku podtrzymuje spadkowy trend frekwencji, 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 nie stwierdzono znaczących różnic między badanymi regionami (maks. od 19,0 mm w Stacji Poznań-Morasko do 80,7 mm w Puszczy Boreckiej). Wystąpienie opadu o wysokości >80 mm w Puszczy Boreckiej zdecydowanie trzeba uznać za zjawisko ekstremalne. Należy jednak zaznaczyć, że w rejonie Stacji (zlewni jeziornej o złożonej orografii terenu i dominującym leśnym charakterze zagospodarowania terenu) opady o wysokości rzędu kilkudziesięciu mm w ciągu doby nie stanowią realnego

zagrożenia. Wysokie opady w rejonie Puszczy Boreckiej są często oczekiwane (nawet te powyżej 50 mm na dobę) ze względu na potrzebę wypełnienia wodą zagłębień leśnych, stanowiących naturalne środowisko tutejszej fauny i flory (Degórska i in. 2023).

Tab. 7. Liczba dni charakterystycznych temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2022 roku

Element pogody	Stacja Bazowa ZMŚP											
	Wolin	Parsęta	Puszcza Borecka	Wigry	Pojezierze Chełmińskie	Poznań-Morasko	Kampanos	Łysogóry	Roztocze	Pogórze Karpackie	Beskid Niski	Karkonosze
Bardzo upalne $T_{\max} > 35^{\circ}\text{C}$	1	1	0	0	1	5	1	0	2	1	1	0
Upalne $T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$	7	20	5	9	15	19	17	3	21	15	17	3
Gorące $T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$	22	36	35	38	50	43	56	31	54	56	61	21
Przymrozkowe $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$	41	107	119	127	93	92	97	102	96	103	112	115
Mroźne $T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$	11	28	24	33	16	12	20	77	21	15	17	27
Bardzo mroźne $T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$	0	5	9	10	5	5	5	0	5	4	9	2
Opad $\geq 0,1 \text{ mm}$	145	167	181	153	147	156	177	155	171	161	164	210
Opad $\geq 1,0 \text{ mm}$	98	113	115	96	87	93	94	105	99	91	113	143
Opad $\geq 10,0 \text{ mm}$	9	13	17	19	10	9	9	21	13	17	15	24
Max opad dobowy [mm]	46,5	27,8	80,7	31,6	32,4	19	43,6	33,7	51,2	27,1	29,3	51,6
Dni z pokrywą śnieżną	20	1	40	57	21	26	23	62	66	47	51	101

Utrzymująca się od paru lat marginalna rola pokrywy śnieżnej w retencji wody w badanych zlewniach została pogłębiona w roku 2022. 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 42 dni. Najwięcej dni z pokrywą śnieżną zarejestrowano w górach: 101 dni w Karkonoszach oraz na wyżynach: 66 dni na Roztoczu i 62 dni w Górach Świętokrzyskich.

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. 8).

Tab. 8. Klasyfikacja opadowa dla roku (Kaczorowska 1962, zmienione)

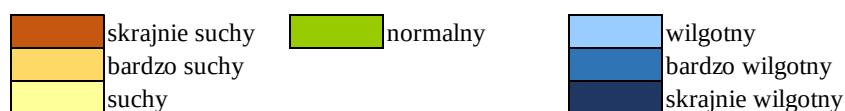
Nr klasy	Klasa termiczna roku	Kryteria delimitacji klasy
1	skrajnie suchy	$p < 50\% p_{\text{norm}}$
2	bardzo suchy	$50\% p_{\text{norm}} \leq p < 75\% p_{\text{norm}}$
3	suchy	$75\% p_{\text{norm}} \leq p < 90\% p_{\text{norm}}$
	normalny	$90\% p_{\text{norm}} \leq p \leq 110\% p_{\text{norm}}$
	wilgotny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

Klasyfikacja opadowa potwierdza dużą zmienność czasową i niejednorodność przestrzenną warunków opadowych w analizowanym okresie (Tab. 9). 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.

Tab. 9. Roczna klasyfikacja opadowa dla Stacji Bazowych ZMŚP

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



W roku 2022 ponownie miało miejsce pogorszenie warunków opadowych. W 6 Stacjach (Wolin, Puszcza Borecka, Wigry, Kampinos, Łysogóry i Karkonosze) rok 2022 sklasyfikowano jako normalny pod względem opadowym, a pozostałych 6 Stacjach był rokiem suchym. W porównaniu z rokiem 2021, w odniesieniu do klasyfikacji opadowej Kaczorowskiej (1962), tylko w Stacjach: Wolin, Parsęta i Karkonosze warunki opadowe polepszyły się, w czterech zlewniach utrzymały się na tym samym poziomie, a pogorszyły się w pozostałych 5 zlewniach, z czego w Stacjach Roztocze i Pogórze Karpackie znacząco się pogorszyły (rok 2021 był rokiem wilgotnym, a rok 2022 rokiem suchym) (Tab. 9).

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 (σ). 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 (tz) w stosunku do wartości odchylenia standardowego dla średniej rocznej temperatury z wielolecia (T) (Tab. 10).

Tab. 10. Klasyfikacja termiczna roku wg Lorenc (1998)

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

Klasyfikacja termiczna przedstawia zmienność czasową i przestrzenną średniej rocznej temperatury powietrza (Tab. 11). 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. Siedem z ostatnich dziewięciu 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.

Tab. 11. Roczna klasyfikacja termiczna dla Stacji Bazowych ZMŚP

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

ekstremalnie ciepły

anomalnie ciepły

bardzo ciepły

ciepły

lekko ciepły

normalny

lekko chłodny

chłodny

bardzo chłodny

anomalnie chłodny

ekstremalnie chłodny

Na właściwości cieplne w 2022 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 2022 roku niekorzystna sytuacja termiczna występowała w Stacjach: Wolin, Wigry i Poznań-Morasko, gdzie był to rok bardzo ciepły lub ciepły. W kolejnych pięciu Stacjach (Parsęta, Kampinos, Roztocze, Pogórze Karpackie i Beskid Niski wystąpił rok lekko ciepły, co również mogło skutkować większym parowaniem terenowym i potencjalnie ograniczać retencję wód (Tab. 11).

Klasyfikacja termiczno-opadowa w 2022 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 Poznaniu i w Beskidzie Niskim, gdzie rok 2022 był lekko ciepły lub ciepły i suchy, stwierdzono niekorzystną sytuację do odnowy zasobów wodnych (Tab. 12).

Tab. 12. Klasyfikacja termiczno-opadowa dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2022 roku

Rok 2022	Wolin	Parsęta	Puszcza Borecka	Wigry	Pojezierze Chelmińskie	Poznań-Morasko
Klasyfikacja termiczna	bardzo ciepły	lekko ciepły	normalny	ciepły	normalny	ciepły
Klasyfikacja opadowa	normalny	suchy	normalny	normalny	suchy	suchy
Sytuacja dla ochrony i odnowy zasobów wodnych	przeciętna	przeciętna	przeciętna	przeciętna	przeciętna	niekorzystna
Rok 2022	Kampinos	Łysogóry	Roztocze	Pogórze Karpackie	Beskid Niski	Karkonosze
Klasyfikacja termiczna	lekko ciepły	normalny	lekko ciepły	lekko ciepły	lekko ciepły	bardzo ciepły
Klasyfikacja opadowa	normalny	normalny	suchy	suchy	suchy	normalny
Sytuacja dla ochrony i odnowy zasobów wodnych	przeciętna	przeciętna	przeciętna	przeciętna	niekorzystna	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 2022 roku amplitudy roczne temperatur powietrza były bardzo zbliżone we wszystkich zlewniach. Najwyższe wystąpiły na Roztoczu (55,3°C) i w Poznaniu (55,2°C) z kolei najniższe amplitudy zanotowano w Stacjach Łysogóry (41,6°C) i Karkonosze (41,8°C) (Tab. 13). Warto zwrócić uwagę, że amplitudy były zbliżone do amplitud z roku 2021, a wyższe niż w latach poprzednich, na co w głównej mierze wpłynęły minimalne temperatury powietrza, które spadły poniżej -15°C w ośmiu zlewniach (Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie, Poznań-Morasko, Kampinos, Roztocze i Beskid Niski). Również w ośmiu Stacjach wystąpiły maksymalne temperatury wyższe niż 35°C (Wolin, Parsęta, Pojezierze Chełmińskie, Poznań-Morasko, Kampinos, Roztocze, Pogórze Karpackie i Beskid Niski), z absolutnym maksimum w Poznaniu wynoszącym 38,2 °C.

Tab. 13. Wartości maksymalne i minimalne temperatur w roku hydrologicznym 2022 w Stacjach Bazowych ZMŚP

Element pogody	Stacja Bazowa ZMŚP											
	Wolin	Parsęta	Puszcza Borecka	Wigry	Pojezierze Chełmińskie	Poznań-Morasko	Kampinos	Łysogóry	Roztocze	Pogórze Karpackie	Beskid Niski	Karkonosze
T _{max} [°C]	35,2	35,2	31,4	31,4	35,3	38,2	35,2	31,7	35,1	36,1	35,5	31,4
T _{min} [°C]	-8,5	-15,8	-15,1	-16,9	-16,4	-17,0	-16,6	-9,9	-20,2	-14,3	-16,8	-10,4
Amplituda [°C]	43,7	51,0	46,5	48,3	51,7	55,2	51,8	41,6	55,3	50,4	52,3	41,8

Według klasyfikacji termicznej Lorenc (1998), sierpień w Puszczy Boreckiej oraz czerwiec w Karkonoszach były miesiącami ekstremalnie ciepłymi w odniesieniu do wartości wieloletnich. Ponadto w dziesięciu Stacjach: Wolin (siedmiokrotnie), Puszcza Borecka (dwukrotnie), Wigry (jednokrotnie), Pojezierze Chełmińskie (jednokrotnie), Poznań-Morasko (jednokrotnie), Kampinos (jednokrotnie), Łysogóry (trzykrotnie), Roztocze (jednokrotnie), Pogórze Karpackie (jednokrotnie) i Beskid Niski (jednokrotnie) zarejestrowano noc tropikalną, z temperaturą minimalną $\geq 20^{\circ}\text{C}$. W pięciu zlewniach wystąpiły też fale upałów, czyli ciągi przynajmniej 3 dni z temperaturą maksymalną powyżej 30°C: Parsęta (trzykrotnie), Poznań-Morasko (pięciokrotnie), Kampinos (trzykrotnie), Roztocze

(dwukrotnie) i Pogórze Karpackie (dwukrotnie). W poprzednim roku fale upałów wystąpiły w większej liczbie zlewni, jednak z mniejszą częstotliwością. Pomimo wyższych średnich rocznych temperatur powietrza, maj był miesiącem stosunkowo chłodnym, co skutkowało wystąpieniem późnych przymrozków w ośmiu monitorowanych zlewniach (Stacje: Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Kampinos, Łysogóry, Roztocze, Beskid Niski i Karkonosze). 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.

W większości zlewni, w 2022 roku nie stwierdzono występowania wyjątkowych zdarzeń ekstremalnych, zaburzających obieg wody w badanych zlewniach. W żadnej zlewni nie wystąpiły długotrwałe opady rozlewne o sumie ≥ 200 mm/3 doby. Dobowe sumy opadów atmosferycznych, przekraczające 50 mm wystąpiły w Puszczy Boreckiej, na Roztoczu i w Karkonoszach. 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 Pogórzu Karpackim oraz w Karkonoszach. Należy zaznaczyć, że w 2022 roku okresy suszy były wyjątkowo długie, w czterech Stacjach (Wolin, Parsęta, Pojezierze Chełmińskie i Beskid Niski) przekraczały 30 dni. Marzec, podczas którego występowały te susze był ekstremalnie suchym wg klasyfikacji opadowej Kaczorowskiej (1962) w większości zlewni.

W 2022 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 2022 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 pięciu 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;

μ – współczynnik odsączalności.

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

W 2022 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. Podobną stabilizacją charakteryzowała się zlewnia Rózanego Strumienia w Poznaniu. Z kolei największe zróżnicowanie zmian retencji występowało w Polsce południowej i południowo-wschodniej (Stacje: Roztocze, Pogórze Karpackie, Beskid Niski i Karkonosze). W Stacji Bazowej Wolin najdłużej utrzymywał się spadek retencji (przez 8 miesięcy), o którym decydowały 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 stycznia). W tym okresie w stacjach

notowano wzrost retencji albo retencję bez zmian (poza listopadem na Pogórzu Karpackim oraz styczniem na Wolinie i w Karkonoszach, gdzie wystąpił spadek retencji). Zdecydowanie gorsze warunki dla retencji wody wystąpiły od ekstremalnie suchego marca do października. W tym okresie tylko w Wigrach nie wystąpiły miesiące z wartością wskaźnika R_M mieszczącego się w przedziale spadku retencji (Tab. 14).

Tab. 14. Wskaźnik miesięcznych zmian retencji R_M dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2022 roku hydrologicznym

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

spadek retencji
 retencja bez zmian
 wzrost retencji

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

Pogorszenie retencji wód podziemnych w tym okresie wynikało z dużej frekwencji dni gorących (średnio 42 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 latach 2018-2020 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. 14), co

w konsekwencji prowadziło do możliwości wystąpienia zagrożenia pojawienia się niżówki hydrogeologicznej w większości badanych geosystemów (Tab. 15).

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:

$$k_n = 1 - G / \text{SNGw}_{(1994-2021)}$$

gdzie:

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

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

Zasady interpretacji:

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

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

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

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

W 2022 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 Beskidzie Niskim, gdzie wystąpiła płytka niżówka. Należy podkreślić poprawę stanu wód podziemnych w porównaniu do lat wcześniejszych, co przejawia się mniejszą liczbą miesięcy z wystąpieniem płytkiej i brakiem miesięcy z wystąpieniem głębokiej niżówki. Należy to wiązać z wyższymi, jednak wciąż niewystarczającymi opadami atmosferycznymi. Wpłynęły na to stosunkowo korzystne warunki opadowe w 2021 roku, które pozwoliły odbudować zasoby wód podziemnych. Zagrożenie pojawienia się niżówki występowało w większości monitorowanych zlewni, poza Kampinosem, gdzie utrzymywał się przez cały rok brak zagrożenia wystąpienia niżówki hydrogeologicznej. Zdecydowanie największa poprawa nastąpiła na Wolinie i Roztoczu, gdzie w poprzednich latach występowała płytka, a nawet głęboka niżówka. W roku 2022, w większości miesięcy w tych zlewniach wystąpił brak zagrożenia niżówką. Niższe opady w 2022 roku nie przełożyły się na znaczące pogorszenie stanu ilościowego wód podziemnych.

Efekty mniejszej atmosferycznej dostawy wody mogą być widoczne w kolejnych latach (Tab. 15).

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. 15. Wskaźnik zagrożenia niżówką hydrogeologiczną k_n dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2022 roku hydrologicznym

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



wystąpienie głębokiej niżówki



wystąpienie płytkiej niżówki



zagrożenie pojawienia się niżówki



brak zagrożenia niżówką



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

5.3. Wody powierzchniowe

W 2022 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 2022 roku w wodach powierzchniowych, zwłaszcza w wodach rzecznych, które stanowią strefę odprowadzania wody z badanych zlewni. Miara reakcji zlewni na dynamikę obiegu wody mogą być geoindykatory hydrologiczne w postaci współczynnika odpływu i wskaźnika odpływu jednostkowego (Tab. 16) oraz współczynnika miesięcznego przepływu (Ryc. 14).

Tab. 16. 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 2022 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)	0,10	1,70	5,70	0,00
Parsęta (Parsęta)	0,34	6,08	9,49	4,27
Wigry (Czarna Hańcza)	0,41	7,68	11,06	4,83
Pojezierze Chełmińskie (Struga Toruńska)	0,20	3,17	15,21	0,00
Poznań-Morasko (Różany Strumień)	0,05	0,70	5,30	0,00
Kampinos (Kanał Olszowiecki)	0,05	0,85	5,45	0,00
Łysogóry (Wieniec)	0,05	0,80	5,50	0,00
Roztocze (Świerszcz)	0,11	2,20	4,28	1,13
Pogórze Karpackie (Stara Rzeka)	0,12	2,26	11,95	0,04
Beskid Niski (Bystrzanka)	0,13	2,75	48,08	0,2
Karkonosze (Wrzosówka)	0,66	21,40	189,70	6,00

Współczynnik odpływu

Współczynnik odpływu (α) jest ilorazem warstwy odpływu (O) do warstwy opadu (P). Wyrażany jest w procentach lub jako wartość niemianowana. Wartość współczynnika

odpływu informuje, jaka część opadu odpłynęła ciekami ze zlewni. Współczynnik odpływu w zadanym przedziale czasu (miesiąc, rok) jako wartość niemianowaną oblicza się następująco:

$$\alpha = O/P [-]$$

gdzie:

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

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

W większości badanych zlewni ZMŚP średni współczynnik odpływu w 2022 roku był na podobnym poziomie jak w latach poprzednich. Przyjmował on wartości od 0,05 w Różanym Strumieniu w Poznaniu, w Kanale Olszowieckim w Kampinosie i w Wieńcu w Górach Świętokrzyskich do wartości najwyższych: 0,41 w Czarnej Hańczy na Wigrach oraz 0,66 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 procent (Lewińska Struga, Różany Strumień, Kanał Olszowiecki), a maksymalnie 20-41% (Parsęta, Czarna Hańcza, Struga Toruńska) 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). Wyjątkowo niskie sumy opadów w Karpatach skutkowały zdecydowanie niższymi wartościami współczynnika odpływu w zlewniach beskidzkich – 0,12 w Starej Rzece na Pogórzu Karpackim oraz 0,13 w Bystrzance w Beskidzie Niskim. Normalna sytuacja wystąpiła w pozostałej górskiej zlewni Wrzosówki, gdzie współczynnik odpływu był najwyższy. W zlewniach górskich migracja wody opadowej do koryta rzecznej jest szybka i krótka. Jakość wód opadowych w zlewniach górskich może znacząco wpływać na jakość wody w rzekach. W zlewniach górskich reakcja odpływu rzecznej 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 rzeczny, ale także m.in. dla potrzeb melioracji czy nawadniania.

W roku 2022 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 2020-2021) 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 2020 i 2021 roku przyczyniły się do stopniowego uzupełniania zasobów wód podziemnych (retencji), jednak opady nie były wystarczające, czego efektem są zbliżone do dwóch lat poprzedzających współczynniki odpływu w roku 2022. Stosunkowo niskie wartości współczynnika odpływu w latach 2020-2022 mogą świadczyć, że wody opadowe zostały wykorzystane 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 [km^2].

W badanych zlewniach ZMŚP w 2022 roku średni miesięczny wskaźnik odpływu jednostkowego (Tab. 16) 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). Wyjątkowo niska roczna suma opadów atmosferycznych w Beskidach spowodowała znaczące obniżenie się odpływu ze zlewni, a w konsekwencji najniższe wartości średniego miesięcznego wskaźnika odpływu jednostkowego (poniżej $3 \text{ dm}^{-3}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$). Z kolei najwyższy odpływ jednostkowy, powyżej $20 \text{ dm}^{-3}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$, który wystąpił w górskiej zlewni Wrzosówki wynikał 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 2022 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. 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 (przepływa przez stałe podłoże) do głębszych warstw wodonośnych nie mających kontaktu hydraulicznego z ciekami), jak i spowodowane działalnością człowieka (np. przekierowywanie wody z cieku przez gospodarzy do przydomowych zbiorników). Antropopresja w zlewni Strugi Toruńskiej (Pojezierze Chełmińskie) przejawia się zaburzeniem odpływu rzeczno wskutek działalności rolniczej, gdzie wody rzeczne wykorzystywane są do nawadniania pól uprawnych.

Współczynnik miesięcznego przepływu

Podstawą oceny ustroju rzeczno 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):

$$k = SQ_{mi} / SQ_r,$$

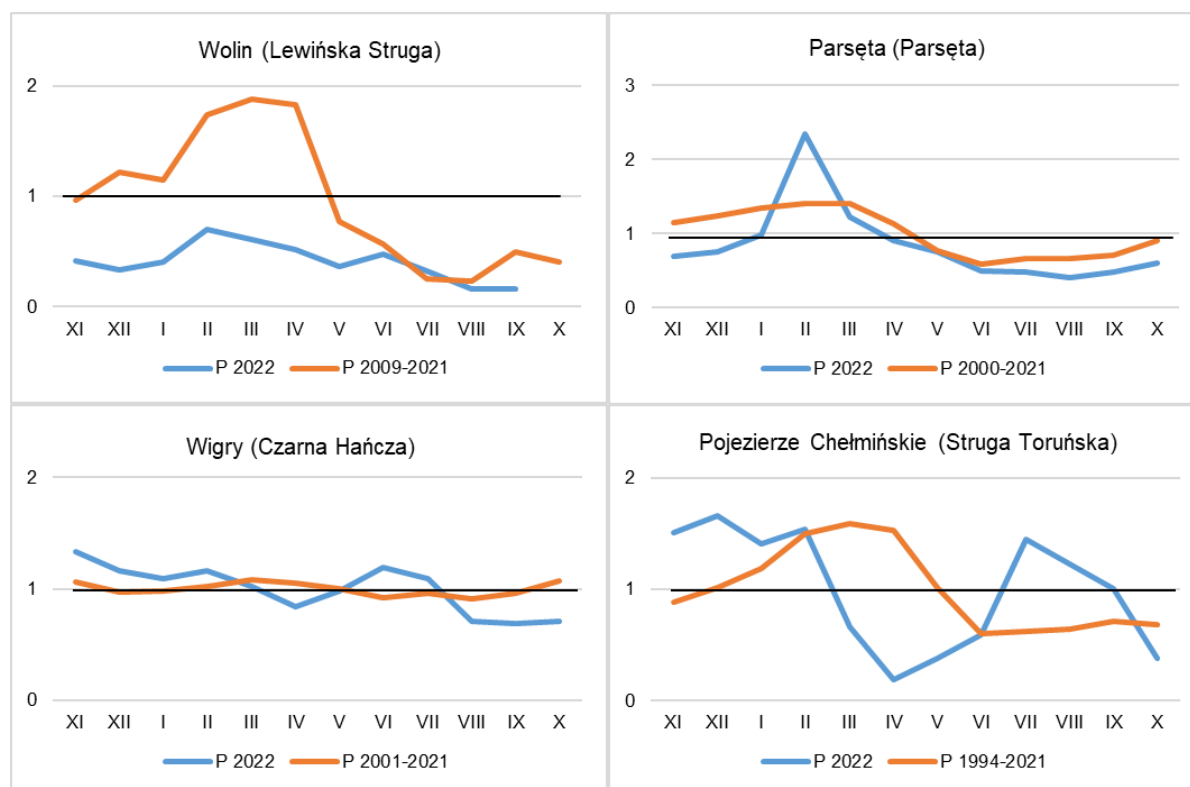
gdzie:

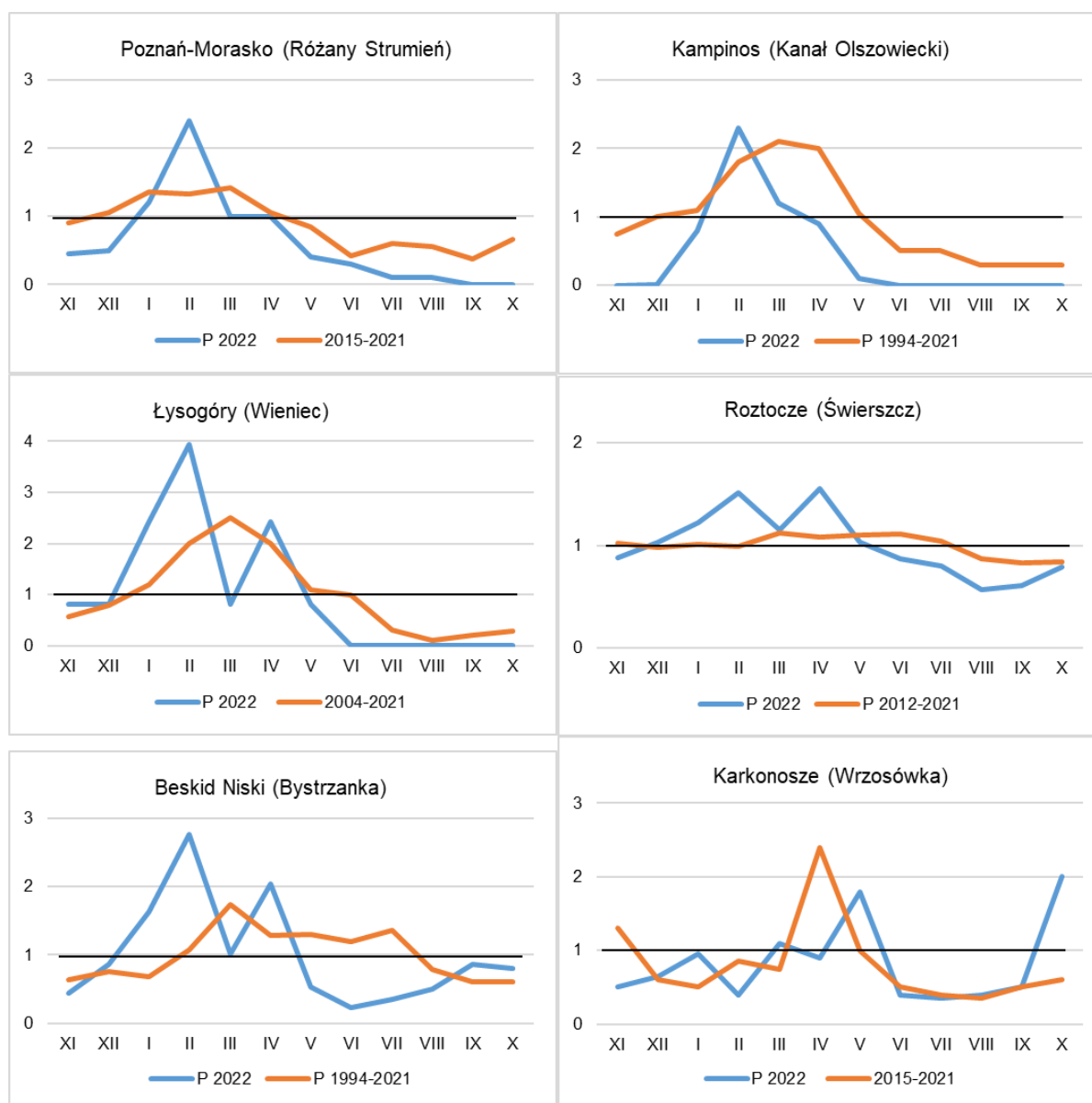
SQ_{mi} – średni przepływ j-tego miesiąca w wieloleciu;

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 2022 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 Hańcy i Wrzosówki. W większości zlewni (Parsęta, Struga Toruńska, Różany Strumień, Kanał Olszowiecki, Wieniec, Świerszcz i Bystrzanka) zaznaczyły się wyższe przepływy w półroczu zimowym, w szczególności w styczniu i lutym, co wynikało z większych sum opadów atmosferycznych przy mniejszej ewapotranspiracji w tym okresie. Deficyt opadów w marcu wyraźnie zaznaczył się w zdecydowanie niższych przepływach. Najwyższe przepływy w zlewni Wrzosówki wystąpiły miesiąc później niż w wieloleciu, w maju. Związane jest to z dłuższym zaleganiem pokrywy śnieżnej w wyższych partiach Karkonoszy i późniejszym zasilaniem roztopowym. Generalnie najmniejsze przepływy, poza marcem, występowały głównie od czerwca do września, kiedy to pięć monitorowanych cieków okresowo (lub stale) nie prowadziło wody (Lewińska Struga, Struga Toruńska, Różany Strumień, Kanał Olszowiecki i Wieniec). Wyjątkowo niskie przepływy w odniesieniu do wartości z wielolecia, bliskie zeru, wystąpiły również na Pogórzu Karpackim i w Beskidzie Niskim.





Ryc. 14. Zmienność czasowa współczynników miesięcznych przepływu w roku hydrologicznym 2022 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_{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_{pod} , jak i zysk wody w zlewni związany ze zmianami jej retencji ΔR .

Określając uproszczony roczny bilans wodny w zlewniach ZMŚP dla 2022 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 2022 roku wykazała wyraźną zmienność przestrzenną oraz względnie niekorzystną sytuację hydrometeorologiczną do retencji wody w całej Polsce. Największy deficyt odpływu wody występował w wyżynnej strefie krajobrazowej, w Stacjach Łysogóry (580,4 mm) i Roztocze (548,4 mm) oraz w Beskidzie Niskim (604,6 mm). Z kolei najniższy deficyt odpływu obliczono dla Czarnej Hańczy 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, na niski deficyt odpływu (344,6 mm) wpłynęły ujemne anomalie opadowe w marcu oraz kwietniu, czyli okresie kluczowym w kształtowaniu obiegu wody w zlewni. W pozostałych zlewniach nizinnych deficyt odpływu mieścił się w zakresie od 356,8 mm (Struga Toruńska) do 506,2 mm (Stara Rzeka) (Tab. 17). W porównaniu z rokiem 2021, w 3 Stacjach (Wolin, Parsęta i Karkonosze) deficyt odpływu był wyższy w 2022 roku. Uproszczony bilans wodny w 2022 roku (średnio 462 mm) był zbliżony do suchych i ciepłych lat 2015, 2018 i 2019 (średni deficyt odpływu wody odpowiednio 440, 439 i 475 mm). Z kolei porównując z latami ciepłymi i normalnymi pod względem opadów: 2016 (529 mm) i 2020 (549 mm), a w szczególności z wilgotnym rokiem 2017 (625 mm), wartość z roku 2022 jest niższa.

Reasumując, znaczna ilość dostarczanej wraz z opadami wody, która w 2022 roku była niższa od średniej wieloletniej, tracona była na parowanie terenowe. Straty na parowanie terenowe wskutek ciepłego 2022 roku mogły wynosić około 380-400 mm rocznie (Awłasiewicz 1953). Generalnie we wszystkich badanych zlewniach w 2022 roku, warunki do odbudowy zasobów wodnych były względnie niekorzystne. Wystąpiła bardzo niekorzystna

sytuacja ujemnej retencji wodnej w badanych geoekosystemach, co stanowiło o niesprzyjających warunkach życiowych dla roślin i zwierząt, co jednak nie wpłynęło znacząco na pogorszenie jakości wód krążących w zlewniach

Tab. 17. Miesięczne wysokości warstwy opadu i odpływu [mm], oraz skróconego bilansu wodnego [mm] w 2022 roku hydrologicznym w zlewniach ZMŚP

Stacja (zlewnia)	P Opad atmosferyczny	H _{pow} Odpływ powierzchniowy	S Deficyt odpływu P-H _{pow}
	[mm]		
Wolin (Lewińska Struga)	544,4	53,1	491,3
Parsęta (Parsęta)	551,4	189,2	362,2
Wigry (Czarna Hańcza)	586,8	242,2	344,6
Pojezierze Chełmińskie (Struga Toruńska)	456,6	99,8	356,8
Poznań-Morasko (Różany Strumień)	476,3	21,9	454,4
Kampinos (Kanał Olszowiecki)	519,9	26,9	493,0
Łysogóry (Wieniec)	610,7	30,3	580,4
Roztocze (Świerszcz)	617,6	69,2	548,4
Pogórze Karpackie (Stara Rzeką)	576,8	70,6	506,2
Beskid Niski (Bystrzanka)	691,2	86,6	604,6
Karkonosze (Wrzosówka)	1015,2	673,6	341,6

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

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

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 rzeczny. 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 rzeczno 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,
- zagrożenie eutrofizacją wód powierzchniowych,
- bilans jonów denudacyjnych i biogennych.

6.1. Opady atmosferyczne

Opady atmosferyczne cechują się przeważnie niskim stężeniem substancji rozpuszczonych i obniżonym odczynem. W zlewniach badawczych ZMŚP obserwowane jest wyraźne zróżnicowanie fizykochemicznych właściwości opadów atmosferycznych, które

związane jest ze zróżnicowanym czasowo-przestrzennie oddziaływaniem czynników naturalnych oraz zanieczyszczeń antropogenicznych.

Klasyfikacja pH/SEC opadów atmosferycznych

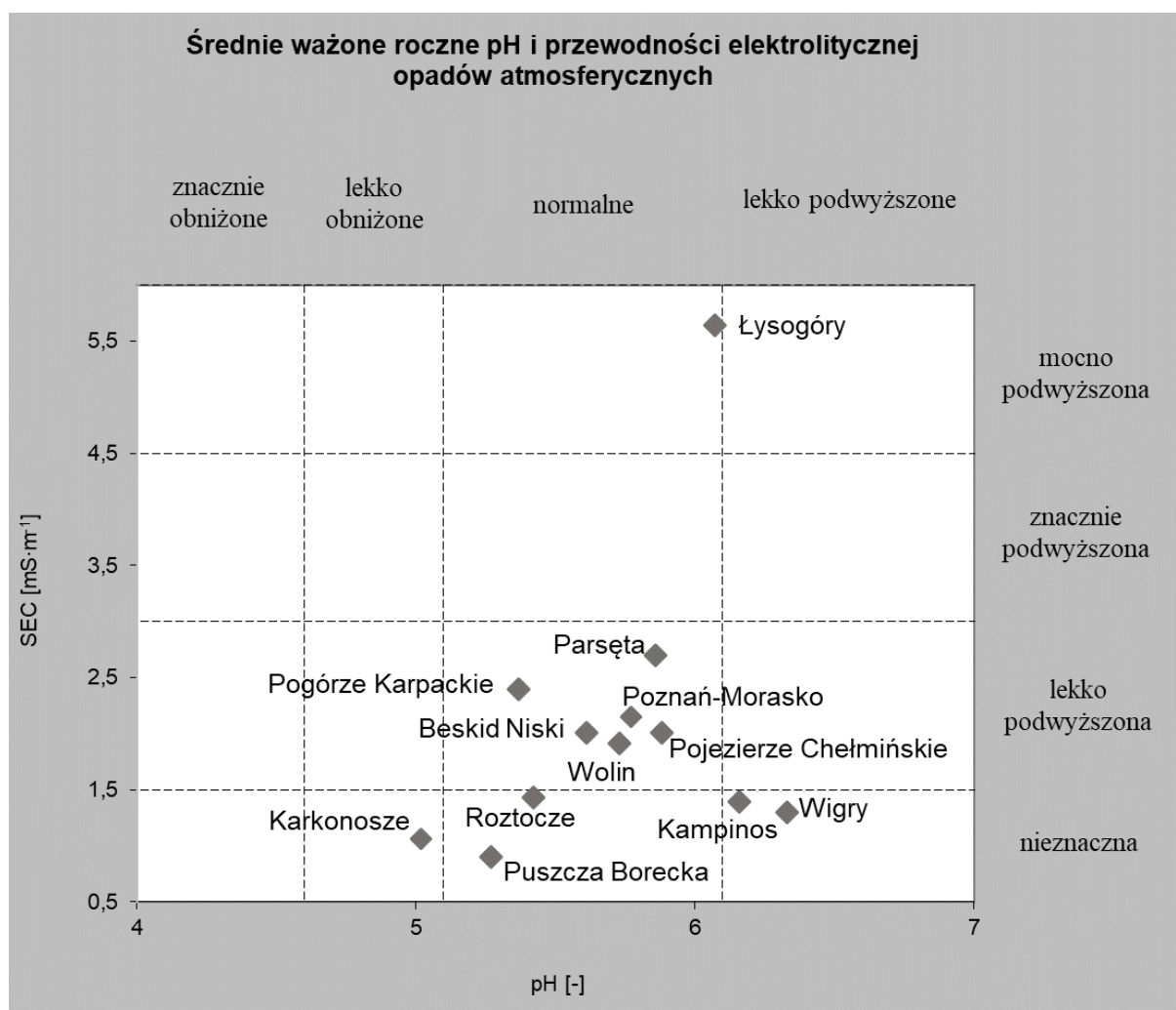
Wskaźnik ten został określony na podstawie tzw. klasyfikacji austriackiej jakości opadów atmosferycznych (Jansen i in. 1988). Ze względu na jego dużą przydatność do oceny odczynu i przewodności elektrolitycznej opadów atmosferycznych został wprowadzony do obligatoryjnego stosowania w sprawozdaniach Stacji Bazowych ZMŚP. Klasyfikacja pH/SEC ukazuje czasowe zróżnicowanie jakości wód opadowych (trendy i tendencje) w zróżnicowanych geoekosystemach Polski. W zakresie przewodności elektrolitycznej właściwej wskaźnik jest podzielony na 6 klas jakościowych (Tab. 18). W odniesieniu do odczynu wody opadowej klasyfikacja pH/SEC opadów atmosferycznych zawiera 5 klas jakościowych (Tab. 19) (Szpikowski 2012). Wskaźnik klasyfikacji pH/SEC opadów atmosferycznych w 2021 roku przedstawiono na rycinie 12.

Tab. 18. 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	nieznaczną
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. 19. 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 2022 roku (dla opadu całkowitego)

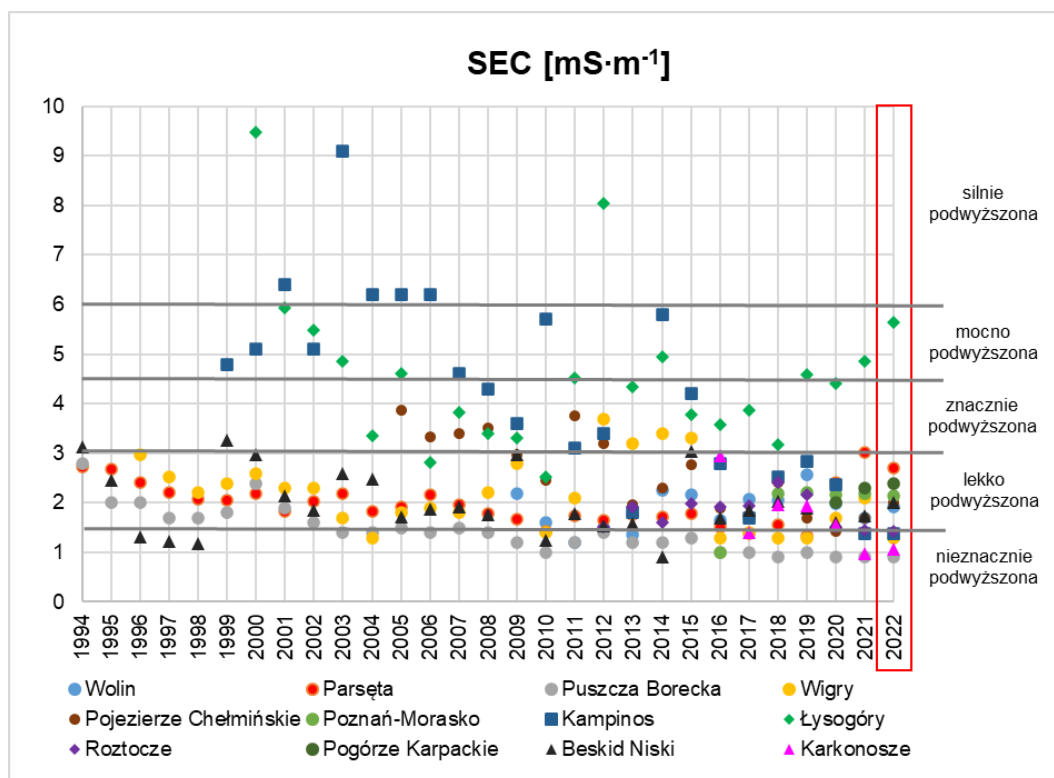
Wskaźnik klasyfikacji SEC opadów atmosferycznych w 2022 roku hydrologicznym w zakresie średniej ważonej przewodności elektrolitycznej (Ryc. 15) charakteryzował się następującymi właściwościami:

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

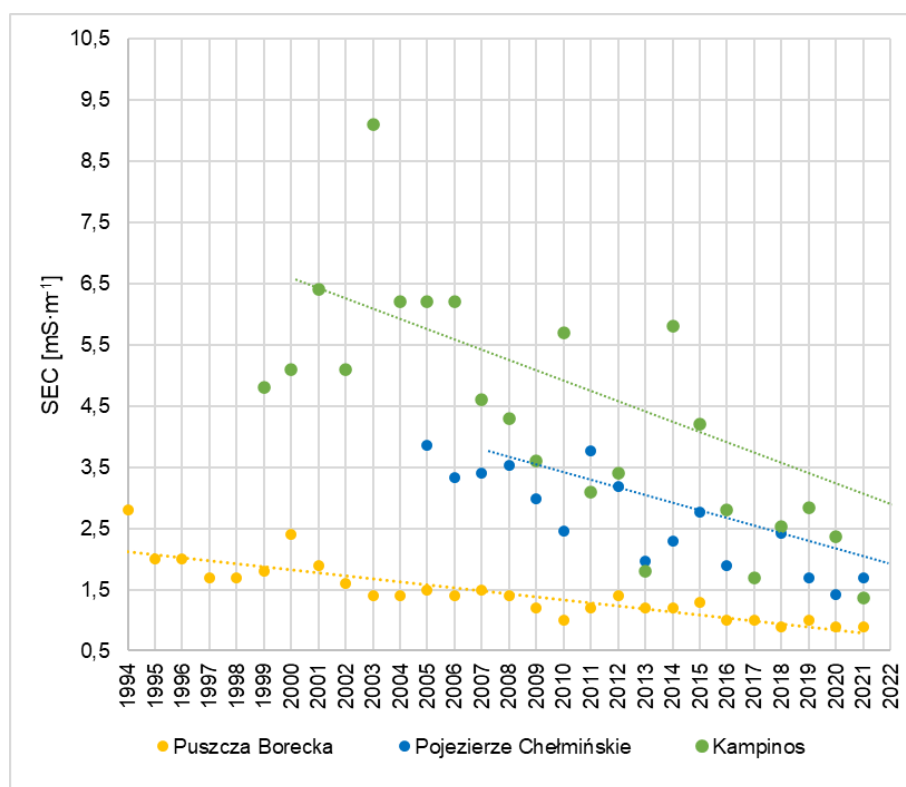
Jakość opadów atmosferycznych w 2022 roku pod względem wskaźnika SEC w porównaniu z ubiegłym rokiem w większości stacji pozostała na podobnym poziomie. Poprawie uległa jakość opadów w Stacjach Parsęta (z klasy znacznie podwyższonej przewodności do lekko podwyższonej) oraz Wigry (z klasy lekko podwyższonej do nieznacznej). W żadnej Stacji nie stwierdzono pogorszenia jakości opadów pod względem

przewodności elektrolitycznej właściwej. 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 $1,43 \text{ mS} \cdot \text{m}^{-1}$ w Kampinosie (Ryc. 17).



Ryc. 16. Zmienność czasowa SEC opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2022 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

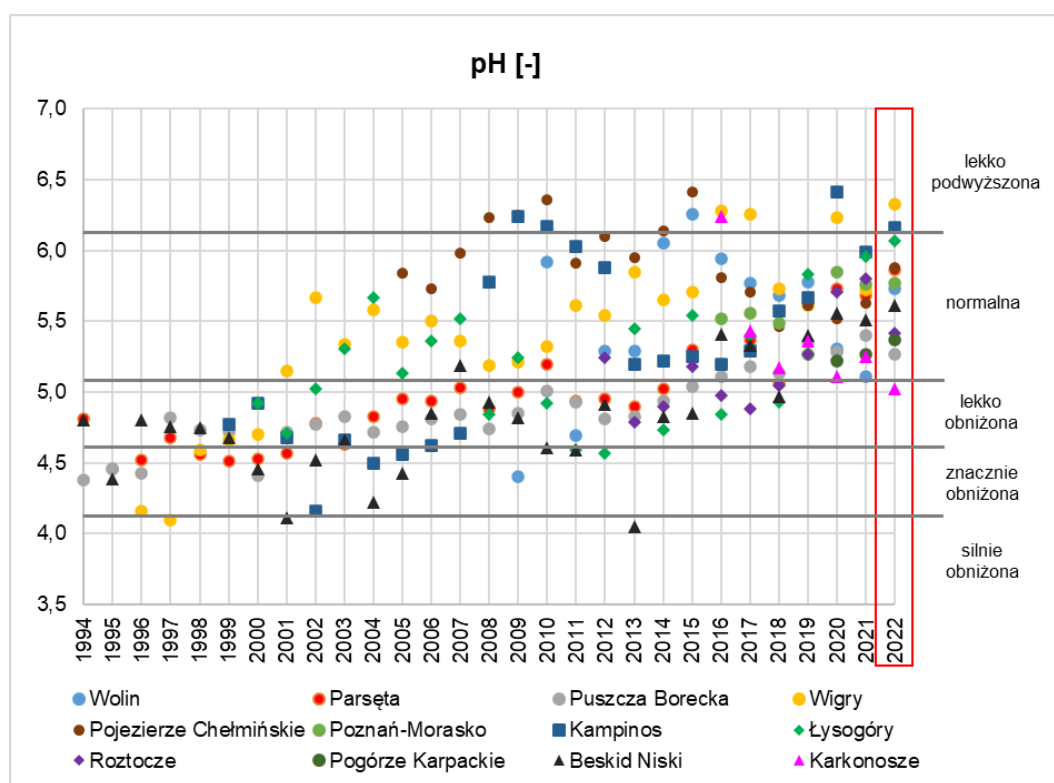
Klasyfikacja odczynu opadów atmosferycznych w 2022 roku hydrologicznym (Ryc. 15) charakteryzowała się następującymi właściwościami:

- pH lekko podwyższone stwierdzono w 2 Stacjach: Wigry i Kampinos;
- pH normalne stwierdzono w pozostałych 9 Stacjach: Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Pojezierze Chełmińskie, Poznań-Morasko, Łysogóry, Rostocze, Pogórze Karpackie i Beskid Niski;
- pH lekko obniżone stwierdzono w 1 Stacji: Karkonosze.

W odniesieniu do 2021 roku odczyn opadów w 2022 roku uległ pewnemu pogorszeniu. W roku 2021 we wszystkich Stacjach ZMŚP stwierdzono pH normalne, a w 2022 pH lekko podwyższone stwierdzono w Wigrach i w Kampinosie. Ponadto w Karkonoszach stwierdzono pH lekko obniżone. Jednak w porównaniu z latami wcześniejszymi, jakość opadów się poprawiła, ponieważ drugi rok z rzędu w żadnej stacji opady atmosferyczne nie zostały zaliczone do klasy lekko obniżonego pH (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 0,26 w Puszczy Boreckiej do 0,61 pH w Kampinosie (Ryc. 19).

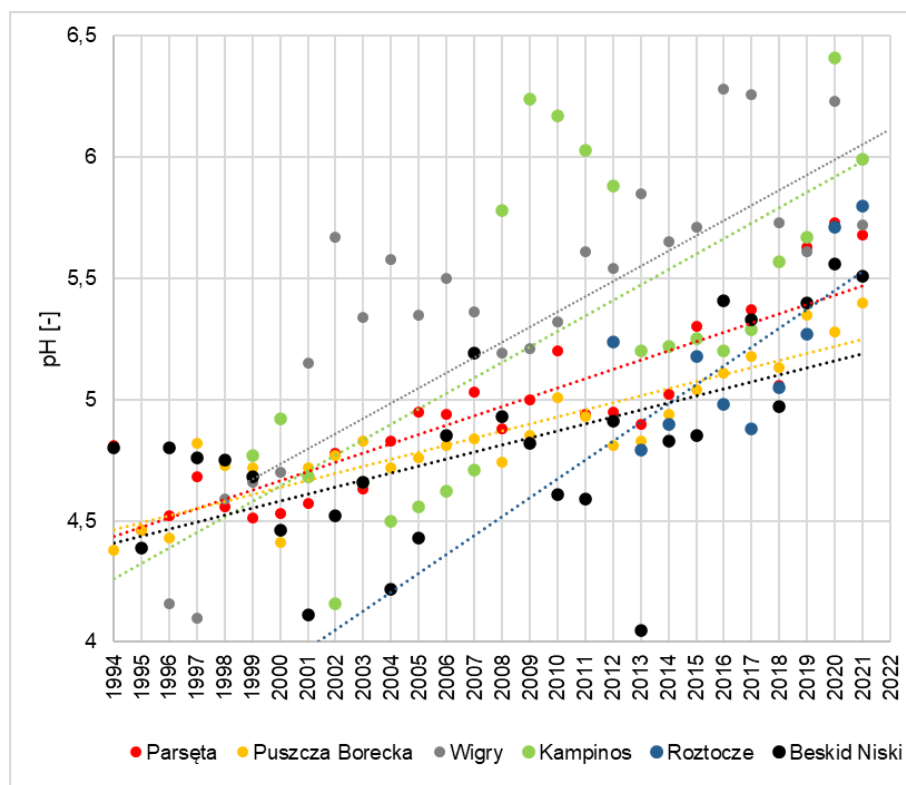


Ryc. 18. Zmienność czasowa kwasowości opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2022 roku hydrologicznym na tle wielolecia

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 2022 roku jakość atmosferycznej dostawy wody do badanych zlewni była dobra. W 2022 roku opady miały raczej niską mineralizację i normalny odczyn. Mała koncentracja substancji rozpuszczonych i niska kwasowość opadów w 2022 roku

w większości geosystemów (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, Pojezierze Chełmińskie, Kampinos, Roztocze i Beskid Niski

Wskaźnik udziału czynników kwasogennych w zakwaszaniu opadów atmosferycznych

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

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

gdzie:

WCK – wskaźnik czynników kwasogennych w zakwaszaniu opadów;

SJ NO_3^- – stężenie jonów NO_3^- [$\text{meq} \cdot \text{dm}^{-3}$];

SJ SO_4^{2-} – stężenie jonów SO_4^{2-} [$\text{meq} \cdot \text{dm}^{-3}$].

Zmiany zachodzące w chemizmie wód opadowych, podziemnych i powierzchniowych upoważniają do wykorzystywania tego wskaźnika kwasogenności ujmującego relację stężenia jonów azotanowych do jonów siarczanowych. Obecność tych jonów może wskazywać na

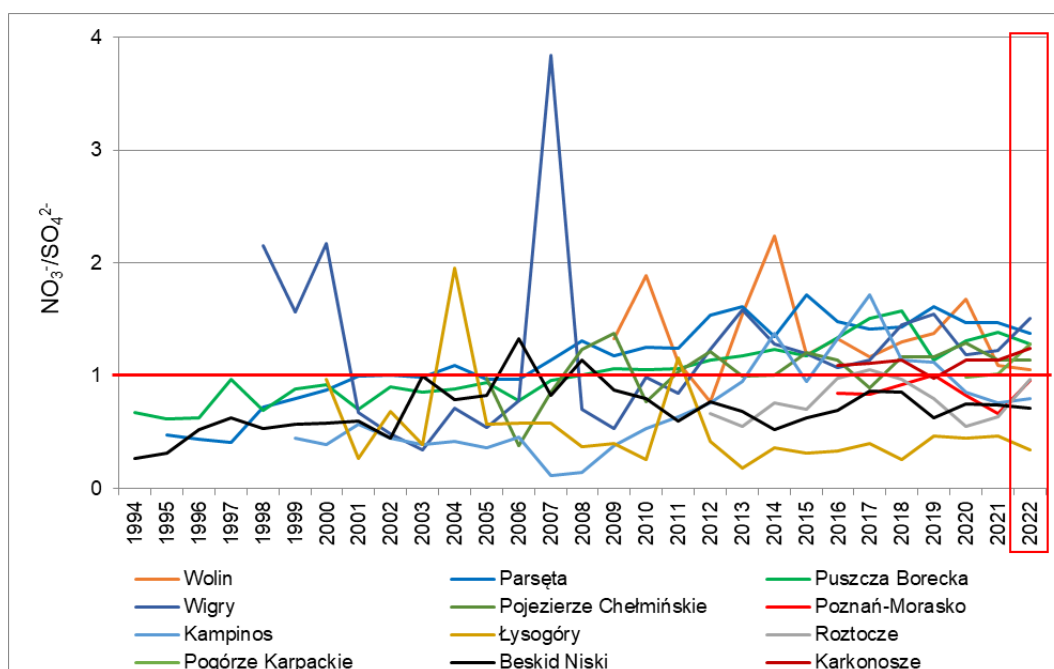
zmiany zachodzące m.in. w jakości powietrza oraz opadów atmosferycznych, co wywiera wpływ na jakość wody w kolejnych etapach jej obiegu – wód podziemnych i powierzchniowych.

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 1994-2022 (Ryc. 20) następujące tendencje:

- utrzymującą się przewagę roli NO_3^- nad 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 2022 roku udział NO_3^- w zakwaszaniu opadów stwierdzono w 7 stacjach położonych w północnej i zachodniej Polsce: Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie i Karkonosze, a także na Pogórzu Karpackim;
- większy w 2022 roku udział SO_4^{2-} w zakwaszaniu opadów stwierdzono w 5 stacjach położonych w Polsce południowej i południowo-wschodniej: Łysogóry, Roztocze, Beskid Niski oraz w pobliżu dużych aglomeracji miejskich: Poznań-Morasko i Kampinos.

Na podstawie wieloletniej serii pomiarowej, zaobserwowano zależność przestrzenną większego udziału NO_3^- w zakwaszaniu opadów w Polsce północnej i zachodniej, z kolei większego udziału SO_4^{2-} w Polsce południowo-wschodniej. W porównaniu z rokiem 2021 nie nastąpiły większe zmiany w zakresie wskaźnika czynników kwasogennych w zakwaszaniu opadów. Tendencja czasowa wskaźnika udziału czynników kwasogennych ukazuje większą presję w zakwaszaniu opadów czynnika związanego z zanieczyszczeniami komunikacyjnymi (azotany) niż z zanieczyszczeniami pochodzącymi ze spalania paliw kopalnych (siarczany).



Ryc. 20. Zmiany wskaźnika czynników kwasogennych w zakwaszaniu wód opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP w wieloleciu 1994-2022

Wskaźnik chlorkowo-sodowy i stężenie substancji rozpuszczonych w opadach atmosferycznych

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

Przestrzenne zróżnicowanie stężenia jonów Cl^- i Na^+ w wodach opadowych w 2022 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 Cl^- i Na^+ wyznaczono także w transekcie równoleżnikowym, w strefie młodoglacjalnej Niżu Polskiego (Stacje ZMŚP: Wolin → Parsęta → Puszcza Borecka → Wigry). W transektach południkowych i równoleżnikowym stężenie jonów chlorkowych i sodowych powinno ulegać redukcji w miarę oddalania się od wybrzeża Bałtyku (Tab. 20).

W 2022 roku, podobnie jak w latach wcześniejszych, rozkład przestrzenny stężenia jonów pochodzenia morskiego w Polsce nizinnej wykazywał pozytywną prawidłowość spadku koncentracji jonów Cl^- i Na^+ wraz z oddalaniem się od wybrzeża Bałtyku. W strefie nadmorskiej (Wolin) średnie ważone stężenie jonów chlorkowych i sodowych było najwyższe (odpowiednio $2,43$ i $1,41 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$). 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) Cl^- $0,85$ i Na^+ $0,50 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ i w strefie nizin (Kampinos) Cl^- $0,65$ i Na^+ $0,27 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. W transekcie równoleżnikowym strefy młodoglacjalnej Niżu Polskiego występował spadek stężenia zarówno chlorków, jak i sodu w opadach – odpowiednio od $2,43 \text{ mg Cl} \cdot \text{dm}^{-3}$ i $1,41 \text{ mg Na} \cdot \text{dm}^{-3}$ w Wolinie, poprzez $1,43 \text{ mg Cl} \cdot \text{dm}^{-3}$ i $0,93 \text{ mg Na} \cdot \text{dm}^{-3}$ w zlewni górnej Parsęty oraz $0,60 \text{ mg Cl} \cdot \text{dm}^{-3}$ i $0,27 \text{ mg Na} \cdot \text{dm}^{-3}$ w Puszczy Boreckiej do $0,35 \text{ mg Cl} \cdot \text{dm}^{-3}$ i $0,15 \text{ mg Na} \cdot \text{dm}^{-3}$ w Wigrach.

Średnie stężenia jonów chlorkowych i sodowych w strefie wyżynnej ($2,69 \text{ mg Cl dm}^{-3}$ i $1,09 \text{ mg Na dm}^{-3}$) 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. 20. Średnie stężenie substancji rozpuszczonych w wodach opadowych w zlewniach ZMŚP w 2022 roku

Stacja ZMŚP	Strefa krajobrazowa	S-SO ₀	N-NO ₃	N-NH ₄	Cl	Na	K	Mg	Ca
		[mg·dm ⁻³]							
Wolin	nadmorska	0,40	0,37	0,36	2,43	1,41	0,25	0,20	0,74
Parsęta	pojezierzy	0,25	0,30	0,51	1,43	0,93	0,21	0,24	2,41
Puszcza Borecka		0,24	0,27	0,46	0,60	0,27	0,07	0,05	0,17
Wigry		0,22	0,29	0,36	0,35	0,15	0,07	0,04	0,21
Pojezierze Chełmińskie		0,37	0,37	0,75	0,56	0,31	0,22	0,14	1,00
Poznań-Morasko		0,49	0,41	0,69	1,32	0,84	0,35	0,16	1,31
Kampinos	nizin	0,53	0,37	0,61	0,65	0,27	0,08	0,15	1,06
Łysogóry	wyżyn	3,16	0,96	1,77	4,81	2,03	2,01	1,43	2,17
Roztocze		0,52	0,44	0,33	0,57	0,15	0,18	0,08	1,28
Pogórze Karpackie	gór średnich	0,75	0,65	1,02	0,85	0,21	0,24	0,09	1,08
Beskid Niski		1,12	0,70	0,32	0,87	0,62	0,42	0,40	1,23
Karkonosze		0,34	0,37	0,41	0,44	0,23	0,04	0,04	0,15

W zachodnim transekcie południkowym, podobnie jak w latach poprzednich, stwierdzono wyraźny spadek stężenia jonów sodowych i chlorkowych, od pasa nadmorskiego (Wolin 2,43 mg Cl·dm⁻³ i 1,41 mg Na·dm⁻³), poprzez pas pojezierzy (Parsęta 1,43 mg Cl·dm⁻³ i 0,93 mg Na·dm⁻³, Poznań-Morasko 1,32 mg Cl·dm⁻³ i 0,84 mg Na·dm⁻³) do pasa gór średnich (Karkonosze 0,44 mg Cl·dm⁻³ i 0,23 mg Na·dm⁻³). W przeciwieństwie do poprzednich lat, nie została zakłócona normalna tendencja spadku stężenia jonów chlorkowych i sodowych w miejskiej Stacji Poznań-Morasko. We wcześniejszych latach 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 w opadach atmosferycznych w zlewni Rózanego Strumienia wskutek negatywnego oddziaływania aglomeracji Poznania. Korzystniejsza sytuacja w 2022 roku może świadczyć o poprawie jakości powietrza w Poznaniu. Należy jednak zweryfikować tę tendencję w kolejnych latach pomiarowych.

W środkowym transekcie południkowym tendencja spadku stężenia jonów chlorkowych i sodowych została całkowicie zaburzona. Największe stężenia wystąpiły w pasie wyżyn (Łysogóry 4,81 mg Cl·dm⁻³ i 2,03 mg Na·dm⁻³) i gór średnich (Pogórze Karpackie 0,85 mg Cl·dm⁻³ i 0,21 mg Na·dm⁻³, Beskid Niski 0,87 mg Cl·dm⁻³ i 0,62 mg Na·dm⁻³), a niższe w strefie pojezierzy (Pojezierze Chełmińskie 0,56 mg Cl·dm⁻³ i 0,31 mg Na·dm⁻³).

$\text{Na} \cdot \text{dm}^{-3}$) i nizin (Kampinos $0,65 \text{ mg Cl} \cdot \text{dm}^{-3}$ i $0,27 \text{ mg Na} \cdot \text{dm}^{-3}$). We wschodnim transekcje południkowym, nie stwierdzono istotnych różnic stężeń jonów chlorkowych i sodowych w pasie pojezierzy i wyżyn. Na wyżynnym Roztoczu wyniosły one $0,57 \text{ mg Cl} \cdot \text{dm}^{-3}$ i $0,15 \text{ mg Na} \cdot \text{dm}^{-3}$, a w strefie pojezierzy: w Wigrach: $0,35 \text{ mg Cl} \cdot \text{dm}^{-3}$ i $0,15 \text{ mg Na} \cdot \text{dm}^{-3}$ oraz w Puszczy Boreckiej: $0,60 \text{ mg Cl} \cdot \text{dm}^{-3}$ i $0,27 \text{ mg Na} \cdot \text{dm}^{-3}$). Wyższe stężenia jonów chlorkowo-sodowych w Polsce południowo-wschodniej 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 $5 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$.

Analiza średniego stężenia substancji rozpuszczonych w wodach opadowych w 2022 roku wykazała pewne różnice przestrzenne (Tab. 20). 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 2022 roku wody podziemne we wszystkich jednolitych częściach wód występujących w zlewniach podziemnych ZMŚP, poza Kampinosem i Łysogórami, posiadały dobry stan chemiczny (Tab. 21). Na zakwalifikowanie wód obu tych zlewni do stanu słabego oraz do niezadowalającej klasy jakości wody zaważyły przede wszystkim podwyższone zawartości azotu amonowego. Klasy jakości wody w żadnej z pozostałych zlewni podziemnych nie były gorsze od klasy zadowalającej, dla której wartości elementów fizykochemicznych są podwyższone w wyniku naturalnych procesów zachodzących w wodach podziemnych lub słabego wpływu działalności człowieka. Odczyn wody zakwalifikowany do klasy IV występował w zlewniach położonych w strefie wyżynnej (Łysogóry i Roztocze) 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 (Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie i Poznań-Morasko). Jedynie nadmorska zlewnia Lewińskiej Strugi (Stacja Wolin) miała dobrą klasę. W głównej mierze wpłynęły na to 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 trzy zlewnie (Roztocze, Pogórze Karpackie i Karkonosze), a do niezadowalającej zlewnię w Łysogórach. W porównaniu z poprzednim rokiem wody podziemne w monitorowanych zlewniach pogorszyły swoją jakość. Największe pogorszenie, z I do IV klasy wystąpiło w przypadku stężenia jonów amonowych w zlewniach Kanału Olszowieckiego i Wieńca, co poskutkowało zakwalifikowaniem wód podziemnych w tych zlewniach do niezadowalającej klasy jakości wody oraz określeniem stanu chemicznego jako słaby. Gorszą jakość, w porównaniu z rokiem 2021, stwierdzono również w przypadku jonów fosforanowych (Stacja Roztocze), jonów wodorowęglanowych (Stacje: Puszcza Borecka

i Kampinos), jonów chlorkowych (Stacja Łysogóry). Z kolei poprawę jakości zanotowano tylko w przypadku jonów siarczanowych w Wigrach. Powyższe zmiany nie wpłynęły jednak na klasyfikację wód w tych zlewniach.

Tab. 21. Klasy jakości wody i stan chemiczny wód podziemnych w zlewniach ZMŚP w 2022 roku wg wybranych elementów fizykochemicznych

Stacja ZMŚP	Odczyn	PEW	Ca	Na	Mg	K	PO ₄	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	NH ₄	Klasa jakości wody	Stan chemiczny
	[-]	[mS·m ⁻¹]	[mg·dm ⁻³]											
Wolin	I	I	II	I	I	I	I	II	I	I	I	I	dobra	dobry
Parsęta	I	I	II	I	I	I	I	I	I	I	III	I	zadowalająca	dobry
Puszcza Borecka	I	II	III	III	I	I	I	III	I	I	I	I	zadowalająca	dobry
Wigry	I	II	III	I	I	I	I	II	I	I	II	I	zadowalająca	dobry
Pojezierze Chełmińskie	I	I	I	I	I	I	I	III	I	I	I	I	zadowalająca	dobry
Poznań-Morasko	I	II	III	I	I	I	I	III	II	II	I	I	zadowalająca	dobry
Kampinos	I	II	III	I	I	I	I	III	I	II	I	IV	niezadowalająca	słaby
Łysogóry	IV	I	I	I	I	I	I	I	II	I	I	IV	niezadowalająca	słaby
Roztocze	IV	I	I	I	I	I	III	I	I	I	I	I	zadowalająca	dobry
Pogórze Karpackie	III	I	II	I	I	I	I	II	II	I	III	I	zadowalająca	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	zadowalająca	dobry

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

6.3. Wody powierzchniowe

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

W 2022 roku monitoring fluwialnego odpływu wody i substancji rozpuszczonych prowadzono w 11 ciekach wodnych. Jedynie dla odpływu z jeziora Łękuk (Puszcza Borecka) niemożliwe było prowadzenie tego zadania ze względu na zakłócenia odpływu wody w cieku spowodowane działalnością bobrów.

Odpływ fluwialny stanowi podstawową drogę odprowadzania substancji rozpuszczonych. W odpływie rzeczny 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 2022 roku podobnie jak w poprzednich latach pozwoliła zakwalifikować je wg klasyfikacji Altowskiego i Szwieca (Macioszczyk 1987) do wód prostych o następujących typach hydrochemicznych:

- wodorowęglanowo-siarczanowo-wapniowych (Lewińska Struga, Bystrzanka);
- wapniowo-wodorowęglanowych (Parsęta, Świerszcz);
- wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowych (Czarna Hańcza);
- wapniowo-wodorowęglanowo-chlorkowych (Struga Toruńska, Różany Strumień);
- wapniowo-wodorowęglanowo-siarczanowych (Kanał Olszowiecki);
- siarczanowo-chlorkowo-wapniowo-magnezowo-sodowych (Wieniec);
- wodorowęglanowo-wapniowo-sodowo-magnezowych (Stara Rzeką);
- siarczanowo-wodorowęglanowo-wapniowo-sodowych (Wrzosówka).

Mineralizacja wód rzecznych i transport ładunku substancji rozpuszczonych determinowane są przepływem wody. Dynamika przewodności elektrolitycznej właściwej (SEC – wskaźnik mineralizacji wód rzecznych) zależy od wielkości przepływu i wykazuje zależność odwrotnie proporcjonalną. Najwyższe wartości SEC występują podczas niskich stanów wód, kiedy w wodach rzecznych jest znaczący udział wysoko zmineralizowanych wód podziemnych. Natomiast najniższe wartości SEC występują podczas wysokiego przepływu wody, zwłaszcza w trakcie wezbrań roztopowych i opadowych, kiedy wody rzeczne ulegają rozcieńczaniu w wyniku znacznej dostawy niskozmineralizowanego deszczu i śniegu. Przewodność elektrolityczna właściwa (SEC) w 2022 roku cechowała się dużym zróżnicowaniem przestrzennym (Tab. 22). Mineralizacja wody w 2022 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 geoelementach. Najwyższa przewodność elektrolityczna właściwa, podobnie jak w latach poprzednich, występowała w Strudze Toruńskiej $88,91 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ i Różanym Strumieniu $81,60 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$, 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 $2,37 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$. W strefie wyżynnej (średnia mineralizacja $21,20 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$) i górskiej (średnia mineralizacja $28,06 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$) odpływ wody ze zlewni jest szybszy

i udział nisko zmineralizowanych wód opadowych w systemie rzeczny jest największy. W pozostałych monitorowanych ciekach nizinnych (Lewińska Struga, Parsęta, Czarna Hańcza i Kanał Olszowiecki) wartość SEC wynosiła od 32,72 do 55,28 mS·m⁻¹ (Tab. 22). Zmienność przestrzenna wartości SEC w 2022 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. 22. Średnie stężenie substancji rozpuszczonych w wodach rzecznych w zlewniach ZMŚP w 2022 roku

Stacja (zlewnia)	Strefa krajobrazowa	S-SO ₄	N-NO ₃	N-NH ₄	Cl	Na	K	Mg	Ca	HCO ₃	SEC	pH
		[mg·dm ⁻³]									[mS·m ⁻¹]	[-]
Wolin (Lewińska Struga)	nadmorska	11,69	0,19	0,09	19,65	12,76	2,53	6,07	52,78	149,6	32,72	7,68
Parsęta (Parsęta)	pojezierzy	12,79	1,89	0,19	7,50	6,40	2,01	5,63	77,58	209,64	40,90	7,94
Wigry (Czarna Hańcza)		8,82	1,65	0,09	25,36	19,39	6,09	14,19	74,53	271,39	55,28	8,24
Pojezierze Chełmińskie (Struga Toruńska)		37,90	3,09	0,14	74,30	17,80	11,00	21,12	142,00	376,00	85,80	7,90
Poznań-Morasko (Różany Strumień)		25,51	1,64	0,09	68,20	35,44	4,17	12,84	146,72	283,50	88,91	7,85
Kampinos (Kanał Olszowiecki)	nizin	19,54	0,33	0,03	19,54	8,88	1,27	10,56	97,02	169,62	53,04	7,02
Łysogóry (Wieniec)	wyżyn	14,73	1,07	1,11	15,98	7,84	3,68	5,26	12,82	4,36	17,20	4,85
Roztocze (Świerszcz)		5,08	0,25	0,05	2,46	2,13	0,99	1,49	48,75	134,80	25,20	7,37
Pogórze Karpackie (Stara Rzeką)	gór średnich	16,42	0,79	0,06	31,00	21,80	4,00	12,90	66,30	219,40	47,30	7,65
Beskid Niski (Bystrzanka)		13,10	1,25	0,09	11,64	16,20	3,68	7,30	58,60	190,70	34,50	8,09
Karkonosze (Wrzosówka)		2,05	0,20	0,05	0,87	1,61	0,29	0,41	1,75	3,32	2,37	5,76

Odczyn wód rzecznych w 2022 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. 16) związane z ograniczonym odpływem wody w niektórych zlewniach (np. Lewińska Struga, Wieniec).

Zasady klasyfikacji i oceny stanu wód powierzchniowych zawarte są w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021 r. w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego oraz sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych, a także środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych, które w zakresie swojej regulacji wdraża rapową dyrektywę wodną oraz dyrektywy ją zmieniające. Ocenę stanu wód powierzchniowych wykonuje się w odniesieniu do jednolitych części wód (JCWP).

Zlewnie rzeczne ZMŚP występują w następujących jednolitych częściach wód powierzchniowych:

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

Na ocenę stanu wód powierzchniowych składa się ocena stanu (potencjału) ekologicznego oraz ocena stanu chemicznego. Stan/potencjał ekologiczny ocenia się z kolei na podstawie wyników badań elementów biologicznych, które są decydujące oraz wspierających je wskaźników fizykochemicznych i hydromorfologicznych. Zakres realizowanego programu ZMŚP wody powierzchniowe – rzeki umożliwia dokonanie

klasyfikacji wybranych elementów fizykochemicznych wody. Wartości graniczne fizykochemicznych elementów jakości wód odnoszą się do Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021 r. w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego oraz sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych, a także środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych. W zlewniach ZMŚP w 2022 roku monitoring jakości wód płynących dotyczył następującego zakresu (Tab. 23):

- 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 2022 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, przy czym w trzech pierwszych rzekach wszystkie badane wskaźniki fizykochemiczne zaklasyfikowano do najwyższej (I) klasy. W przypadku Wrzosówki w Karkonoszach jedynie stężenie N-NH₄ nie osiągnęło wartości dla klasy I. Stan elementów fizykochemicznych w pozostałych siedmiu ciekach (Czarna Hańcza, Struga Toruńska, Różany Strumień, Kanał Olszowiecki, Wieniec, Stara Rzeka i Bystrzanka) przekracza normy stanu dobrego (Tab. 23), z uwagi na podwyższone stężenia 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. 23. Klasyfikacja wybranych elementów fizykochemicznych wód płynących w zlewniach ZMŚP w 2022 roku wg Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021

Stacja ZMŚP (zlewnia)	Temperatura	O ₂	BZT ₅	Odczyn	PEW	Ca	Mg	PO ₄	Cl	SO ₀	N-NO ₃	N-NH ₄	Klasyfikacja elementów fizykochemicznych
	[°C]	[mg·dm ⁻³]		[-]	[mS·m ⁻¹]	[mg·dm ⁻³]							
Wolin (Lewińska Struga)	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2 dobra
Parsęta (Parsęta)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1 bardzo dobra
Wigry (Czarna Hańcza)	1	1	1	<2	<2	1	<2	1	<2	1	2	1	<2 poniżej dobrego
Pojezierze Chełmińskie (Struga Toruńska)	1	1	2	1	<2	<2	<2	2	<2	<2	<2	1	<2 poniżej dobrego
Poznań-Morasko (Różany Strumień)	1	1	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	1	1	<2 poniżej dobrego
Łysogóry (Wieniec)	1	1	bd	<2	1	1	1	1	1	1	1	<2	<2 poniżej dobrego
Roztocze (Świerszcz)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1 bardzo dobra
Pogórze Karpackie (Stara Rzeką)	1	1	bd	1	2	<2	2	<2	2	1	1	1	<2 poniżej dobrego
Beskid Niski (Bystrzanka)	1	1	<2	1	<2	<2	2	1	2	1	2	1	<2 poniżej dobrego
Karkonosze (Wrzosówka)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2 dobra

bd – brak danych z przyczyn technicznych

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 2022 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. 24).

Tab. 24. Jakość wód stojących w 2022 roku wg wybranych elementów fizykochemicznych (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021)

Stacja Bazowa ZMŚP Jezioro	Wolin Gardno	Parsęta Czarne	Poj. Chełmińskie Kamionkowskie	Puszcza Borecka Łękuk
Tlen rozpuszczony [mg O ₂ /l]	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra
Przewodność [mS·cm ⁻¹]	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra
Fosfor ogólny [mg·dm ⁻³]	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra

Zagrożenie eutrofizacją wód powierzchniowych

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

(Rynkiewicz 2007). W związku z powyższym największe zagrożenie eutrofizacją dla wód powierzchniowych występuje w przypadku przekroczenia norm stężenia fosforu.

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

Poniżej przedstawiono analizę wyników uzyskanych w ramach programu H1 pod kątem zagrożenia wystąpienia zjawiska eutrofizacji. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z 2021 r., sposób oceny osiągnięcia celów środowiskowych dla obszarów wrażliwych na eutrofizację wywołaną zanieczyszczeniami pochodzącymi ze źródeł komunalnych uwzględnia wyniki oceny stanu wód oraz wartości osiągniętych wskaźników biologicznych i elementów fizykochemicznych z grup wskaźników 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 2022 roku, z pewnym prawdopodobieństwem z uwagi na ograniczony zakres badań, zagrożenie eutrofizacją można stwierdzić w czterech ciekach, przy czym w każdym przypadku miał na to wpływ inny element fizykochemiczny: w Strudze Toruńskiej były to przekroczone normy stanu dobrego dla azotu azotanowego ($3,09 \text{ mg N-NO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$), w Kanale Olszowieckim – dla tlenu rozpuszczonego ($5,82 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$), w Starej Rzece – fosforu ogólnego ($0,34 \text{ mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$) oraz w Bystrzance – BZT5 ($3,03 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$) (Tab. 25). 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. Przekroczone normy dobrego stanu dla BZT5 w Bystrzance mogą wynikać z presji ze strony źródeł bytowych i komunalnych, a także jak w przypadku Kanału Olszowieckiego, mogą być związane z notowanymi w 2022 r. wyjątkowo niskimi stanami wód w cieku. 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 2022 roku nie zostały przekroczone w żadnym z badanych jezior (Tab. 26), a zatem można przypuszczać, że badane jeziora nie są zagrożone eutrofizacją.

Tab. 25. Wskaźniki eutrofizacji rzek w Stacjach ZMŚP w 2022 roku

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

Tab. 26. Wskaźniki eutrofizacji jezior w Stacjach ZMŚP w 2022 roku

Stacja – jezioro	P _{og.} [mg·dm ⁻³]
Wolin – Jezioro Gardno	0,009
Parsęta – Jezioro Czarne	0,013
Puszcza Borecka – Jezioro Łękuk	0,050
Pojezierze Chełmińskie – Jezioro Kamionkowskie	0,050

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 rzecznej 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 2022 roku, który stanowi różnicę ładunku substancji rozpuszczonych wnoszonego z wodami opadowymi i odpływającego w wodach rzecznych (Tab. 27). W bilansie denudacyjnym uwzględniono tylko jony mierzone zarówno w wodach opadowych, jak i rzecznych. Uwzględniono jony, których głównym źródłem jest denudacja chemiczna (SO_4 , Cl, Na, Mg, Ca) oraz dostawa biogeniczna (NO_3 , NH_4 , K). Analiza bilansu denudacyjnego została przeprowadzona dla zlewni eksperymentalnych od źródła cieku do profilu zamykającego zlewnię. Nie analizowano bilansu denudacyjnego dla zlewni różnicowych Czarnej Hańczy (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) – NO_3 , NH_4 i K. Pozostałe składniki chemiczne (jony denudacyjne) występujące w wodach krążących w zlewni cechują się ujemnym bilansem. Ujemny bilans jonów denudacyjnych jest efektem przewagi ługowania gleb, wietrzenia chemicznego i dalszego ich odprowadzania fluwialnego nad ich dostawą wraz z opadami atmosferycznymi.

We wszystkich poprzednich latach w zlewniach o największej antropopresji zauważyć można było ekstremalnie ujemny bilans jonów denudacyjnych. Zwiększony odpływ materii rozpuszczonej w tych zlewniach, związany był ze znacznym udziałem powierzchni o rolniczym użytkowaniu, które wpływają na szybsze odprowadzanie substancji rozpuszczonych ze zlewni, np. Beskid Niski oraz Parsęta. W zlewniach o dużym udziale

lasów (np. Wolin, Roztocze, Karkonosze) znaczna ilość wody i ładunku substancji rozpuszczonych była przechwytywana przez roślinność. Obieg wody w tych zlewniach był spowolniony, co spowodowało że bilans jonów denudacji chemicznej był względnie najniższy. Specyficzna sytuacja występowała w zlewniach o ograniczonym odpływie wody w rzekach, np. Kanał Olszowiecki i Wieniec. W tych zlewniach sezonowo dochodziło do zaniku odpływu fluwialnego, dlatego bilans jonów denudacyjnych cechował się bilansem dodatnim, co było sytuacją anormalną.

Dla jonów biogennych we wszystkich 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 2022 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 Wienca w Górach Świętokrzyskich ($23,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). W pozostałych zlewniach, w tym po raz pierwszy od 2019 roku w zlewni Świerszcza na Roztoczu, stwierdzono ujemny bilans jonów denudacyjnych. Z kolei w przypadku jonów biogennych, we wszystkich zlewniach wystąpił bilans dodatni (np. Różany Strumień $10,7 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, Świerszcz $5,6 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, Wrzosówka $14,2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). Wysoki dodatni bilans jonów biogennych występował w zlewniach najbardziej zalesionych oraz w zurbanizowanej zlewni Rózanego Strumienia, natomiast niski dodatni bilans nutrienów związany był z wprowadzaniem nutrienów w związku z nawożeniem gruntów ornych.

Najniższe wartości całkowitego bilansu materii rozpuszczonej w 2022 r. (Tab. 27) stwierdzono w zlewniach podlegających największej dynamice energii (woda) i materii (substancje rozpuszczone): Parsęta $-172,6 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, Pogórze Karpackie $-105,8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ i Beskid Niski $-51,4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. W tych zlewniach obieg energii (wody) i materii (substancji rozpuszczonych) w 2022 roku był najmniej zaburzony w odniesieniu do prawidłowości wieloletniej. Odmienna, anormalna sytuacja wystąpiła w Łysogórach ($26,8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), gdzie całkowity bilans obiegu materii był dodatni. Dodatni bilans materii rozpuszczonej w tej

zlewni był skutkiem niskiego odpływu rzecznego, 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 rzeczno w okresie letnim. Warto podkreślić, że korzystne warunki hydrometeorologiczne w zlewni Świerszcza wpłynęły na ujemny bilans materii rozpuszczonej po raz pierwszy od początku pomiarów. Niektóre zlewnie (np. Lewińska Struga, Różany Strumień), pomimo okresowego braku odpływu fluwialnego w półroczu letnim, posiadały ujemny bilans denudacyjny.

Tab. 27. Bilans jonów denudacyjnych i biogenicznych w zlewniach badawczych ZMŚP w 2022 roku

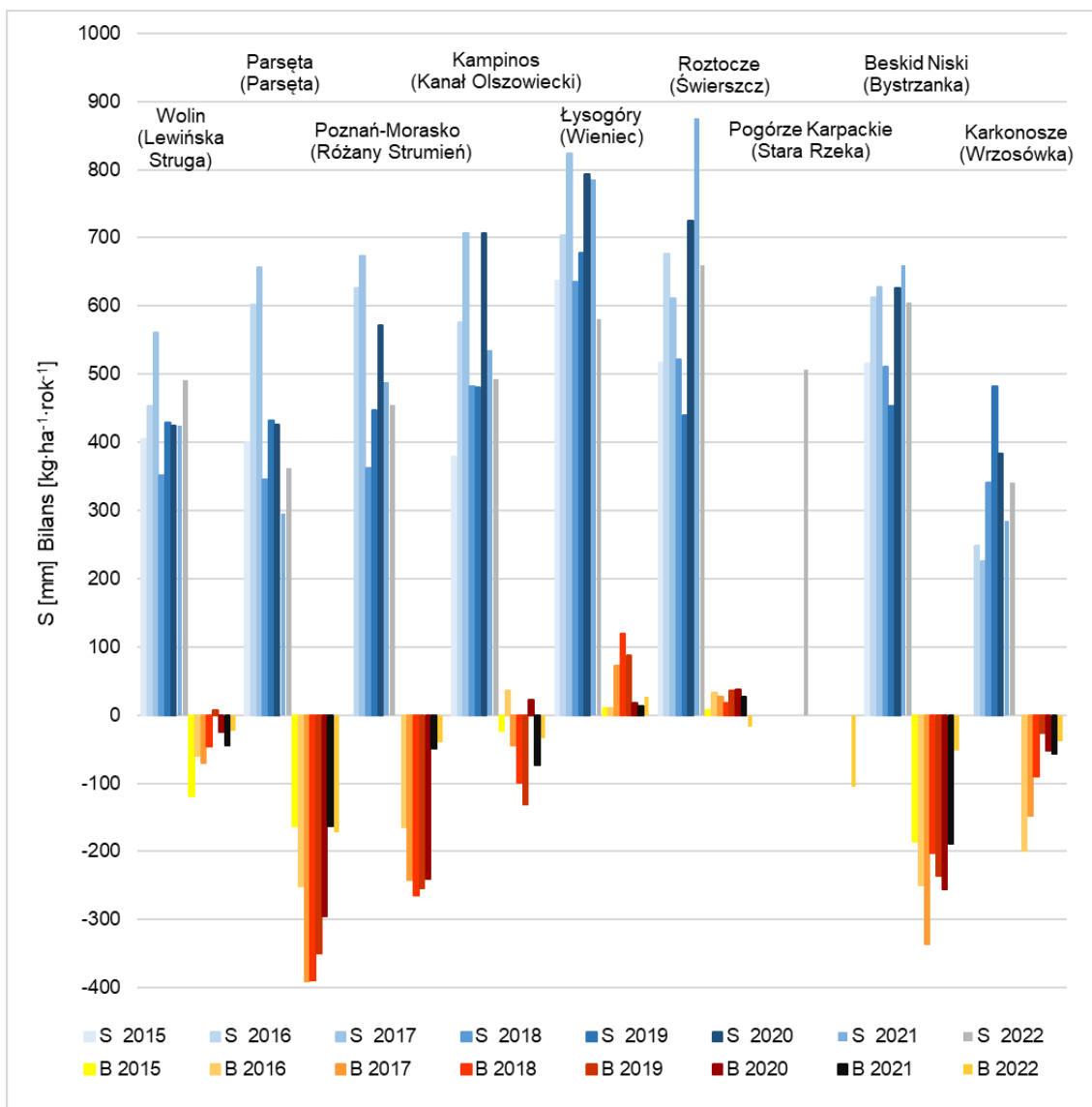
Stacja (zlewnia)	Wolin (Lewińska Struga)	Parsęta (Parsęta)	Poznań-Morasko (Różany Strumień)	Kampinos (Kanał Olszowiecki)	Łysogóry (Wieniec)	Roztocze (Świerszcz)	Pogórze Karpackie (Stara Rzeką)	Beskid Niski (Bystrzanka)	Karkonosze (Wrzosówka)
Składowe obiegu wody [mm]									
P – Opad atmosferyczny	544,4	551,4	476,3	519,9	610,7	729,4	576,8	691,2	1015,2
H _{pow} – Odpływ powierzchniowy	53,2	189,9	21,9	26,9	30,3	69,2	70,6	86,6	673,6
S – Deficyt odpływu	491,3	361,5	454,4	493,0	580,4	660,2	506,2	604,6	341,6
Bilans jonów denudacyjnych [kg·ha⁻¹]									
SO ₄ ²⁻	-1,4	-20,0	-10,3	-21,1	12,1	0,3	-23,6	-10,9	-30,7
Cl ⁻	2,9	-6,4	-8,7	-1,9	4,6	2,4	-21,9	-4,0	-1,4
Ca ²⁺	-24,1	-134,3	-26,0	-20,6	3,3	-24,5	-48,5	-42,2	-10,2
Mg ²⁺	-2,1	-9,4	-2,1	-2,1	1,4	-0,5	-9,3	-3,6	-2,4
Na ⁺	-1,0	-7,0	-3,8	-1,0	2,0	-0,4	-17,4	-9,8	-8,4
Bilans JD	-25,7	-177,0	-50,9	-46,6	23,5	-22,7	-120,8	-70,5	-53,1
Bilans jonów biogenicznych [kg·ha⁻¹]									
NO ₃ ⁻	0,4	3,8	7,3	8,1	1,5	3,0	12,3	16,6	10,9
NH ₄ ⁺	1,5	3,3	4,2	4,1	0,5	2,0	6,1	2,8	4,9
K ⁺	0,0	-2,7	-0,8	0,1	1,3	0,6	-3,4	-0,3	-1,5
Bilans JB	1,9	4,4	10,7	12,3	3,4	5,6	15,0	19,1	14,2
Bilans materii rozpuszczonej [kg·ha⁻¹]									
Bilans JD+JB	-23,7	-172,6	-40,2	-34,4	26,8	-17,0	-105,8	-51,4	-38,9

Analiza deficytu odpływu i dodatnia lub ujemna wartość bilansu denudacyjnego z lat 2015-2022 ukazuje geoeosystemy „stabilne” i „niestabilne” w zakresie obiegu energii (woda) i materii (substancje rozpuszczone) (Ryc. 21).

Za stabilne geoeosystemy uznano zlewnie o ujemnym kierunku bilansu denudacyjnego: Parsęta, Różany Strumień, Bystrzanka i Wrzosówka. W tych geoeosystemach pomimo różnych uwarunkowań meteorologicznych (lata 2015, 2018, 2019 suche, rok 2016 normalny lub wilgotny, rok 2017 wilgotny, lata 2020-2021 ponownie normalne lub wilgotne oraz rok 2022 suchy lub normalny) 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 pierwszym rokiem pomiarowym w Stacji Pogórze Karpackie, dla zlewni Starej Rzeki nie określono jej „stabilności”. W geoeosystemie Wienca 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 cieku. W pozostałych geoeosystemach uznanych za niestabilne kierunek bilansu denudacyjnego w latach 2015-2022 był zmienny (dodatni lub ujemny). W przypadku Lewińskiej Strugi dodatni bilans denudacyjny wystąpił tylko w 2019 roku. Z kolei w zlewni Kanału Olszowieckiego dodatni bilans miał miejsce w 2016 i 2020 roku. W zlewni Świerszcza ujemny bilans wystąpił tylko w 2022 roku.

Wśród badanych geoeosystemów 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 geoeosystemów 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 Wienca można zaliczyć do geoeosystemów 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 geoeosystemu umiarkowanego (± 50 - $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$) 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.



Ryc. 21. Deficyt odpływu wody i bilans substancji rozpuszczonych w zlewniach ZMŚP w latach 2015-2022. S – deficyt odpływu, B – bilans substancji rozpuszczonych

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

Wpływ uwarunkowań abiotycznych (związanych ze zmiennością warunków pogodowych oraz właściwościami fizycznogeograficznymi badanych geoeekosystemów) na potencjalny stan przyrody ożywionej obejmuje charakterystykę m.in. występowania w 2022 roku termicznych pór roku i sezonu wegetacyjnego. Przedstawiono także syntetyczne wyniki realizacji programów ZMŚP w 2022 roku dotyczące:

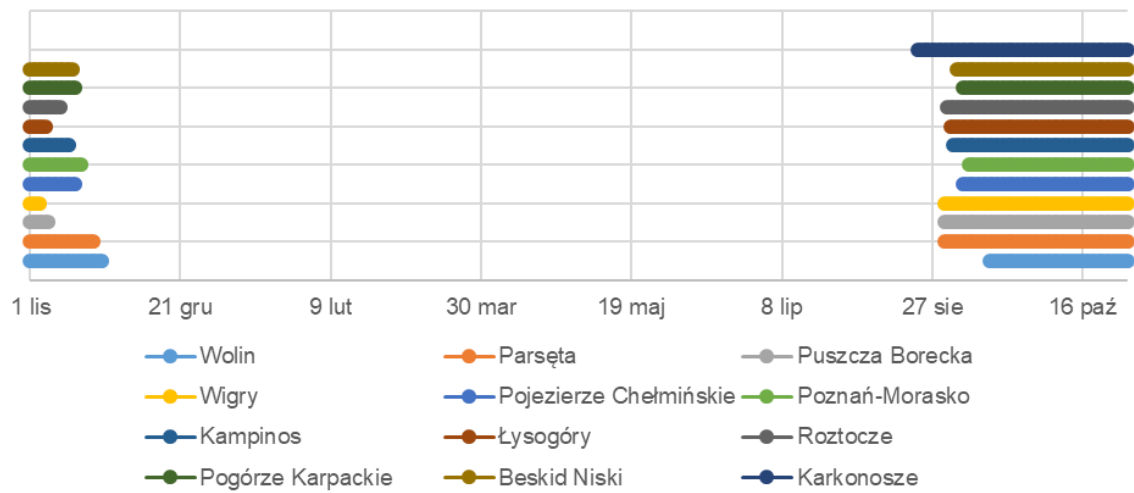
- zanieczyszczenia powietrza,
- uszkodzeń drzew i drzewostanów,
- roślinnych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia,
- zmian użytkowania terenu.

7.1. Termiczne pory roku

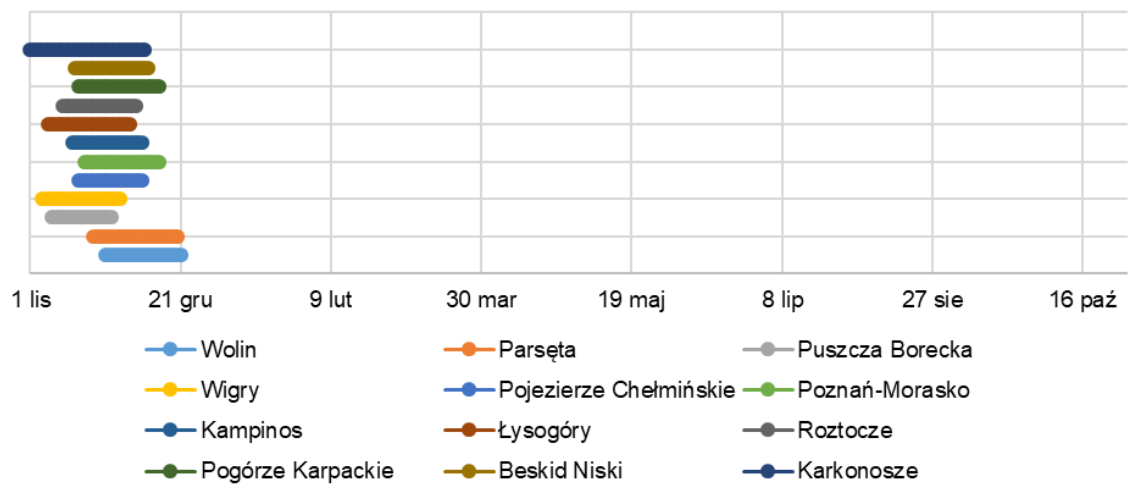
Warunki cieplne w 2022 roku znalazły odzwierciedlenie w długości trwania poszczególnych termicznych pór roku. Poza Poznaniem, gdzie nie wystąpiła termiczna zima, we wszystkich monitorowanych geoeekosystemach stwierdzono występowanie wszystkich sześciu termicznych pór roku (Ryc. 22). Najdłużej trwającą porą roku było lato (96 dni), jednak warto zwrócić uwagę, że było ono krótsze niż w latach: 2020 (102 dni), 2019 (113 dni) i 2018 (135 dni), a porównywalne z rokiem 2021 – 93 dni. Niewiele krócej od lata (72 dni) trwały jesień i przedwiośnie. Z kolei najkrócej trwającymi termicznymi porami roku były przedzimie (29 dni) i zima (38 dni).

W 2022 roku nie występowała wyraźna zmienność regionalna występowania termicznych pór roku. Taka sytuacja świadczy o ponadregionalnych czynnikach meteorologicznych warunkujących występowanie termicznych pór roku. Pewne oddziaływanie czynników lokalnych można zauważyć w zlewniach położonych w Polsce północno-wschodniej – w Puszczy Boreckiej i w Wigrach 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 Karkonoszach było najkrótsze lato (78 dni). Z kolei zima najdłużej trwała w Puszczy Boreckiej (104 dni) i Łysogórach (98 dni) (Ryc. 23).

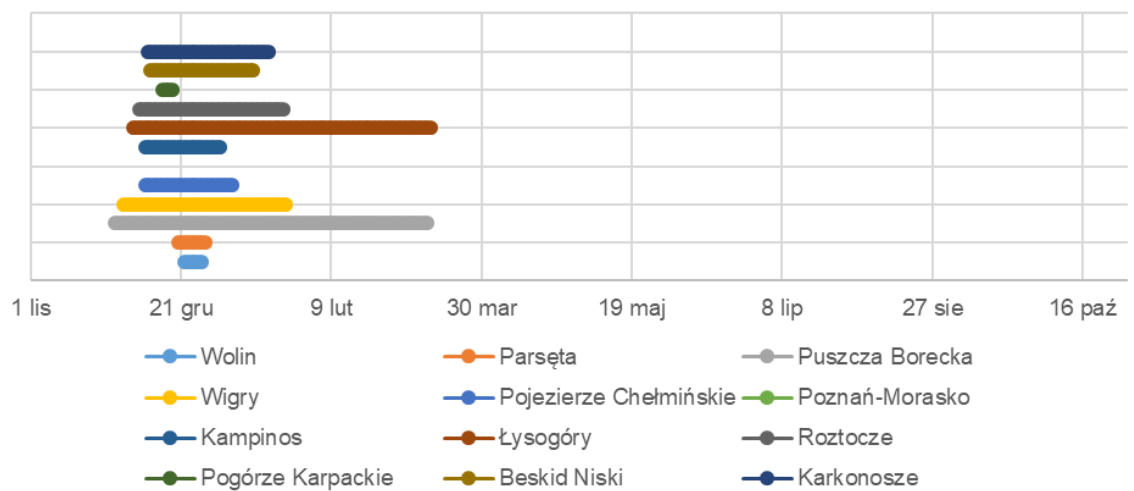
Jesień

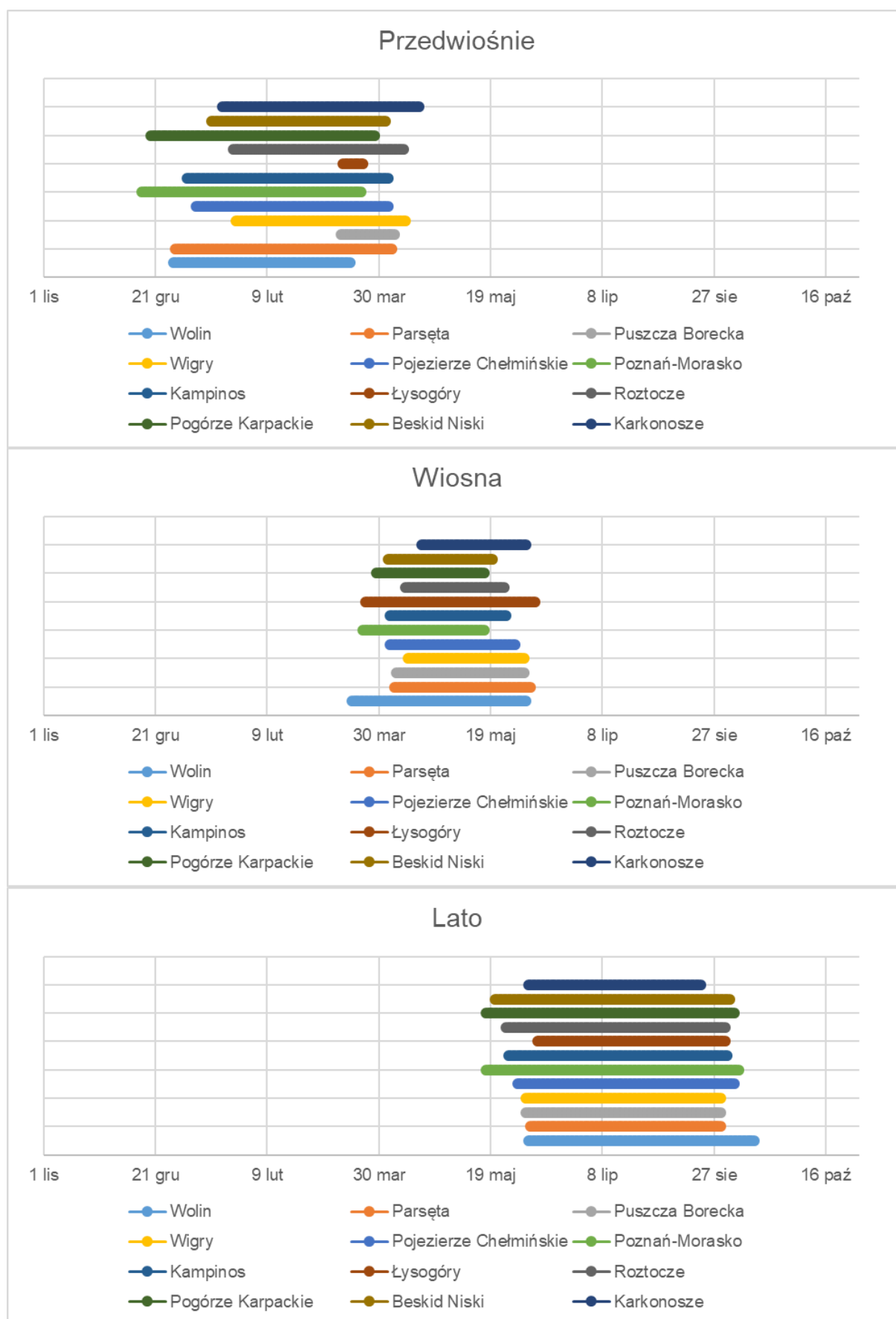


Przedzimie



Zima

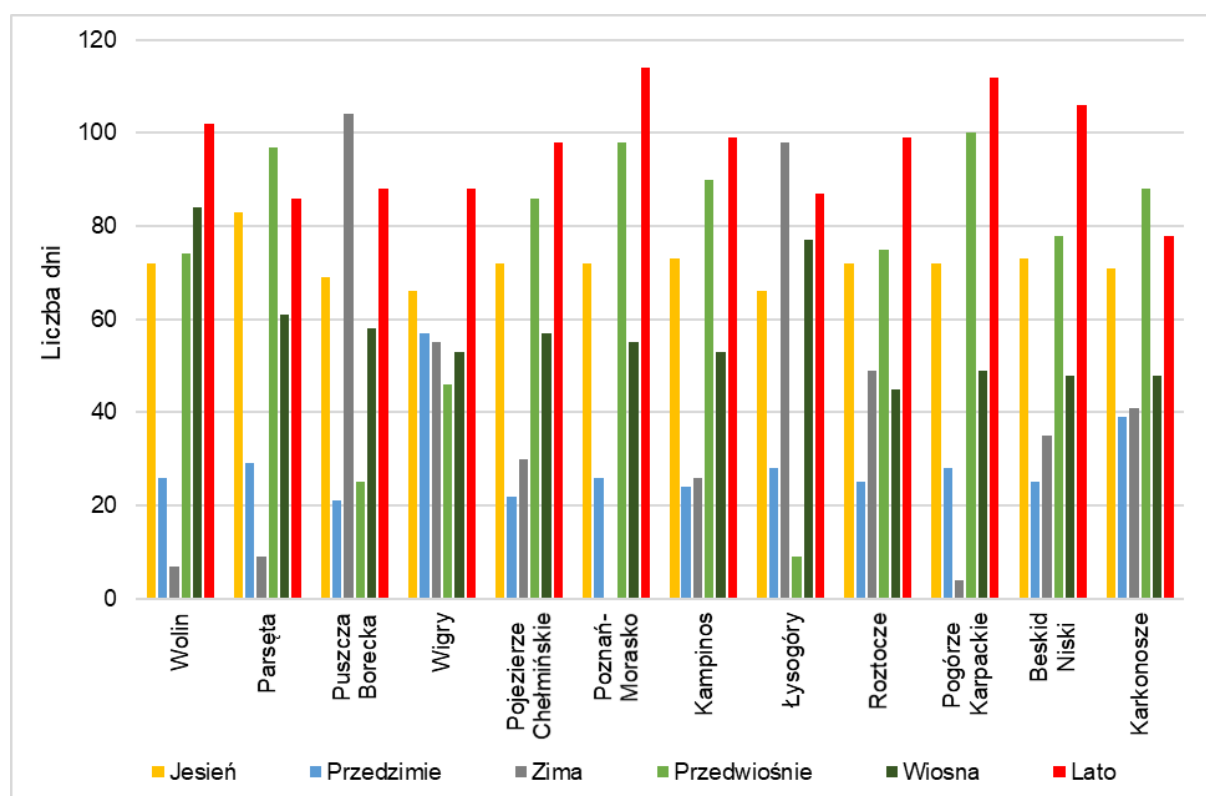




Ryc. 22. Przebieg termicznych pór roku w zlewniach badawczych ZMŚP w 2022 roku

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 czterech zlewniach (Wolin, Poznań-Morasko, Łysogóry i Pogórze Karpackie) termiczna wiosna rozpoczęła się w marcu, z czego najwcześniej w zlewni Lewińskiej Strugi – 18 marca. W pozostałych zlewniach termiczna wiosna rozpoczęła się w kwietniu, najpóźniej w Karkonoszach – 18 kwietnia. We wszystkich badanych geoelementach termiczna jesień trwała do końca roku hydrologicznego. 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 2021 rokiem) stwierdzono ponad dwukrotnie dłuższy średni czas trwania termicznego lata niż średni czas trwania zimy, a w roku 2022 lato (96 dni) trwało o 150% dłużej niż zima (38 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 2022 roku

7.2. Sezon wegetacyjny

Rok 2022 był cieplejszy niż rok 2021, ale też chłodniejszy niż lata wcześniejsze (2018-2020). Skutkowało to nieznacznie krótszym czasem trwania sezonu wegetacyjnego (średnio dla wszystkich stacji o 1 dzień) (Tab. 28). Okres wegetacyjny trwał średnio 221 dni, od 203 dni w Karkonoszach do 258 dni na Wolinie. W porównaniu z rokiem 2021, dłuższy okres wegetacyjny wystąpił tylko w Polsce północnej (Stacje: Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry) oraz w Karkonoszach. W pozostałych siedmiu stacjach, sezon wegetacyjny był krótszy (od 2 dni w Beskidzie Niskim do 19 dni w Łysogórach). Czas trwania sezonu intensywnej wegetacji o średniej dobowej temperaturze powietrza $\geq 10^{\circ}\text{C}$ był również najkrótszy w Karkonoszach (126 dni), a najdłuższy na Wolinie (186 dni).

Tab. 28. Sezon wegetacyjny w zlewniach badawczych ZMŚP w 2022 roku

Stacja	Strefa krajobrazowa	Okres wegetacyjny	Okres intensywnej wegetacji
Wolin	nadmorska	258	186
Parsęta	pojezierzy	224	133
Puszcza Borecka		223	161
Wigry		207	140
Pojezierze Chełmińskie		220	140
Poznań-Morasko		237	182
Kampinos	nizin	215	170
Łysogóry	wyżyn	205	172
Roztocze		210	131
Pogórze Karpackie	gór średnich	229	179
Beskid Niski		223	176
Karkonosze		203	126

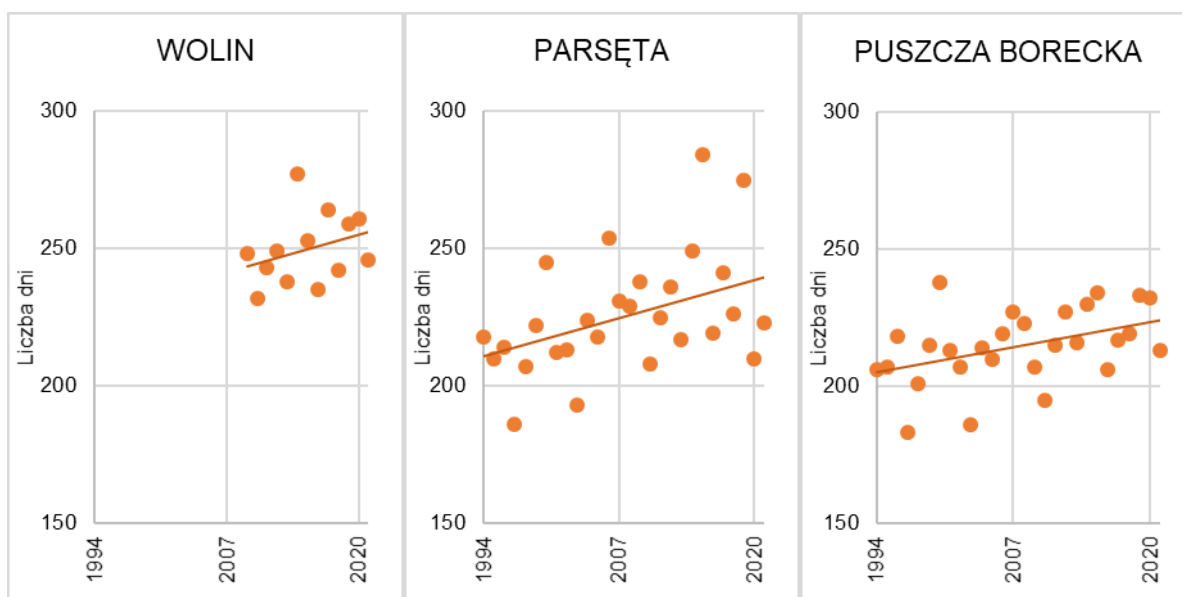
W 2022 roku czas trwania sezonu wegetacyjnego malał wraz z oddalaniem się od Morza Bałtyckiego. Najdłużej trwał w strefie nadmorskiej (Wolin) – 258 dni, następnie w strefie nizin – 221 dni, w strefie wyżyn – 208 dni i w górach – 218 dni. Wyżej położone i bardziej zalesione wyżynne zlewnie Wieńca i Świerszcza charakteryzują się niższymi temperaturami powietrza. Z kolei dłuższy sezon wegetacyjny w strefie górskiej można tłumaczyć warunkami termicznymi w częściowo rolniczych zlewniach Starej Rzeki i Bystrzanki.

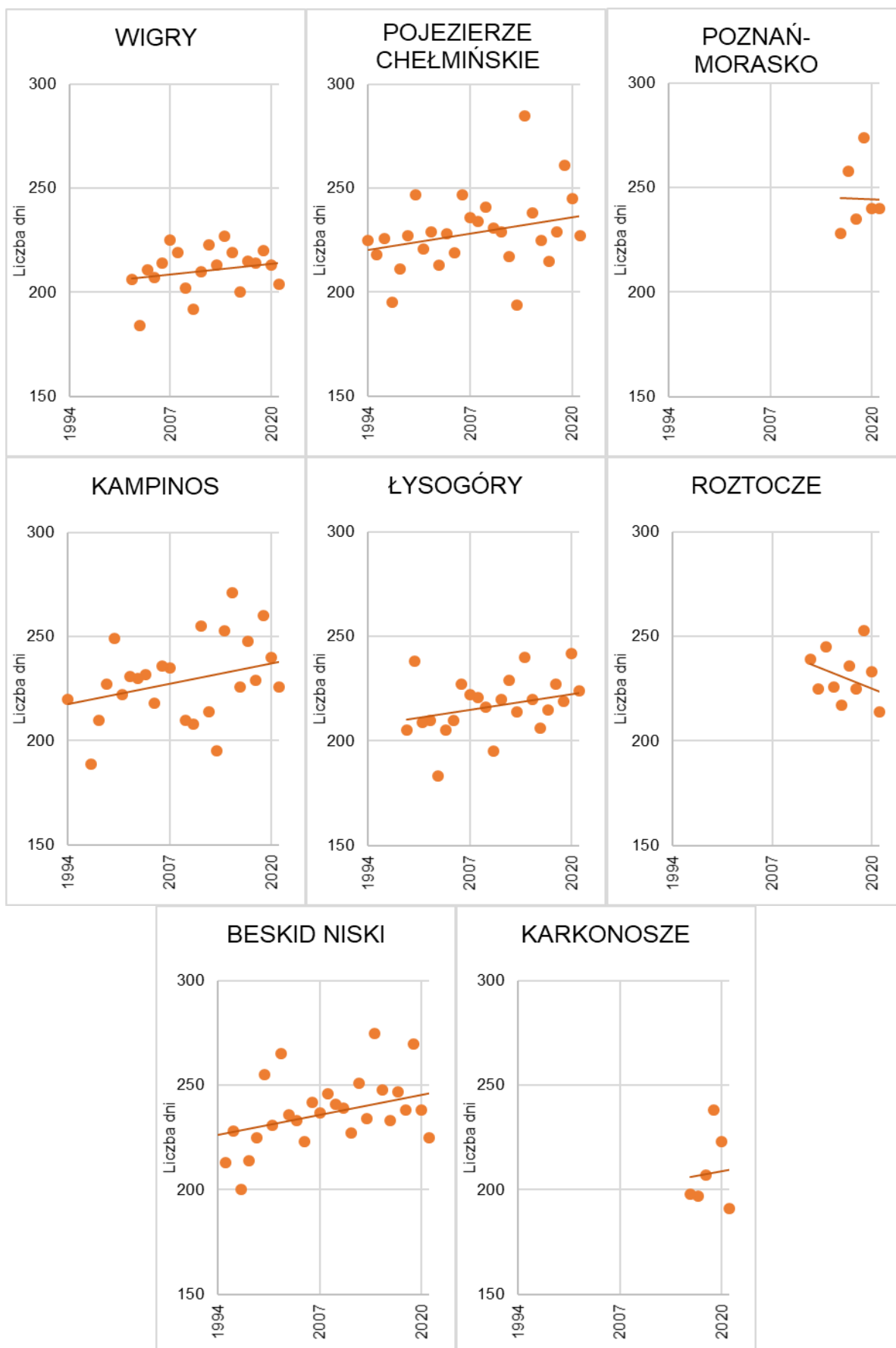
W Stacjach Bazowych ZMŚP rok 2022 był normalny, lekko ciepły i ciepły pod względem termicznym, co przy porównaniu z bardzo ciepłymi, a nawet anomalnie ciepłymi

latami wcześniejszymi, wskazuje na skrócenie okresu wegetacyjnego, co miało swoje odzwierciedlenie w długości trwania okresu wegetacyjnego. W większości monitorowanych zlewni czas trwania okresu wegetacyjnego w 2022 roku był krótszy od średniej z wielolecia średnio o 10 dni. Dłuższy okres wegetacyjny niż w wieloleciu stwierdzono jedynie na Wolinie i w Puszczy Boreckiej (w obu przypadkach o 8 dni). Okres intensywnej wegetacji również trwał zdecydowanie krócej niż w latach poprzednich.

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 2 Stacji: Parsęty i Puszczy Boreckiej. Średni trend 20-letni wydłużenia trwania okresu wegetacyjnego w wymienionych zlewniach wynosi 13 w Puszczy Boreckiej i 19 dni w zlewni górnej Parsęty (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 2022 roku (podobnie jak sumy roczne opadów atmosferycznych) w Stacjach Bazowych ZMŚP były umiarkowanie korzystne dla rozwoju roślinności. Jednak należy zwrócić uwagę na zarejestrowanie w większości monitorowanych zlewni przynajmniej jednej suszy meteorologicznej (okresu bezdeszczowego trwającego przynajmniej 15 dni) oraz 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

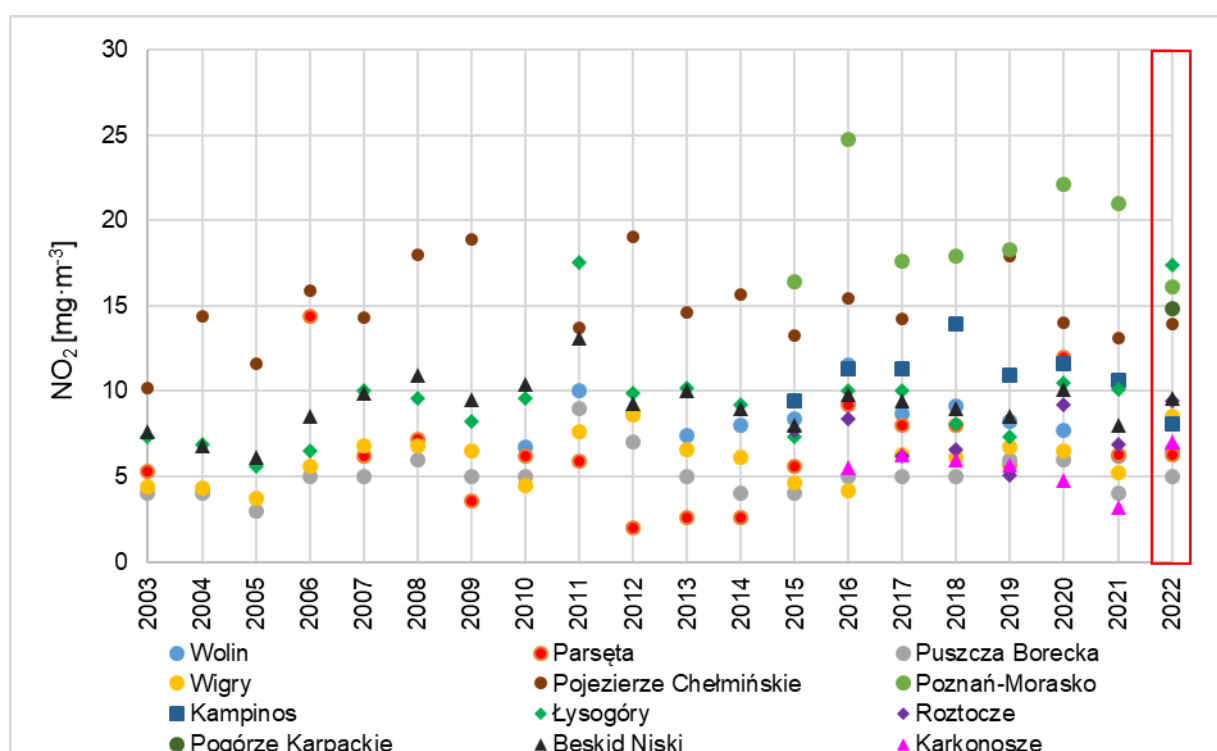
W 2022 roku badania zanieczyszczenia powietrza, obejmujące pomiary stężenia dwutlenku siarki (SO_2) i dwutlenku azotu (NO_2), we wszystkich Stacjach Bazowych prowadzono metodą pasywną. We wszystkich zlewniach średnie roczne stężenia dwutlenku azotu i dwutlenku siarki w powietrzu atmosferycznym w 2022 roku hydrologicznym były zbliżone do wartości z wielolecia 2003-2021, a dopuszczalne stężenia nie zostały przekroczone w żadnej Stacji Bazowej (Tab. 29, 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 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. 29. Zanieczyszczenie powietrza – średnie roczne stężenie SO_2 i NO_2 [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] w zlewniach badawczych ZMŚP w 2022 roku

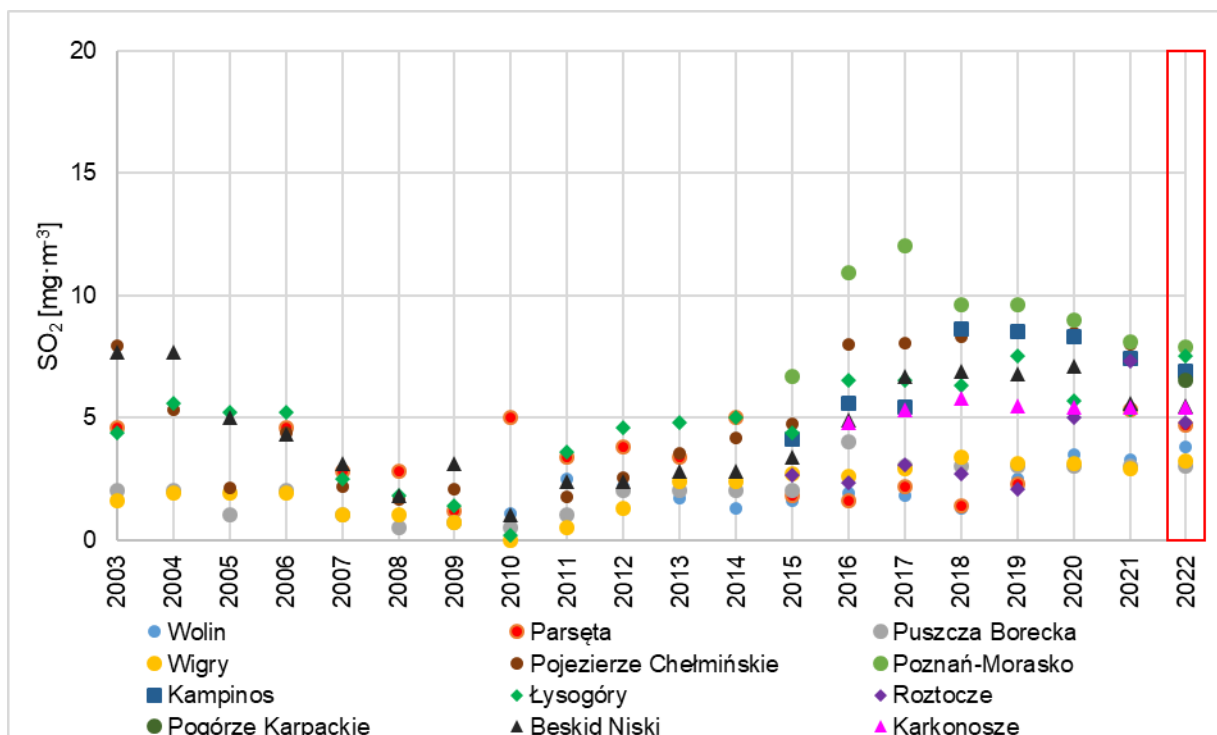
Stacja	Strefa krajobrazowa	NO_2 [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]	SO_2 [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]
Wolin	nadmorska	6,6	3,8
Parsęta	pojezierzy	6,3	4,7
Puszcza Borecka		5,0	3,0
Wigry		8,5	3,2
Pojezierze Chełmińskie		13,9	7,9
Poznań-Morasko		16,1	7,9
Kampinos	nizin	8,1	6,9
Łysogóry	wyżyn	17,4	7,5
Roztocze		9,4	4,8
Pogórze Karpackie	gór średnich	14,8	6,5
Beskid Niski		9,6	5,5
Karkonosze		7,0	5,4

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,

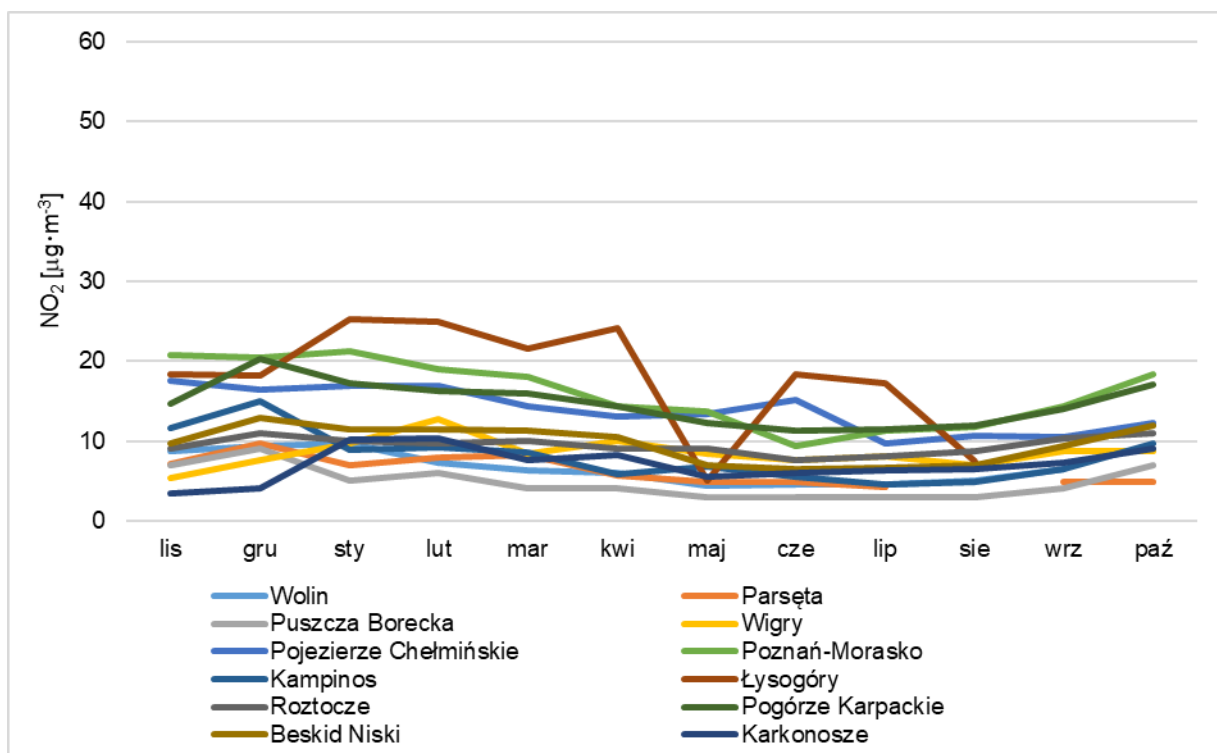
istotny wpływ na stan kontaminacji powietrza atmosferycznego w całym regionie świętokrzyskim mają odległe ośrodki miejsko-przemysłowe. Do nich należą przede wszystkim Górnośląski Okręg Przemysłowy i dalekosiężna silna migracja zanieczyszczeń z Ostrawsko-Karwińskiego Okręgu Przemysłowego w Czechach (Kozłowski i in. 2023). Z kolei najniższe stężenia dwutlenku siarki i dwutlenku azotu notowano w Polsce północnej (Wolin, Puszcza Borecka i Wigry). 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 miejskiej Stacji Poznań-Morasko (Ryc. 27, Ryc. 28).



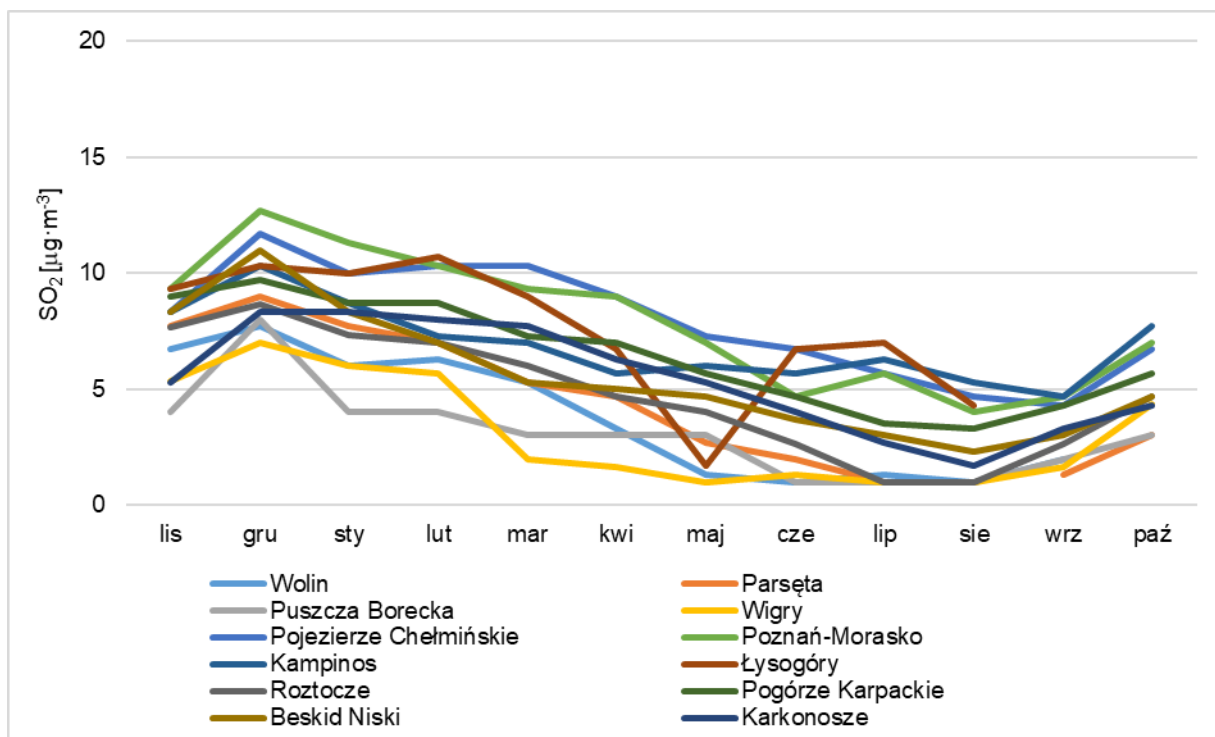
Ryc. 25. Średnie roczne stężenia NO_2 w zlewniach badawczych ZMŚP w latach 2003-2022 (metoda pasywna)



Ryc. 26. Średnie roczne stężenia SO_2 w zlewniach badawczych ZMŚP w latach 2003-2022 (metoda pasywna)



Ryc. 27. Średnie miesięczne stężenia NO_2 w 2022 roku w zlewniach badawczych ZMŚP (metoda pasywna)



Ryc. 28. Średnie miesięczne stężenia SO_2 w 2022 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 2022 roku w Stacjach Wolin oraz Wigry 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. W przypadku pozostałych zlewni, stan drzewostanów w 2022 roku utrzymał się na podobnym poziomie jak w latach wcześniejszych. W porównaniu z rokiem 2021, defoliacja i odbarwienie były wyższe w sześciu Stacjach (Wolin, Kampinos, Łysogóry, Roztocze, Beskid Niski oraz Karkonosze), niższe w 4 Stacjach (Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry i Poznań-Morasko). Należy jednak podkreślić, że zmiany nie były znaczące, poza Roztoczem, gdzie średnia defoliacja z poziomu 15% wzrosła do 34%. Badania zależności przyczynowo-skutkowych (warunki pogodowe danego roku na zdrowotność drzewostanów) wykazują duże opóźnienie w czasie. W większości badanych geosystemów konsekwencje bardzo złych warunków wodnych

w 2015 roku znalazły swoje odzwierciedlenie w gorszym stanie drzewostanów jeszcze w 2016 roku, a dopiero niewielka poprawa wystąpiła w 2017 roku (np. w Kampinosie i na Roztoczu). Niekorzystne warunki dla drzewostanów wystąpiły również w suchych i ciepłych latach 2018-2019, co przełożyło się na większą defoliację w latach 2019-2020. Korzystniejsze warunki pluwialne od roku 2020 wpłynęły na mniejszą defoliację w roku 2021, a w szczególności w roku 2022.

W większości monitorowanych zlewni w 2022 roku zarejestrowano lekką defoliację (11-25%, poziom ostrzegawczy). Wyjątkiem jest zlewnia Wrzosówki w Karkonoszach, gdzie średnia defoliacja wyniosła zaledwie 8,4% i zaklasyfikowano ją do pierwszej klasy (0-10%, drzewostany zdrowe) oraz zlewnie Lewińskiej Strugi, jeziora Łękuk, Kanału Olszowieckiego oraz Wieńca, gdzie wystąpiła średnia defoliacja (26-60%, drzewostany uszkodzone). W przypadku zlewni Kanału Olszowieckiego, próg 26% został nieznacznie przekroczony. Najwyższy stopień redukcji aparatu asymilacyjnego od początku pomiarów utrzymuje się w Górach Świętokrzyskich i wynosi 52% (Tab. 30).

Tab. 30. Średnia defoliacja w zlewniach ZMŚP w 2022 roku hydrologicznym

Stacja	Defoliacja [%]
Wolin	5,2*
Parsęta	19,1
Puszcza Borecka	33,5
Wigry	12,2*
Poznań-Morasko	14,8
Kampinos	28,3
Łysogóry	52,0
Roztocze	33,9
Pogórze Karpackie	11,6
Beskid Niski	23,0
Karkonosze	8,4

* Stacje wykonały pomiary defoliacji w oparciu o nową metodykę (Zajączkowski 2021) na 25 stanowiskach w zlewni

Analiza przestrzenna zdrowotności drzewostanów posiadała w 2022 roku wymiar regionalny, czego potwierdzeniem były wartości średniej defoliacji sosen w zlewni górnej Parsęty (19,1%), które były zbliżone dla sosny w wieku powyżej 60 lat z terenu RDLP Szczecinek – 18,3%, czy dla województwa zachodniopomorskiego – 19,8% (Zajączkowski 2023). Jednakże w analizie czasowo-przestrzennej stanu drzewostanów w Polsce należy uwzględnić także lokalną zmienność przestrzenną, która często może nie w pełni nawiązywać

do ujęcia regionalnego. Na przykład w południowo-wschodniej części województwa zachodniopomorskiego, w zlewni górnej Parsęty średnia defoliacja sosny wyniosła w 2017 roku 17,0%, ale w północno-zachodniej części województwa, w zlewni Jeziora Gardno defoliacji sosen w tym samym roku nie stwierdzono. Z kolei w roku 2018 w obu zlewniach defoliacja sosny była na zbliżonym poziomie (17,4% w Stacji Parsęta i 21,0% w Stacji Wolin), a w 2021 roku defoliacja była już znacząco wyższa na Wolinie (38,0%) niż na Pojezierzu Drawskim (19,18%). Taka sytuacja świadczy o braku istotnych zmian pod względem defoliacji w zlewni górnej Parsęty i pogarszającego się od paru lat stanu zdrowotnego sosen na Wolinie.

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 2022 roku zrealizowano badania patrolowe (obserwacje sprawdzające) występowania roślinnych gatunków inwazyjnych na obszarze całych zlewni badawczych w ramach monitoringu ogólnego oraz badania na stałych powierzchniach testowych w ramach monitoringu szczegółowego. W ramach monitoringu ogólnego, w większości zlewni każdego roku monitorowane są inne fragmenty zlewni.

W tabeli 31 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 geoelementach 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 geoelementach, istotne jest uwzględnienie obserwacji z lat wcześniejszych, prowadzonych w innych częściach zlewni.

Tab. 31. Występowanie roślinnych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia w zlewniach ZMŚP w latach 2016-2022

MBR w latach 2010-2022

Stacja Bazowa	Liczba gatunków obcego pochodzenia w ramach monitoringu ogólnego								Zagrożenie
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	średnio	
Wolin	5	7	7	7	5	5	5	6	małe
Parsęta	18	18	19	43	18	16	15	21	duże
Puszcza Borecka	3	5	6	6	6	6	5	5	małe
Wigry	23	3	14	14	14	14	14	14	duże
Pojezierze Chełmińskie	68	68	8	8	7	7	7	25	duże
Poznań-Morasko	23	17	13	5	7	5	3	10	duże
Kampinos	-	20	20	16	19	11	20	18	duże
Łysogóry	8	8	7	7	6	6	1	6	małe
Roztocze	38	38	38	38	28	31	38	36	duże
Pogórze Karpackie							15	15	duże
Beskid Niski	-	2	2	6	10	10	10	7	małe
Karkonosze	5	7	7	5	18	1	18	9	małe
Stacja Bazowa	Liczba gatunków obcego pochodzenia w ramach monitoringu szczegółowego								Zagrożenie
	2016		2018	2020		2022	średnio		
Wolin	2		2	2		2	2		małe
Parsęta	21		16	22		11	18		duże
Puszcza Borecka	2		2	2		2	2		małe
Wigry	2		2	2		2	2		małe
Pojezierze Chełmińskie	2		5	9		9	6		małe
Poznań-Morasko	12		9	11		10	11		duże
Kampinos	3		3	3		4	3		małe
Łysogóry	-		-	-		-	-		małe
Roztocze	10		9	9		8	9		małe
Pogórze Karpackie						5	5		małe
Beskid Niski	1		4	4		4	3		małe
Karkonosze	8		7	8		8	8		małe

Pod względem występowania roślinnych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia najlepsza sytuacja występowała w obszarach chronionych, na terenach parków narodowych (Wolińskiego, Świętokrzyskiego i Karkonoskiego). Większa liczba gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia w pozostałych parkach narodowych, w których prowadzony jest monitoring w ramach ZMŚP może wynikać m.in. ze znacznej dostępności turystycznej (np.

Kampinoski PN) lub wielkości monitorowanej zlewni (np. Roztoczański PN). Zauważono pewną prawidłowość, że mniej gatunków inwazyjnych występowało w zlewniach z dominacją zwartego, leśnego pokrycia terenu, przy równoczesnym braku gęstej sieci komunikacyjnej i hydrograficznej (np. Wolin, Karkonosze) niż w zlewniach o znacznym areale gruntów ornych i zabudowań oraz gęstej infrastrukturze drogowej (np. Poznań-Morasko, Pojezierze Chełmińskie, Parsęta). Do najczęściej stwierdzonych roślinnych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia należą: czeremcha amerykańska (*Padus serotina*), niecierpek drobnokwiatowy (*Impatiens parviflora*) oraz nawłóć kanadyjska (*Solidago canadensis*)

Liczba gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia na stałych powierzchniach w ramach monitoringu szczegółowego była podobna, jak podczas poprzednich kartowań w latach: 2016, 2018 i 2020. Najwięcej gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia zidentyfikowano w zlewniach bardziej poddanych antropopresji (zlewnia Różanego Strumienia i zlewnia górnej Parsęty) (Tab. 32).

7.6. Zmiany pokrycia terenu i użytkowanie ziemi

Analizę zmian pokrycia terenu i użytkowania ziemi dokonano w stacjach na podstawie porównania mapy z 2022 roku z mapami z lat 2019, 2016 i 2010. Do porównania wykorzystano mapy wykonane na III poziomie szczegółowości CORINE Land Cover (EEA 2006). Ponadto w 2022 roku wykonano również mapy na IV poziomie szczegółowości CLC. We wszystkich 12 Stacjach Bazowych ZMŚP łącznie odnotowano w 2022 roku 26 klas odpowiadających trzeciemu poziomowi szczegółowości CLC (o 11 więcej niż w 2010 roku, przy uwzględnieniu funkcjonujących wówczas 8 stacji). Najczęściej występującymi klasami, które pojawiają się w prawie każdej zlewni są: zabudowa miejska luźna (we wszystkich zlewniach, średnio 3,1%), lasy liściaste (w 11 zlewniach, średnio 13,6%), lasy mieszane (w 11 zlewniach, średnio 28,4%), lasy i roślinność krzewiasta w stanie zmian (w 11 zlewniach, średnio 6,7%), murawy i pastwiska naturalne (w 10 zlewniach, średnio 12,2%) oraz lasy iglaste (w 9 zlewniach, średnio 24,1%). Stacjami, w których wyznaczono najwięcej klas pokrycia terenu i użytkowania ziemi są Parsęta (18) oraz Wigry (17), z kolei stacjami o najmniejszej liczbie klas są: Wolin (6), Puszcza Borecka (7) i Kampinos (9) (Tab. 32).

Tab. 32. Klasy pokrycia terenu i użytkowania ziemi na obszarze zlewni badawczych Stacji Bazowych ZMŚP w roku 2022

Kod CLC	Klasa III poziomu CLC	Stacje Bazowe ZMŚP											
		Wolin	Parsęta	Puszcza Borecka	Wigry	Pojezierze Chełmińskie	Poznań-Morasko	Kampanos	Łysogóry	Roztocze	Pogórze Karpackie	Beskid Niski	Karkonosze
		Udział w powierzchni zlewni [%]											
1,1,2	Zabudowa miejska luźna	0,00	1,86	0,20	0,19	2,47	12,12	1,90	0,98	2,94	7,56	2,33	4,86
1,2,1	Tereny przemysłowe lub handlowe		0,06		0,56	0,50	3,44		0,18		0,66	0,20	
1,2,2	Tereny komunikacyjne i związane z komunikacją drogową i kolejową	1,00	1,11		0,58	1,36	3,28		0,16		2,65	0,99	
1,3,1	Miejsca eksploatacji odkrywkowej		0,74		0,98	0,08							
1,3,2	Zwałowiska i hałdy				2,45						0,00		
1,3,3	Place budowy						0,47	0,05					
1,4,1	Tereny zielone		0,03			0,04	2,37				0,04	0,22	
1,4,2	Tereny sportowe i wypoczynkowe					0,03	0,09				0,03	0,08	
2,1,1	Gruntory orne poza zasięgiem urządzeń nawadniających		26,89		15,65	85,25	16,54	2,75	12,19	22,39	15,58	7,91	
2,2,1	Winnice										1,87		
2,2,2	Sady i plantacje		0,15		0,99	0,90	0,03		1,27			5,22	
2,3,1	Łąki, pastwiska									0,86	0,19	0,79	
2,4,2	Złożone systemy upraw i działek		0,77	5,70						0,34		0,00	
2,4,3	Tereny zajęte głównie przez rolnictwo z dużym udziałem roślinności naturalnej		0,24		0,14	1,15	0,20	5,47	0,78	3,38		3,19	
2,4,4	Tereny rolno-łesne											1,39	
3,1,1	Lasy liściaste	48,00	10,78	15,60	6,53	0,55	1,55	28,60		0,68	36,02	1,21	0,01
3,1,2	Lasy iglaste	19,60	21,24		36,30	0,45	10,10	34,55		47,64	5,78		41,50
3,1,3	Lasy mieszane	30,30	8,16	49,70	21,57		10,09	13,80	78,59	15,66	1,13	37,36	46,39
3,2,1	Murawy i pastwiska naturalne		17,51	5,70	3,91	6,54	29,36	0,47	2,26		24,15	30,76	1,36
3,2,4	Lasy i roślinność krzewiasta w stanie zmian		7,73	12,80	6,06	0,44	7,50	12,41	0,23	9,41	4,03	8,35	4,66
3,3,2	Odsłonięte skały								3,24				0,45
3,3,3	Roślinność rozproszona												0,28
4,1,1	Bagna śródlądowe		0,96		2,63		0,89						
4,1,2	Torfowiska		1,69		0,32								0,08
5,1,1	Cieki		0,53		0,33								0,42
5,1,2	Zbiorniki wodne	1,10	0,35	1,80	0,79	0,22	1,75		0,11	0,70	0,16	2,33	
Liczba typów pokrycia terenu i użytkowania ziemi		6	18	7	17	14	16	9	11	10	15	15	10

Dynamika zmian typów pokrycia terenu i użytkowania ziemi w badanych interwałach czasowych była mała. Najbardziej stabilne pod względem przemian użytkowania ziemi były zlewnie położone na terenach Parków Narodowych, w szczególności w Wolińskim, Świętokrzyskim i Karkonoskim, gdzie nie zanotowano żadnych zmian w stosunku do roku 2019 oraz w Roztoczańskim, gdzie zmiany nie przekroczyły 0,1% powierzchni zlewni.

Natomiast względnie największe zmiany występowały w zlewniach nie posiadających żadnych form ochrony i poddanych antropopresji. Największe zmiany wystąpiły w zlewni Różanego Strumienia i objęły 20% zlewni, gdzie stwierdzono wzrost powierzchni przejściowych terenów leśnych i zakrzewień oraz zabudowy nieciągłej, głównie kosztem gruntów ornych oraz użytków zielonych. Pozytywną tendencją był brak deforestacji badanych zlewni, a wręcz niewielki przyrost powierzchni leśnych (Stacje Bazowe: Wolin, Parsęta, Wigry, Kampinos). Natomiast pewnym zagrożeniem w niektórych zlewniach (Stacje Bazowe: Parsęta, Pojezierze Chełmińskie, Poznań-Morasko, Kampinos i Beskid Niski) był wzrost udziału terenów przeznaczonych pod zabudowę i infrastrukturę komunikacyjną. Do najważniejszych zmian typów pokrycia terenu i użytkowania ziemi w monitorowanych geoekosystemach od 2019 roku należą:

- zmiany w obszarze agrocenoz – grunty orne uległy przekształceniom w lasy oraz użytki zielone (Kampinos, Beskid Niski);
- przekształcenia lasów – zmiany struktury gatunkowej drzewostanów (Puszcza Borecka);
- wzrost powierzchni zajmowanej przez zabudowę nieciągłą, sieć drogową oraz obszarów przemysłowych lub handlowych w zlewniach poddanych silniejszą antropopresją (Parsęta, Pojezierze Chełmińskie, Poznań-Morasko). W przypadku zlewni w Poznaniu, istotne zmiany związane są z rozbudową Kampusu Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza;
- zwiększenie powierzchni zwałowisk i hałd w Wigrach, co ma związek z aktywnością lokalnych kopalni żwiru.

Należy podkreślić, że dynamika zmian typów użytkowania i form pokrycia terenu nie wpływała w obecnej dekadzie znacząco na stan środowiska przyrodniczego badanych geoekosystemów.

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

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

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

Stan geoekologiczny roku 2022 został określony na podstawie wyników realizacji corocznego programu ZMŚP w Stacjach Bazowych w 2022 roku z uwzględnieniem stanu z roku poprzedniego (z 2021 roku na 2022 rok). Do oceny dynamiki rocznej stanu geoekologicznego wykorzystano programy: meteorologia, zanieczyszczenie powietrza, chemizm opadów atmosferycznych, chemizm opadu podkoronowego, chemizm spływu po pniach, chemizm roztworów glebowych, opad organiczny, wody podziemne, wody powierzchniowe – rzeki, wody powierzchniowe – jeziora, gatunki inwazyjne obcego pochodzenia – rośliny, uszkodzenia drzew i drzewostanów (Tab. 33). Celem jest rozpoznanie i określenie jakościowe i ilościowe związków i zależności, o największym natężeniu, pomiędzy analizowanymi elementami środowiska geograficznego, które określają stan geoekologiczny geoekosystemu.

8.1. Stan geoekologiczny

W oparciu o realizowany program ZMŚP dokonano waloryzacji stanu geoekologicznego badanych geoekosystemów w oparciu o wyniki z lat 2019-2022 (Tab. 33). Dokonano oceny geoekologicznej komponentów środowiska przyrodniczego (zgodnie z programem ZMŚP) monitorowanych w stacjach. Uwzględniono właściwości ilościowe i jakościowe oraz tendencje zmian danego komponentu środowiska przyrodniczego.

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

- **stan dobry +1 pkt** – pozytywna zmiana ilościowa lub jakościowa danego komponentu w 2022 roku w odniesieniu do roku 2021; lub zachowanie dobrego stanu z poprzedniego roku;
- **stan przeciętny 0 pkt** – brak zmiany ilościowej lub jakościowej danego komponentu w 2022 roku na tle roku 2021; lub zachowanie przeciętnego stanu z poprzedniego roku;
- **stan słaby -1 pkt** – negatywna zmiana ilościowa lub jakościowa danego komponentu w 2022 roku na tle roku 2021; 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 2019-2021 (Tab. 33). 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 2022 roku do roku ubiegłego. Natomiast dla pozostałych programów odniesiono się do wyników badań z wcześniejszego cyklu pomiarowego.

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

Stan geoekologiczny w głównej mierze określany był na podstawie obiegu wody w poszczególnych geokosystemach. 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 geoekologiczny opiera się na klasyfikacjach: opadowej Kaczorowskiej (1962) oraz termicznej Lorenc (1998) (Tab. 12). W programach, w których badany jest skład chemiczny próbek wodnych, poza stanem ilościowym, brana była pod uwagę również jakość wody. Na przykład w programie H1 – wody powierzchniowe – rzeki, o słabym stanie geoekologicznym mogło zadecydować okresowe zanikanie odpływu fluwialnego, jak również zakwalifikowanie stanu chemicznego zlewni jako poniżej dobrego – poniżej drugiej klasy (Tab. 23, 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 i pierwszą klasą defoliacji (do 25%), do przeciętnego stanu zlewnie ze średnią defoliacją (26-60%), a do stanu słabego zlewnie z trzecią i czwartą klasą defoliacji (powyżej 61%). 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).

Tab. 33. Stan geoekologiczny zlewni badawczych ZMŚP w 2022 roku (na podstawie programów o rocznym i trzyletnim interwale czasowym)

Program ZMŚP	Rok	Wolin	Paręta	Puszcza Borecka	Wigry	Pojezierze Chelmińskie	Poznań-Morasko	Kampinos	Łysogóry	Roztocze	Pogórze Karpackie	Beskid Niski	Karkonosze
Programy 1 raz/rok +1 pkt stan dobry , 0 pkt stan przeciętny , -1 pkt stan słaby program nierealizowany w Stacji Bazowej													
Meteorologia	2022												
	2021												
Zanieczyszczenie powietrza	2022												
	2021												
Chemizm opadów atmosferycznych	2022												
	2021												
Chemizm opadu podkoronowego	2022												
	2021												
Chemizm spływu po pniach	2022												
	2021												
Chemizm roztworów glebowych	2022												
	2021												
Wody podziemne	2022												
	2021												
Opad organiczny	2022												
	2021												
Wody powierzchniowe – rzeki	2022												
	2021												
Wody powierzchniowe – jeziora	2022												
	2021												
Gatunki inwazyjne obcego pochodzenia – rośliny	2022												
	2021												
Uszkodzenia drzew i drzewostanów	2022												
	2021												
Metale ciężkie i siarka w porostach	2022												
	2021												
Metale ciężkie i siarka w mchach	2022												
	2021												

Program ZMŚP	Rok	Wolin	Parsęta	Puszcza Borecka	Wigry	Pojezierze Chełmińskie	Poznań-Morasko	Kampinos	Łysogóry	Roztocze	Pogórze Karpackie	Beskid Niski	Karkonosze
	Programy 1 raz/3 lata [+1 pkt stan dobry, 0 pkt stan przeciętny, -1 pkt stan słaby]												
Zmiany pokrycia terenu i użytkowanie ziemi	2022												
Struktura i dynamika szaty roślinnej	2019												
Hydrobiologia rzek – makrofity i hydromorfologiczna ocena koryt rzecznych	2021												
	2020												
	2019												
Ocena usług geosystemów	2021												
	2020												
	2019												
Stan geoeekologiczny	2022	11	8	10	9	-3	-2	4	4	11	3	5	14
	2021	7	7	9	8	-3	-2	3	6	10		8	12
	2020	6	8	9	6	-6	-5	-4	4	6		9	11

Względnie najlepszym stanem geoeekologicznym w 2022 roku charakteryzowały się geosystemy niepoddawane antropopresji, położone w Parkach Narodowych (Stacje: Wolin, Karkonosze i Roztocze) oraz w Puszczy Boreckiej. Przeciętnym stanem odznaczały się geosystemy znajdujące się w Polsce północnej (Stacje: Parsęta 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 geosystemy 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 geoeekologiczny monitorowanych zlewni uległ poprawie, w szczególności w zlewni Lewińskiej Strugi (Stacja Wolin). W głównej mierze wpłynęły na to korzystniejsze uwarunkowania hydrometeorologiczne. Wyższe opady oraz niższa temperatura niż w latach wcześniejszych korzystnie wpłynęły na obieg wody w geosystemie, co przełożyło się na lepszy stan ilościowy zarówno wód powierzchniowych, jak i wód podziemnych (Tab. 33). Przeprowadzona analiza umożliwia nie tylko na określenie aktualnego stanu badanych elementów środowiska przyrodniczego, ale także skali przemian środowiska przyrodniczego analizowanych geosystemów w cyklu rocznym, a także wieloletnim.

9. PODSUMOWANIE STANU EKSPERYMENTALNYCH GEOEKOSYSTEMÓW ZLEWNI RZECZNYCH I JEZIORNYCH POLSKI W 2022 ROKU

W 2022 roku hydrologicznym program ZMŚP realizowano w dwunastu Stacjach Bazowych, których lokalizacja odzwierciedla zróżnicowanie struktury krajobrazowej Polski. Funkcjonowanie monitorowanych eksperymentalnych zlewni ZMŚP, które są uznawane jako reprezentatywne dla danej strefy krajobrazowej, podlegało wpływom czynników naturalnych i antropogenicznych. W młodoglacjalnej strefie Niżu Polskiego badanych jest 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 2022 odznaczał się zróżnicowaniem przestrzennym średniej rocznej temperatury powietrza i rocznej sumy opadów atmosferycznych w monitorowanych zlewniach. Średnie roczne temperatury powietrza były wyższe niż w roku poprzednim, jednak warunki termiczne były korzystniejsze niż w latach wcześniejszych. W dwóch monitorowanych zlewniach rok 2022 był chłodniejszy od wartości normalnej, a cieplejszy w 9 zlewniach. Jedynie w Karkonoszach średnia roczna temperatura w 2022 roku była taka sama jak w wieloleciu. Pomimo niższych temperatur w latach 2021-2022, wieloletnie pomiary temperatury powietrza w Stacjach Bazowych ZMŚP wskazują na niekorzystny trend podwyższania się średniej rocznej temperatury powietrza. Dla 7 stacji stwierdzono istotny statystycznie trend wzrostowy średniej rocznej temperatury powietrza (Stacje: Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Pojezierze Chełmińskie, 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 i upalnych, a w przypadku frekwencji występowania dni mroźnych stwierdzono istotny statystycznie trend spadkowy dla 8 stacji (Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie, Łysogóry, Roztocze i Beskid Niski).

Warunki opadowe w badanych zlewniach w 2022 roku zmieniały się od umiarkowanie korzystnych w Polsce północnej (Wolin, Puszcza Borecka, Wigry) oraz w Kampinosie, Łysogórach i Karkonoszach, gdzie był to rok normalny pod względem opadowym, do niekorzystnych w pozostałych stacjach, gdzie był to rok suchy (Parsęta, Pojezierze Chełmińskie, Poznań-Morasko, Roztocze, Pogórze Karpackie i Beskid Niski). Klasyfikacja ilościowa opadów w 2022 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 2022 roku pod względem wskaźnika odczynu i przewodności elektrolitycznej właściwej była bardzo dobra w większości badanych geosystemów, poza

zlewnią Wieńca w Górach Świętokrzyskich. Zakwalifikowanie tej zlewni do klasy przewodności mocno podwyższonej zdecydowało o pogorszeniu jakości opadów atmosferycznych w stosunku do lat poprzednich pod względem wskaźnika SEC. Przewodność nieznaczna stwierdzono w 5 Stacjach Bazowych: Puszcza Borecka, Wigry, Kampinos, Roztocze i Karkonosze. W pozostałych stacjach mineralizacja opadów była lekko podwyższona. Odczyn opadów atmosferycznych w porównaniu do roku poprzedniego uległ nieznacznemu pogorszeniu: w stacjach Wigry oraz Kampinos stwierdzono lekko podwyższone pH, a w Karkonoszach lekko obniżone, a 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 geoeosystemów była dobra.

W 2022 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 południowej i południowo-wschodniej (Łysogóry, Roztocze i Beskid Niski) oraz w zlewniach położonych w pobliżu dużych aglomeracji miejskich (Poznań-Morasko i Kampinos). Powyższe prawidłowości odzwierciedlają sytuację większego wpływu związków azotu (np. 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 2021-2022 pozwoliły nieznacznie poprawić sytuację hydrogeologiczną. W żadnej zlewni nie stwierdzono występowania głębokiej niżówki, a frekwencja występowania płytkiej niżówki była zdecydowanie niższa niż w latach wcześniejszych (wystąpiła tylko dwukrotnie w zlewni Bystrzanki oraz jednokrotnie w zlewni Strugi Toruńskiej). W większości zlewni (poza zlewnią Czarnej Hańczy), we wszystkich strefach krajobrazowych, wystąpiły również miesiące ze spadkiem retencji. Wyższe stany wody nie wpłynęły znacząco na stan jakościowy wód podziemnych w zlewniach badawczych ZMŚP, w 8 (Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie, Poznań-Morasko, Roztocze, Pogórze Karpackie i Karkonosze) z 12 zlewni stwierdzono zadowalającą klasę jakości wody, do dobrej klasy zaliczono tylko wody na Wolinie i w Beskidzie Niskim, natomiast podwyższone zawartości azotu amonowego spowodowały zakwalifikowanie wód w Kampinosie i Łysogórach 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 2022 roku zanotowano nieznaczny spadek jakości tych wód. Cztery badane cieki (Lewińska Struga, Parsęta, Świerszcz i Wrzosówka) posiadały w 2022 roku bardzo dobrą i dobrą klasę elementów fizykochemicznych. Z kolei w pozostałych 7 ciekach (Czarna Hańcza, Struga Toruńska, Różany Strumień, Kanał Olszowiecki, Wieniec, Stara Rzeką 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, Łękuć i Kamionkowskie) pozwoliła na zakwalifikowanie tych wód do najlepszej klasy jakości wody.

W wodach powierzchniowych nie stwierdzono istotnej tendencji do spadku stężeń związków azotu co może oznaczać, że stanowią one potencjalne zagrożenie wzmożonej eutrofizacji. Działaniem zapobiegawczym jest w tym przypadku zachowanie stref nadrzecznych i przyjeziornych z naturalnym pokryciem roślinności, w których zachodzi proces redukcji biogenów. Wieloletnie badania ilościowe i jakościowe wód zlewni rzecznych i jeziornych w programie ZMŚP potwierdzają występowanie tendencji do obniżenia stężenia jonów siarczanowych. Związane jest to przede wszystkim ze spadkiem stężenia SO_2 w powietrzu i opadach atmosferycznych. Przykładowo w Puszczy Boreckiej, w latach dziewięćdziesiątych XX wieku, średnie roczne stężenia siarczanów w opadach były większe niż stężenia azotanów, a w kolejnych latach coraz wyraźniej zaznaczała się dominacja jonów azotanowych nad siarczanowymi. Taka sytuacja jest związana z relacjami pomiędzy prekursorami tych związków – tlenkami siarki i azotu w powietrzu – stężenia SO_2 malały w tym okresie wyraźnie, a stężenia NO_2 wykazywały tendencję wzrostową (Degórska i in. 2023). Ta zależność potwierdza aktualnie większą rolę w kształtowaniu jakości powietrza atmosferycznego przez zanieczyszczenia komunikacyjne niż przemysłowe.

W oparciu o blisko 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 geoskaźników, np. stężenia i udziału w opadach atmosferycznych jonów pochodzenia morskiego (Cl^- i Na^+) możliwa jest regionalizacja jakości opadów atmosferycznych w transektach południkowych i równoleżnikowym. Powyższa regionalizacja chlorkowo-sodowa opadów atmosferycznych 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 2022 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, Roztocze 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, Kanału Olszowieckiego i Wieńca.

Istotna dla zachowania i oceny walorów przyrodniczych geosystemów Polski była realizacja w 2022 roku w Stacjach Bazowych programów biotycznych (metale ciężkie i siarka w porostach i mchach, uszkodzenia drzew i drzewostanów oraz bioindykacja dotycząca występowania roślinnych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia), jak również programu ujmującego zmiany antropogeniczne (zmiany pokrycia terenu i użytkowanie ziemi). 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 chłodnolubnych, np. świerka w Polsce północno-wschodniej). Przykładem zmian klimatycznych, generujących zmiany geoekosystemów leśnych są obserwacje dotyczące zmian zbiorowisk leśnych w nadmorskiej strefie brzegowej Bałtyku (Tylkowski 2015b), m.in. w zasięgu Stacji Bazowej Wolin. Dla polskiej strefy brzegowej Bałtyku stwierdzono występowanie trendu wzrostu średniej rocznej temperatury powietrza $0,32^{\circ}\text{C}/10$ 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). Przykładem był 2019 rok kiedy, w ramach realizacji programu M1 – epifity nadrzewne, stwierdzono pogorszenie zdrowotności epifitów nadrzewnych – wzrost powierzchni chloroz i nekroz w porównaniu z latami wcześniejszymi, jednakże prawdopodobnie główną przyczyną tego stanu były warunki meteorologiczne a nie wzmożona antropopresja.

Posiadając w Centralnej Bazie Danych ZMŚP blisko trzydziestoletnie ciągi pomiarowe, uzasadnione jest prognozowanie przyszłych zmian środowiska przyrodniczego w badanych zlewniach. W 2020 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 dwóch okresach: 2021-2030 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. Ponowne opracowanie modelowania przedstawione zostanie w raportach za rok 2023.

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 2022 roku na tle wielolecia przedstawiono w raportach Stacji Bazowych ZMŚP, które stanowią załącznik do niniejszego opracowania.

LITERATURA

- Awłasiewicz W., 1953: Sposób badania odpływu rzek przy pomocy mapy parowania. *Gospodarka Wodna* 13(6), 202-205.
- 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., 2023: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Puszcza Borecka w 2022 roku. Warszawa, maszynopis.
- 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.
- 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.
- 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.
- Kaczorowska Z., 1962: Opady w Polsce w przekroju wieloletnim. *Prace Geogr. IG PAN* (33): 1-102.
- Kejna M., Hildebrandt K., Jankowski M., Kunz M., Nowak M., Pius B., Rasała Ł., Rutkowski L., Sobota I., Uscka-Kowalkowska J., 2023: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Pojezierze Chełmińskie w 2022 roku. Toruń, maszynopis.
- Kijowska-Strugała M., Bochenek W., 2023: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Beskid Niski w 2022 roku. Szymbark, maszynopis.
- Klimek M., Bojarczuk A., Gorczyca E., Krzaklewski P., Michno A., Piątek D., Rajwa-Kuligiewicz A., Siwek J., Stachurska-Swakoń A., Święchowicz J., 2023: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Pogórze Karpackie w 2022 roku. Łazy, maszynopis.
- Kolander R., 1999: Stan geoeosystemów Polski w 1998 roku.
http://centrumzmsp.home.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_1998.pdf

- Kondracki J., 2000: Geografia Regionalna Polski, Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Kostrzewski A., 1993: Geoekosystem obszarów nizinnych. Koncepcja metodologiczna. [W:] A. Kostrzewski (red.), Geoekosystem obszarów nizinnych, Polska Akademia Nauk, Kom. Nauk. Prez. PAN „Człowiek i Środowisko”, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław: 11-17.
- Kostrzewski A., 1995: Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego – cele, założenia i zadania. [W:] A. Kostrzewski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Propozycje programowe, Bibl. Monit. Środ., Warszawa: 7-22.
- Kostrzewski A., 2003: Obieg wody i jego wpływ na powstanie i funkcjonowanie struktur krajobrazowych strefy młodoglacjalnej (Polska północno-zachodnia, Pomorze Zachodnie). [W:] A. Kostrzewski, J. Szpikowski (red.), Funkcjonowanie geoekosystemów zlewni rzecznych 3: 17-20.
- Kostrzewski A., Kruszyk R., Kolander R., 2006: Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Zasady organizacji, system pomiarowy, wybrane metody badań.
- Kostrzewski A., Majewski M. (red.), 2018: Stan i przemiany środowiska przyrodniczego geoekosystemów Polski w latach 1994-2015 w oparciu o realizację programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- Kostrzewski A., Majewski M. (red.), 2021: Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Organizacja, system pomiarowy, metody badań. Wytyczne do realizacji, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- Kostrzewski A., 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., 2023: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Łysogóry w 2022 roku. Kielce, maszynopis.
- Krakowski K., Dobrowolski M., Stanek M., Przewoźnik L., 2023: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Karkonosze w 2022 roku. Jelenia Góra, maszynopis.
- Kruszyk R., 2003: Stan geoekosystemów Polski w 2002 roku.
https://centrumzmsp.home.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2002.pdf
- Kruszyk R., 2004: Stan geoekosystemów Polski w roku 2003.
https://centrumzmsp.home.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2003.pdf
- Kruszyk R., 2005: Stan geoekosystemów Polski w roku 2004.
https://centrumzmsp.home.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2004.pdf

- Kruszyk R., 2006: Stan geoekosystemów Polski w roku 2005.
https://centrumzmsp.home.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2005.pdf
- Kruszyk R., 2009: Raport o stanie geoekosystemów Polski w roku 2008.
https://centrumzmsp.home.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2008.pdf
- Kruszyk R., 2010: Stan geoekosystemów Polski w roku 2009.
https://centrumzmsp.home.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2009.pdf
- Kundzewicz Z.W., 2011: Zmiany klimatu, ich przyczyny i skutki – obserwacje i projekcje. *Landform Analysis* (15): 39-49.
- Lorenc H., 1998: Ocena stopnia realizacji programu “obserwacje meteorologiczne i badania klimatyczne w systemie zintegrowanego monitoringu środowiska” oraz synteza uzyskanych wyników badań za okres 1994-1997. [W:] A. Kostrzewski (red.), *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie i tendencje rozwoju geoekosystemów Polski. IX Sympozjum ZMŚP, Bibl. Monit. Środ., Warszawa: 113-119.*
- 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., 2023: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Wigry w 2022 roku. Krzywe, maszynopis.
- Majewski M., Kostrzewski A., 2019: Stan geoekosystemów Polski w roku 2018.
https://centrumzmsp.home.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/Raport_2018.pdf
- Majewski M., Kostrzewski A., 2020: Stan geoekosystemów Polski w roku 2019.
https://centrumzmsp.home.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/Raport_2019.pdf
- Majewski M., Kostrzewski A., 2021: Stan geoekosystemów Polski w roku 2020.
https://centrumzmsp.home.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2021/11/Raport_2020.pdf
- Majewski M., Kostrzewski A., 2022: Stan geoekosystemów Polski w roku 2021.
https://centrumzmsp.home.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2022/09/Raport_2021.pdf
- Major M., 2007: Stan geoekosystemów Polski w roku 2006.
https://centrumzmsp.home.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2006.pdf
- Major M., 2008: Stan geoekosystemów Polski w roku 2007.
https://centrumzmsp.home.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2007.pdf
- Major M., Chudzińska M., Dajdok Z., Kolendowicz L., Kruszyk R., Majewski M., Marciniak M., Okońska M., Półrolniczak M., Stefaniak M., 2023: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Poznań-Morasko w 2022 roku. Poznań, maszynopis.
- Manual for Integrated Monitoring, 1998: Finnish Environment Institute, ICP IM Programme Centre, Helsinki, Finland. www.syke.fi/nature/icpim > Manual for Integrated Monitoring, dostęp: 20.05.2020.
- Mazurek M., 2000: Zmienność transportu materiału rozpuszczonego w zlewni Kłudy jako przejaw współczesnych procesów denudacji chemicznej (Pomorze Zachodnie). Wyd. Nauk. UAM, Poznań.
- Mazurek M., Zwoliński Z., 2000: Funkcjonowanie wybranych geoekosystemów Polski w świetle pomiarów monitoringowych w roku hydrologicznym 1999.
http://centrumzmsp.home.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_1999.pdf

- Mazurek M., Zwoliński Z., 2001: Stan geoeosystemów Polski w roku 2000.
https://centrumzmsp.home.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2000.pdf
- Mazurek M., Zwoliński Z., 2002: Stan geoeosystemów Polski w roku 2001.
https://centrumzmsp.home.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., Stefaniak M., 2023: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Kampinos w 2022 roku. Leszno k. Warszawy – Izabelin, maszynopis.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska 2012: Z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu, *Dziennik Ustaw* 2012, poz. 1031.
- 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.
- 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.
- Stach A., 2009: Analiza struktury przestrzennej i czasoprzestrzennej maksymalnych opadów dobowych w Polsce w latach 1956-1980. Wyd. Nauk, UAM, Poznań, 323.
- Stachyra P., Gleń G., Maciejewski Z., Radliński B., Smoła M., Szpyra E., Bochenek W., 2023: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Roztocze w 2022 roku. Zwierzyniec, maszynopis.
- Szpikowska G., 2004: Jakość i rola opadów atmosferycznych w systemie denudacyjnym zlewni młodogłacialnej (Chwalimski Potok, górna Parsęta). [W:] M. Kejna, J. Uscka (red.), *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Funkcjonowanie i monitoring geoeosystemów 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 geoeosystemów w warunkach zmian użytkowania terenu*

- i narastającej antropopresji. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Vol. XXVIII, Biała Góra: 173-186.
- Szpikowska G., Tylkowski J., 2006: Denudation balance of the Upper Parsęta catchment in the years 2000-2004. *Quaestiones Geographicae* 25A: 75-82.
- Szpikowski J., 2011: Stan geoekosystemów Polski w roku 2010 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (z wykorzystaniem wybranych geoindykatorów). https://centrumzmsp.home.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2010b.pdf
- Szpikowski J., 2012: Stan geoekosystemów Polski w roku 2011 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (z wykorzystaniem wybranych geoindykatorów). https://centrumzmsp.home.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., 2023: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Parsęta w 2022 roku. Storkowo, maszynopis.
- Tokarska-Guzik B., Dajdok Z., Zając M., Zając A., Urbisz A., Danielewicz W., Hołdyński Cz., 2012: Rośliny obcego pochodzenia w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem gatunków inwazyjnych. GDOŚ Warszawa.
- Tylkowski J., 2005: Sezony transportu fluwialnego górnej Parsęty jako odbicie funkcjonowania rzek Pobrzeża Bałtyku. [W:] *Plejstoceńskie i holocenijskie przemiany środowiska przyrodniczego Polski*, K. Borówka (Red.), US, INoM, PTG, Szczecin: 58-62.
- Tylkowski J., 2013: Stan geoekosystemów Polski w roku 2012 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (z wykorzystaniem wybranych geoindykatorów). https://centrumzmsp.home.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2012.pdf
- Tylkowski J., 2014: Stan geoekosystemów Polski w roku 2013 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. https://centrumzmsp.home.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2013.pdf
- Tylkowski J., 2015a: Stan geoekosystemów Polski w roku 2014 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. https://centrumzmsp.home.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2014.pdf
- Tylkowski J., 2015b: The variability of climatic vegetative seasons and thermal resources at the Polish Baltic Sea coastline in the context of potential composition of coastal forest communities. *Baltic Forestry* 21 (1): 73-82
- Tylkowski J., 2016: Stan geoekosystemów Polski w roku 2015 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. https://centrumzmsp.home.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2015.pdf
- Tylkowski J., Czyryca P., Winowski M., Kostrzewski A., 2023: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Wolin w 2022 roku. Biała Góra, maszynopis.
- Tylkowski J., Kostrzewski A., 2017: Stan geoekosystemów Polski w roku 2016 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. https://centrumzmsp.home.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2016.pdf
- Tylkowski J., Kostrzewski A., 2018: Stan geoekosystemów Polski w roku 2016 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. https://centrumzmsp.home.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_2017.pdf
- Withers P.J.A., Neal C., Jarvie H., Doody D.G., 2014: Agriculture and Eutrophication: Where Do We Go from Here?, *Sustainability*, 6(9): 5853-5875.
- Zajączkowski G., 2021. Programy pomiarowe Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego: Program K1 – Uszkodzenia drzew i drzewostanów. W: A. Kostrzewski,

M. Majewski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Organizacja, system pomiarowy, metody badań. Wytyczne do realizacji. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Wydawnictwo Naukowe Bogucki, Warszawa: 297-305.

Zajączkowski G., 2023. Stan zdrowotny lasów w Polsce w 2022 roku na podstawie badań monitoringowych, Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary.

Zwoliński Z., 1997: Stan geoeosystemów Polski w roku hydrologicznym 1996.
https://centrumzmsp.home.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>

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 2022 roku hydrologicznym na tle wielolecia	36
Ryc. 7. Istotne statystycznie trendy wzrostu temperatury powietrza w Stacjach Bazowych ZMŚP – Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Pojezierze Chełmińskie, Łysogóry, Pogórze Karpackie i Beskid Niski	37
Ryc. 8. Sumy roczne opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2022 roku hydrologicznym na tle wielolecia	38
Ryc. 9. Przebieg miesięczny temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2022 roku na tle wielolecia	41
Ryc. 10. Przebieg zmian liczby dni gorących ($T_{max} > 25^{\circ}\text{C}$) w latach 1994-2022 w Stacjach Bazowych ZMŚP dysponujących przynajmniej 10-letnim okresem pomiarowym	43
Ryc. 11. Przebieg zmian liczby dni upalnych ($T_{max} > 30^{\circ}\text{C}$) w latach 1994-2022 w Stacjach Bazowych ZMŚP dysponujących przynajmniej 10-letnim okresem pomiarowym	43
Ryc. 12. Przebieg zmian liczby dni mroźnych ($T_{max} < 0^{\circ}\text{C}$) w latach 1994-2022 w Stacjach Bazowych ZMŚP dysponujących przynajmniej 10-letnim okresem pomiarowym	44
Ryc. 13. Przebieg zmian liczby dni bardzo mroźnych ($T_{min} < -10^{\circ}\text{C}$) w latach 1994-2022 w Stacjach Bazowych ZMŚP dysponujących przynajmniej 10-letnim okresem pomiarowym	44
Ryc. 14. Zmienność czasowa współczynników miesięcznych przepływu w roku hydrologicznym 2022 na tle zmienności czasowej wartości współczynników miesięcznych przepływu z wielolecia	63
Ryc. 15. Klasyfikacja pH i SEC opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2022 roku (dla opadu całkowitego)	68
Ryc. 16. Zmienność czasowa SEC opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2022 roku hydrologicznym na tle wielolecia	69
Ryc. 17. Istotne statystycznie trendy spadku SEC w opadach atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP – Puszcza Borecka, Pojezierze Chełmińskie i Kampinos	70
Ryc. 18. Zmienność czasowa kwasowości opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2022 roku hydrologicznym na tle wielolecia	71

Ryc. 19. Istotne statystycznie trendy wzrostu odczynu (spadku zakwaszenia) opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP – Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie, Kampinos, Roztocze i Beskid Niski	72
Ryc. 20. Zmiany wskaźnika czynników kwasogennych w zakwaszaniu wód opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP w wieloleciu 1994-2022	74
Ryc. 21. Deficyt odpływu wody i bilans substancji rozpuszczonych w zlewniach ZMŚP w latach 2015-2022. S – deficyt odpływu, B – bilans substancji rozpuszczonych	92
Ryc. 22. Przebieg termicznych pór roku w zlewniach badawczych ZMŚP w 2022 roku	95
Ryc. 23. Czas trwania termicznych pór roku w zlewniach badawczych ZMŚP w 2022 roku	96
Ryc. 24. Zmienność czasu trwania okresu wegetacyjnego w Stacjach Bazowych ZMŚP dysponujących ponad 5-letnim okresem pomiarowym	99
Ryc. 25. Średnie roczne stężenia NO ₂ w zlewniach badawczych ZMŚP w latach 2003-2022 (metoda pasywna)	101
Ryc. 26. Średnie roczne stężenia SO ₂ w zlewniach badawczych ZMŚP w latach 2003-2022 (metoda pasywna)	102
Ryc. 27. Średnie miesięczne stężenia NO ₂ w 2022 roku w zlewniach badawczych ZMŚP (metoda pasywna)	102
Ryc. 28. Średnie miesięczne stężenia SO ₂ w 2022 roku w zlewniach badawczych ZMŚP (metoda pasywna)	103

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 2022 r.	24
Tab. 4. Zakres programów i parametrów pomiarowych ZMŚP wykonanych w Stacjach Bazowych w 2022 roku	25
Tab. 5. Programy specjalistyczne realizowane w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2022 roku	33
Tab. 6. Średnia temperatura powietrza i suma opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2022 roku	35
Tab. 7. Liczba dni charakterystycznych temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2022 roku	46
Tab. 8. Klasyfikacja opadowa dla roku (Kaczorowska 1962, zmienione)	47
Tab. 9. Roczna klasyfikacja opadowa dla Stacji Bazowych ZMŚP	48
Tab. 10. Klasyfikacja termiczna roku wg Lorenc (1998)	49
Tab. 11. Roczna klasyfikacja termiczna dla Stacji Bazowych ZMŚP	50
Tab. 12. Klasyfikacja termiczno-opadowa dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2022 roku	51
Tab. 13. Wartości maksymalne i minimalne temperatur w roku hydrologicznym 2022 w Stacjach Bazowych ZMŚP	52
Tab. 14. Wskaźnik miesięcznych zmian retencji RM dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2022 roku hydrologicznym	55
Tab. 15. Wskaźnik zagrożenia niżówką hydrogeologiczną kn dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2022 roku hydrologicznym	57
Tab. 16. Miesięczne średnie wartości współczynnika odpływu [-] i odpływu jednostkowego oraz ekstremalne dobowe odpływy jednostkowe [dm ³ ·s ⁻¹ ·km ⁻²] w 2022 roku hydrologicznym w Stacjach Bazowych ZMŚP	58
Tab. 17. Miesięczne wysokości warstwy opadu i odpływu [mm] oraz skróconego bilansu wodnego [mm] w 2022 roku hydrologicznym w zlewniach ZMŚP	65

Tab. 18. Klasyfikacja przewodności elektrolitycznej wód opadowych (wg Jansena i in. 1988)	67
Tab. 19. Klasyfikacja odczynu wód opadowych (wg Jansena i in. 1988)	67
Tab. 20. Średnie stężenie substancji rozpuszczonych w wodach opadowych w zlewniach ZMŚP w 2022 roku	76
Tab. 21. Klasy jakości wody i stan chemiczny wód podziemnych w zlewniach ZMŚP w 2022 roku wg wybranych elementów fizykochemicznych	79
Tab. 22. Średnie stężenie substancji rozpuszczonych w wodach rzecznych w zlewniach ZMŚP w 2022 roku	81
Tab. 23. Klasyfikacja wybranych elementów fizykochemicznych wód płynących w zlewniach ZMŚP w 2022 roku wg Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021	84
Tab. 24. Jakość wód stojących w 2022 roku wg wybranych elementów fizykochemicznych (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021)	85
Tab. 25. Wskaźniki eutrofizacji rzek w Stacjach ZMŚP w 2022 roku	87
Tab. 26. Wskaźniki eutrofizacji jezior w Stacjach ZMŚP w 2022 roku	87
Tab. 27. Bilans jonów denudacyjnych i biogenicznych w zlewniach badawczych ZMŚP w 2022 roku	90
Tab. 28. Sezon wegetacyjny w zlewniach badawczych ZMŚP w 2022 roku	97
Tab. 29. Zanieczyszczenie powietrza – średnie roczne stężenie SO ₂ i NO ₂ [µg·m ⁻³] w zlewniach badawczych ZMŚP w 2022 roku	100
Tab. 30. Średnia defoliacja w zlewniach ZMŚP w 2022 roku hydrologicznym	104
Tab. 31. Występowanie roślinnych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia w zlewniach ZMŚP w latach 2016-2022	106
Tab. 32. Klasy pokrycia terenu i użytkowania ziemi na obszarze zlewni badawczych Stacji Bazowych ZMŚP w roku 2022	108
Tab. 33. Stan geoekologiczny zlewni badawczych ZMŚP w 2022 roku (na podstawie programów o rocznym i trzyletnim interwale czasowym)	112