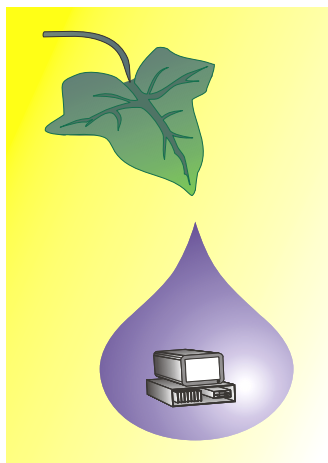




Dofinansowano ze środków
Narodowego Funduszu Ochrony
Środowiska i Gospodarki Wodnej

Sprawozdanie z realizacji IV etapu umowy nr 19/2018/F
pt. „Realizacja programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego
- nadzór merytoryczny oraz prowadzenie badań w latach 2018 – 2020”,
zawartej pomiędzy
Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska w Warszawie
a
Uniwersytetem im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Zadanie nr 2
Stan geoekosystemów Polski w 2019 roku

Poznań
2020

Mikołaj Majewski

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Instytut Geoekologii i Geoinformacji, Pracownia 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 2019 roku
na podstawie badań
Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego

Poznań 2020

SPIS TREŚCI

1. WPROWADZENIE	4
2. ZLEWNIE BADAWCZE ZMŚP	9
3. ZLEWNIE BADAWCZE ZMŚP A OBSZARY SZCZEGÓLNICENNE PRZYRODNICZO: PARKI NARODOWE I SIEĆ NATURA 2000	17
4. PROGRAM BADAWCZO-POMIAROWY STACJI BAZOWYCH ZMŚP	23
5. GEOINDYKATORY OBIEGU WODY W GEOEKOSYSTEMACH ZMŚP	35
5.1. Warunki pogodowe	35
5.2. Wody podziemne	52
5.3. Wody powierzchniowe	56
5.4. Skrócony bilans wodny	62
6. GEOINDYKATORY JAKOŚCI WODY W GEOEKOSYSTEMACH ZMŚP	64
6.1. Opady atmosferyczne	64
6.2. Wody podziemne	75
6.3. Wody powierzchniowe	77
6.4. Bilans jonów denudacyjnych i biogennych	84
7. WPŁYW UWARUNKOWAŃ ABIOTYCZNYCH NA PRZYRODĘ OŻYWIONĄ W GEOEKOSYSTEMACH ZMŚP W 2019 ROKU	90
7.1. Termiczne pory roku	90
7.2. Sezon wegetacyjny	93
7.3. Zanieczyszczenie powietrza	96
7.4. Uszkodzenia drzew i drzewostanów	98
7.5. Struktura i dynamika szaty roślinnej	99
7.6. Roślinne gatunki inwazyjne obcego pochodzenia	100
7.7. Hydrobiologia rzek – makrofity i hydromorfologiczna ocena koryt rzecznych	101
7.8. Zmiany pokrycia terenu i użytkowanie ziemi	104
8. STAN GEOEKOLOGICZNY I POTENCJAŁ ŚRODOWISKA PRZYRODNICZEGO W GEOEKOSYSTEMACH ZMŚP	107
8.1. Potencjał środowiska przyrodniczego w oparciu o ocenę usług geoekosystemów	108
8.2. Stan geoekologiczny	110
9. PODSUMOWANIE STANU GEOEKOSYSTEMÓW POLSKI W 2019 ROKU	113
10. LITERATURA	121
Spis rycin	125
Spis tabel	126

1. WPROWADZENIE

Opracowanie zostało wykonane zgodnie z umową 19/2018/F pt. „Realizacja programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego – nadzór merytoryczny oraz prowadzenie badań w latach 2018-2020” (zwana dalej umową ZMŚP). Umowa została zawarta 29 czerwca 2018 roku pomiędzy Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska w Warszawie a Uniwersytetem im. Adama Mickiewicza w Poznaniu i jest sfinansowana ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Przedmiotowe opracowanie wykonano w ramach zadania 2 pt. „Opracowanie corocznych sprawozdań o stanie geoekosystemów Polski”. W pracy przedstawiono stan geoekosystemów Polski w 2019 roku hydrologicznym, z odniesieniem do wieloletniego (1994-2018) okresu badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (ZMŚP).

Program badawczo-pomiarowy ZMŚP w 2019 roku realizowano w jedenastu Stacjach Bazowych (SB ZMŚP): Wolin, Parsęta (dawna nazwa Storkowo), Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie (dawna nazwa Koniczynka), Poznań-Morasko (dawna nazwa Różany Strumień), Kampinos, Łysogóry (dawna nazwa Święty Krzyż), Roztocze, Beskid Niski (dawna nazwa Szymbark) i Karkonosze. Podstawę opracowania stanowiły merytoryczne raporty ze Stacji ZMŚP za 2019 rok hydrologiczny (od 1 listopada 2018 roku do 31 października 2019 roku), w których analizowano funkcjonowanie geoekosystemów (zlewni) reprezentatywnych w wybranych strefach krajobrazowych Polski (tj. Degórska i in. 2020, Jóźwiak i in. 2020, Kejna i in. 2020, Kijowska-Strugała i in. 2020, Krakowski i in. 2020, Krzysztofiak i in. 2020, Major i in. 2020, Olszewski, Andrzejewska 2020, Stachyra i in. 2020, Szpikowski i in. 2020, Tyłkowski i in. 2020). W opracowaniu wykorzystano także dane zgromadzone w Centralnej Bazie Danych ZMŚP za lata hydrologiczne 1994-2019. 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).

Program ZMŚP jest programem naukowo-badawczym i służy ochronie struktury krajobrazowej Polski. Pod względem metodologicznym program ZMŚP opiera się na koncepcji funkcjonowania systemu i realizuje założenia zachowania georóżnorodności i bioróżnorodności kraju (Kostrzewski 1993). Podstawowym obiektem badań w ZMŚP jest

zlewnia rzeczna lub jeziorna, w zasięgu której zlokalizowane są testowe powierzchnie badawcze, reprezentatywne dla badanego krajobrazu (Kostrzewski 1995). Celem ZMŚP jest określenie aktualnego stanu oraz wieloletnich tendencji przemian i kierunków rozwoju środowiska przyrodniczego zlewni ZMŚP. Przemiany środowiska przyrodniczego odnoszone są m.in. do obserwowanych aktualnie zmian klimatu i narastającej antropopresji. Uzyskane wyniki stanowią podstawę do sporządzenia 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 badanych geoeosystemów, kierunkach zagrożeń w funkcjonowaniu środowiska przyrodniczego badanych zlewni. Istotnym elementem rocznych sprawozdań jest prezentacja propozycji działań, które umożliwią jego zrównoważony rozwój i pozwolą zachować walory i zasoby przyrodnicze. 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 geoeosystemów Polski (Kostrzewski i in. 2007). Metodologia programu ZMŚP podporządkowana jest kompleksowemu ujęciu funkcjonowania środowiska przyrodniczego poprzez określenie bilansu energii (wody) i materii (głównie substancji rozpuszczonych) w zlewni rzecznej lub jeziornej (Kostrzewski 1995). W zintegrowanym monitoringu badania obejmują także wybrane biotyczne elementy geoeosystemu, które spełniają rolę biowskaźników stanu i tendencji rozwoju środowiska. Monitorowane elementy abiotyczne, dotyczące oceny ilościowej i jakościowej obiegu wody, spełniają rolę geoindykatorów stanu środowiska (Szpikowski 2012, Tylkowski 2015a).

Program ZMŚP merytorycznie nawiązuje do ICP Integrated Monitoring (Manual for Integrated Monitoring 1998), funkcjonującego w ramach Konwencji w sprawie transgranicznego zanieczyszczania powietrza na dalekie odległości, zatwierdzonego w Genewie w dniu 13 listopada 1979 roku. Od 2017 roku sieć badawczo-pomiarowa ZMŚP należy do ww. programu europejskiego.

Podstawowym celem niniejszego opracowania jest syntetyczne przedstawienie informacji o stanie środowiska przyrodniczego i tendencjach rozwoju wybranych geoeosystemów Polski w 2019 roku na tle wielolecia 1994-2018 (Kostrzewski, Majewski 2018). Prowadzony w wytypowanych zlewniach reprezentatywnych monitoring naukowo-badawczy dotyczy głównie dwóch aspektów:

1. Przepływu energii (wody) i obiegu materii (substancji rozpuszczonych) w geoekosystemach, który umożliwia 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 geoekosystemu, wzrost stężenia biogenów i elementów toksycznych, np. porosty, makrofity.

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, 2015, 2016; Tylkowski, Kostrzewski 2017, 2018; Majewski, Kostrzewski 2019). 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 rzeczny, występowania susz oraz opadów rozlewnych i nawałnych, identyfikacji epizodów

i okresów występowania wezbrań i niżówek w wodach powierzchniowych i podziemnych. Dostawa wody do badanych geoeosystemów 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. Od klimatycznego bilansu wodnego zależy np. wielkość zasilania i odnawiania zasobów wód podziemnych, odpływ ze zlewni oraz funkcjonowanie świata roślinnego i zwierzęcego.

W oparciu o założenia metodologiczne i metodyczne ZMŚP sporządzano coroczne opracowania syntetyczne o stanie geoeosystemów Polski (Kruszyk 2003, 2004, 2005, 2006, 2009, 2010; Major 2007, 2008; Szpikowski 2011, 2012; Tylkowski 2013, 2014, 2015, 2016; Tylkowski, Kostrzewski 2017, 2018; Majewski, Kostrzewski 2019). 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 stanowiły postęp w stosunku do pierwszych opracowań ZMŚP. Zwłaszcza wykonywane od 2011 roku coroczne opracowania zawierają informacje o aktualnym stanie, trendach wieloletnich oraz zagrożeniach rozwoju środowiska geograficznego. Raport za 2019 rok, będący przedmiotem niniejszego opracowania, podobnie jak sprawozdania za lata 2011-2018 został sporządzony w oparciu o wybrane geoskażniki 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 w ostatnim dwudziestoleciu, ze szczególnym uwzględnieniem zdarzeń ekstremalnych, np. w 2019 roku. 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 geoeosystemów, które reprezentują odmienne typy krajobrazu. Identyfikacja źródeł zagrożeń dla 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 11) położonych jest w jej granicach.

Obecny zasób informacji i danych ZMŚP pozwala na aktualną ocenę stanu środowiska oraz na predykcję jego rozwoju. Centralna Baza Danych ZMŚP zawiera ponad 1,5 mln

rekordów przedstawiających rzeczywiste, terenowe dane z okresu 1994-2019. 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. 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 zlewnie rzeczne lub jeziorne. Przyjęta koncepcja funkcjonowania zlewni rzecznej, traktowanej jako geoelement, określa indywidualność programu ZMŚP w porównaniu z branżowymi programami monitoringu. W poszczególnych zlewniach i ich otulinach zlokalizowane są testowe powierzchnie i profile badawcze oraz stanowiska pomiarowe. W 2019 roku komplementarne badania terenowe i analitykę laboratoryjną prowadzono wg standaryzowanych metod w 11 Stacjach Bazowych ZMŚP (Ryc. 1, Ryc. 2, Tab. 1, Tab. 2).

Lokalizacja Stacji Bazowych ZMŚP uwzględnia zróżnicowanie krajobrazowe stref fizycznogeograficznych (Kondracki 2000) 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).

Najwięcej Stacji Bazowych ZMŚP położonych jest w strefie pojezierzy (Stacje Bazowe: Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie i Poznań-Morasko). Po dwie stacje znajdują się w strefie wyżyn (Stacje Bazowe: Łysogóry i Roztocze) oraz gór średnich (Stacje Bazowe: Beskid Niski i Karkonosze). Po jednej stacji występuje na wybrzeżu Morza Bałtyckiego, w obrębie nizin nadmorskich (Stacja Bazowa Wolin) i na obszarze nizin środkowopolskich (Stacja Bazowa Kampinos) (Ryc. 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 zlewni Wieńca 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 reprezentatywnych 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
Beskid Niski	Bystrzanka	Góry średnie	rolnicza i średnio nienaturalna	1994
Karkonosze	Wrzosówka	Góry średnie	leśna	2016

Badane zlewnie w systemie ZMŚP posiadają zróżnicowaną wielkość, o powierzchni mniejszej niż 100 km². Do największych powierzchniowo geoeosystemów należą zlewnie:

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) oraz strefa górską (Stacja Bazowa Beskid Niski).
3. Transekt wschodni: strefa młodogłacjalna Niżu Polskiego (Stacje Bazowe Wigry i Puszcza Borecka), strefa wyżynna (Stacja Bazowa Roztocze).

W strefie młodogłacjalnej Niżu Polskiego można ponadto wyznaczyć dwa transekty równoleżnikowe. Pierwszy, przebiegający przez Stacje Bazowe: Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka i Wigry oraz drugi przebiegający przez Stacje: Poznań-Morasko i Pojezierze Chełmińskie. Kolejny transekt równoleżnikowy, obejmujący góry i wyżyny, przebiega przez Stacje: Karkonosze, Łysogóry i Roztocze.

Tab. 2. Charakterystyka fizycznogeograficzna zlewni reprezentatywnych ZMŚP w 2019 roku

Zlewnia	Powierzchnia [km²]	Zlewnia/ Dorzecze	Mezoregion fizycznogeograficzny	Makroregion fizycznogeograficzny
Jezioro Gardno	2,4	Morze Bałtyckie	Uznam i Wolin	Pobrzeże Szczecińskie
Parsęta	74,0	Parsęta	Pojezierze Drawskie	Pojezierze Zachodniopomorskie
Jezioro Łękek	13,3	Węgorapa/ Pregoła	Pojezierze Ełckie	Pojezierze Mazurskie
Czarna Hańcza	11,0	Niemen	Pojezierze Wschodniosuwalskie, Równina Augustowska	Pojezierze Litewskie
Struga Toruńska	35,5	Wisła	Pojezierze Chełmińskie	Pojezierze Chełmińsko-Dobrzyńskie, Pradolina Toruńsko-Eberswaldzka
Różany Strumień	7,7	Warta/Odra	Pojezierze Poznańskie, Poznański Przełom Warty	Pojezierze Wielkopolskie
Kanał Olszowiecki	21,0	Łasica/Wisła	Kotlina Warszawska	Nizina Środkowo-Mazowiecka
Wieniec	1,3	Kamienna/Wisła	Góry Świętokrzyskie	Wyżyna Kielecka
Świerszcz	46,5	Wieprz/Wisła	Roztocze Zachodnie/ Roztocze Środkowe	Roztocze
Bystrzanka	13,0	Ropa/Wisła	Beskid Niski	Beskid Środkowy
Wrzosówka	11,5	Kamienna/Odra	Karkonosze	Sudety Zachodnie

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

Zlewnia jeziora Gardno (Stacja Bazowa Wolin) reprezentuje 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 obiektów położonych w nadmorskiej strefie młodoglacjalnej Polski (Tylkowski i in. 2020).

Zlewnia górnej Parsęty, będąca obiektem badań Stacji Bazowej Parsęta, położona jest w obrębie Pomorza Środkowego, w mezoregionie Pojezierza Drawskiego. Zlewnia cechuje się stosunkowo niewielkim stopniem przekształceń antropogenicznych, który w ograniczonym stopniu wpływa na funkcjonowanie środowiska przyrodniczego. Można ją uznać za reprezentatywną dla obszarów młodoglacjalnych umiarkowanej strefy klimatycznej (Szpikowski i in. 2020).

Szczególną lokalizację w północnym pasie pojezierzy posiada Stacja Bazowa Puszcza Borecka, gdzie przy braku większych lokalnych źródeł zanieczyszczeń, badania jakości powietrza i wód docierających do podłoża zlewni 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 północno-wschodniej Polski.

Zlewnia badawcza Stacji Bazowej Wigry jest zlewnią różnicową Czarnej Hańczy, ograniczoną dwoma profilami pomiarowymi. Krajobraz zlewni określają utwory i formy lodowcowe oraz wodnolodowcowe z okresu recesji lądolodu podczas fazy pomorskiej.

Obszar ten ma najsurowsze warunki klimatyczne w całej nizinnej części kraju. Zlewnia badawcza 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 (Krzysztofiak i in. 2020).

Zlewnia Strugi Toruńskiej na terenie Stacji Bazowej Pojezierze Chełmińskie reprezentuje młodogłacjalny 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 (wisły). Jej indywidualność wynika z intensywnej antropopresji, intensywnego rolnictwa oraz braku 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. 2020).

Zlewnia Rózanego Strumienia, będąca obiektem badań Stacji Bazowej Poznań-Morasko, reprezentuje typowy krajobraz młodogłacjalny 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 uzyskiwanie danych charakteryzujących skalę i dynamikę przemian zlewni rzecznych w wyniku gospodarczej 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. 2020).

Krajobraz starogłacjalny Polski centralnej reprezentowany jest przez zlewnię Kanału Olszowieckiego (Stacja Bazowa Kampinos), położoną w obrębie Puszczy Kampinoskiej, gdzie dominuje geoekosystem 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, Andrzejewska 2020).

Stacja Bazowa Łysogóry obejmuje badaniami zlewnię leśno-rolniczą Wieńca w Górach Świętokrzyskich, w masywie Łysogór. Zlewnia pozostaje w strefie oddziaływania lokalnych, jak i ponadregionalnych emisji przemysłowych, co spowodowało już niekorzystne zmiany w ekosystemach leśnych, m.in. w drzewostanach jodłowych. Indywidualizm termiczny, zdeterminowany głównie rzeźbą Gór Świętokrzyskich 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 stwarzają możliwość nierzadkiego i długotrwałego bezpośredniego oddziaływania mas powietrza atmosferycznego nasyconego emisjami przemysłowymi i komunikacyjnymi na elementy hylo-, pedo- i hydrosfery (Józwiak i in. 2020).

Stacja Bazowa Roztocze realizuje badania w wyżynnej zlewni śródlęsnego ciekłu – Świerszcza, która 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. 2020).

Stacja Bazowa Beskid Niski, zlokalizowana w zlewni Bystrzanki, reprezentuje geoekosystem części Karpat Fliszowych, który w coraz mniejszym stopniu narażony jest na napływ zanieczyszczeń atmosfery, m.in. w wyniku likwidacji zakładów przemysłowych w Gorlicach. Monitoring w Stacji 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 i in. 2020).

Stacja Bazowa Karkonosze położona w zlewni Wrzosówki reprezentuje krajobraz gór średnich. W zlewni występuje duża różnorodność ekosystemów, siedlisk i zbiorowisk roślinnych, charakteryzujących się typową dla obszarów górskich piętrowością. Piętro regła dolnego porośnięte jest lasami o strukturze siedliskowej i gatunkowej typowej dla całego obszaru Sudetów. Należą do nich siedliska leśne m.in. kwaśnej buczyny sudeckiej oraz boru

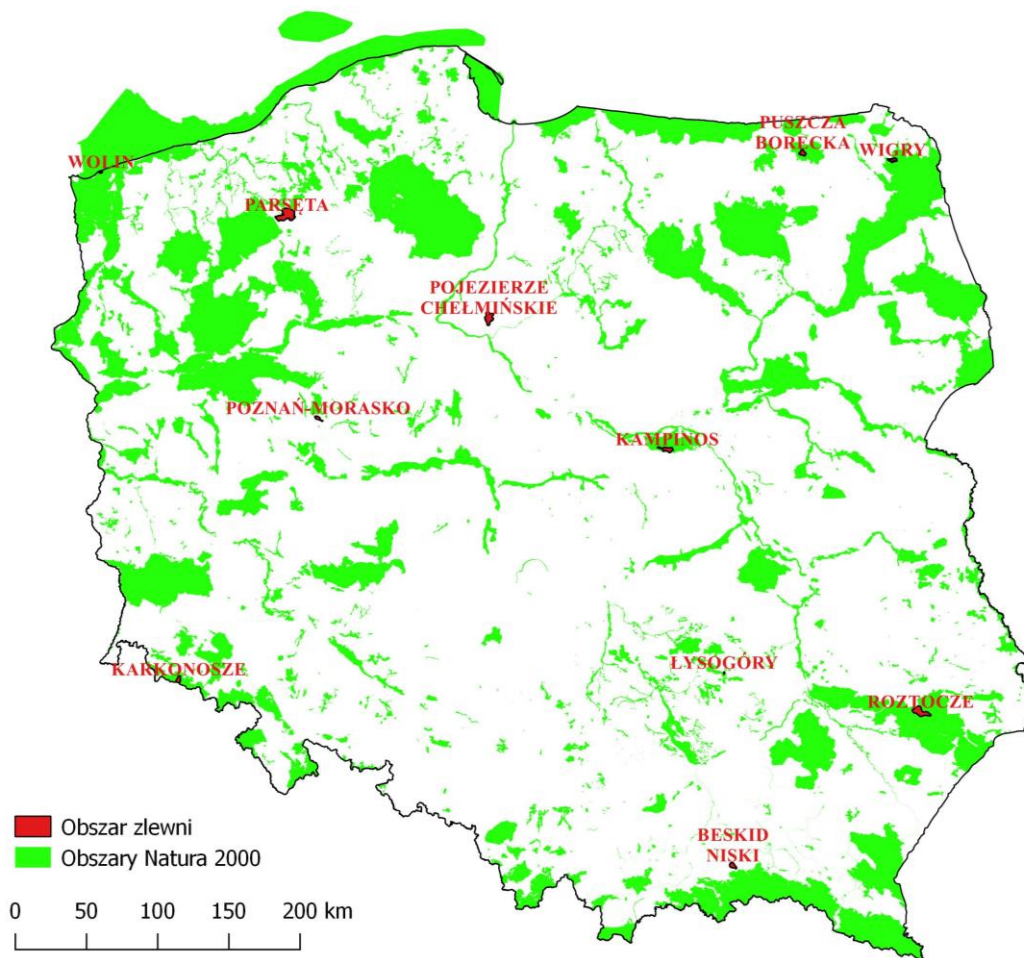
świerkowo-jodłowego, odtwarzane obecnie drogą restytucji jodły pospolitej. Zlokalizowane są tu cenne ekosystemy łąkowe. Regiel górny porasta górnoreglowa świerczyna sudecka, urozmaicona licznymi stokowymi torfowiskami przejściowymi. Zlewnia Wrzosówki jest reprezentatywna dla całego obszaru Karkonoszy i łączy w sobie elementy górskie oraz borealne (Krakowski i in. 2020).

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

Sześć zlewni ZMŚP położonych jest w Parkach Narodowych: Wolińskim, Wigierskim, Kampinoskim, Świętokrzyskim, Roztoczańskim i Karkonoskim (Ryc. 3). Dziewięć zlewni badawczych ZMŚP położonych jest 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 stanu oraz ewentualnych zagrożeń w programie Natura 2000.



Ryc. 3. Lokalizacja Stacji Bazowych ZMŚP w Parkach Narodowych Polski

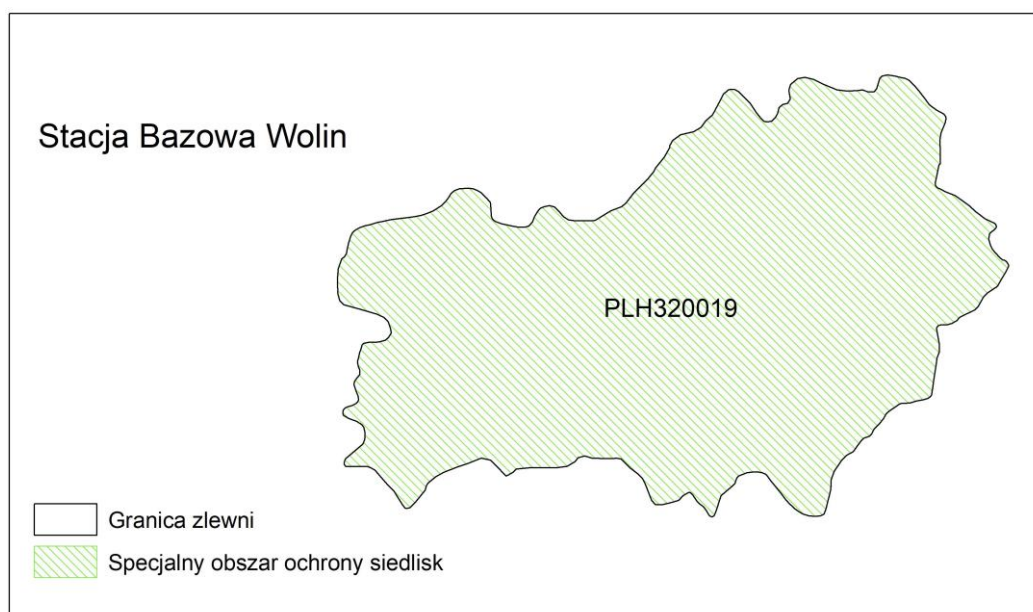


Ryc. 4. Lokalizacja Stacji Bazowych ZMŚP na tle Obszarów Natura 2000 w Polsce

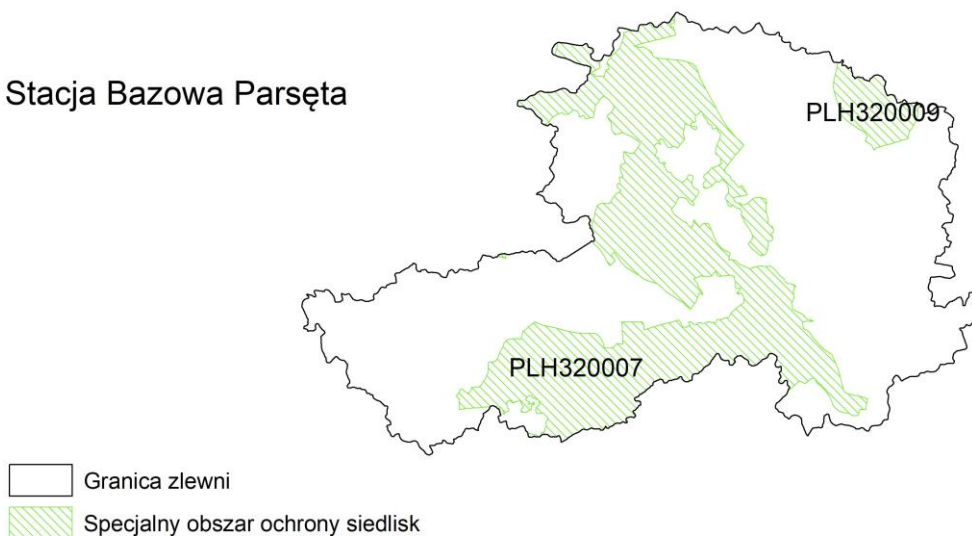
Spśród jedenastu Stacji Bazowych ZMŚP aż dziewięć jest położonych całkowicie albo częściowo na obszarach Natura 2000. Jedynie zlewnie Strugi Toruńskiej i Różanego Strumienia są położone poza granicami obszarów Natura 2000:

1. Zlewnia jeziora Gardno w Białej Górze 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) i *Jeziora Szczecineckie* (PLH 320009) (Ryc. 5).
3. Zlewnia jeziora Łękuk monitorowana przez Stację Bazową Puszcza Borecka w około 80% położona jest w granicach obszaru Natura 2000 *Puszcza Borecka* (PLH280006) i *Ostoja Borecka* (PLH280016) (Ryc. 5).

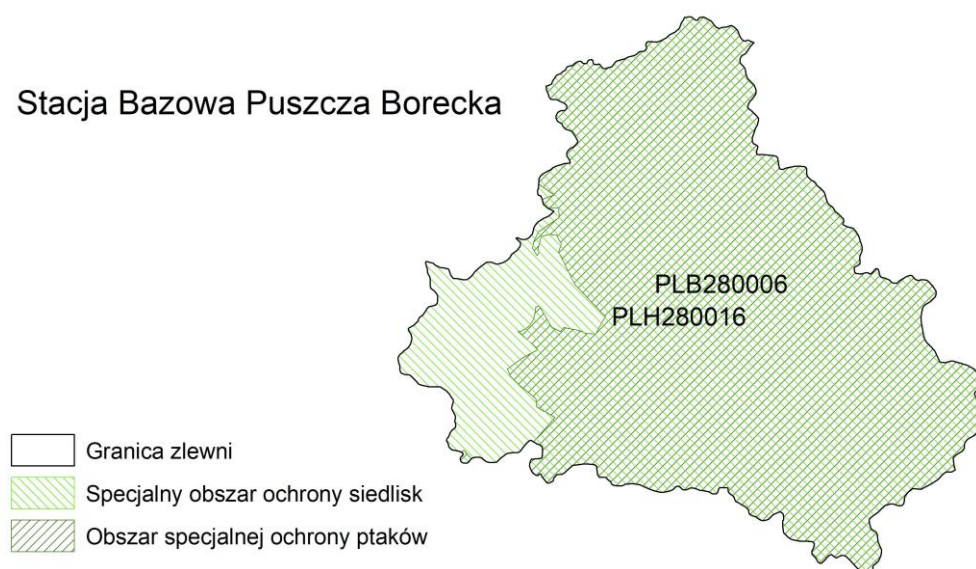
4. Zlewnia Czarnej Hańczy, objęta monitoringiem Stacji Bazowej Wigry, wchodzi w około 80% w skład obszaru Natura 2000 *Ostoja Wigierska (PLH200004)* (Ryc. 5). Ponadto ok. 65% powierzchni zlewni znajduje się w Wigierskim Parku Narodowym.
5. Zlewnia Kanału Olszowieckiego (Stacja Bazowa Kampinos) w około 90% położona jest na terenie obszaru Natura 2000 *Puszcza Kampinoska (PLC140001)* oraz w Kampinoskim Parku Narodowym (Ryc. 5).
6. Około 70% zlewni badawczej Wieńca (Stacja Bazowa Łysogóry) leży w granicach obszaru Natura 2000 *Łysogóry (PLH260002)* oraz na terenie Świętokrzyskiego Parku Narodowego (Ryc. 5).
7. Zlewnia Świerszcza monitorowana przez Stację Bazową Roztocze w około 40% leży w granicach Roztoczańskiego Parku Narodowego i jednocześnie w obszarze o znaczeniu wspólnotowym sieci Natura 2000 *Roztocze Środkowe PLH060017*. Pozostała część zlewni położona jest w granicach otuliny parku narodowego. W całości zlewnia Świerszcza 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 obszarach Natura 2000: *Karkonosze PLH020006* i *Karkonosze PLB020007* (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*.



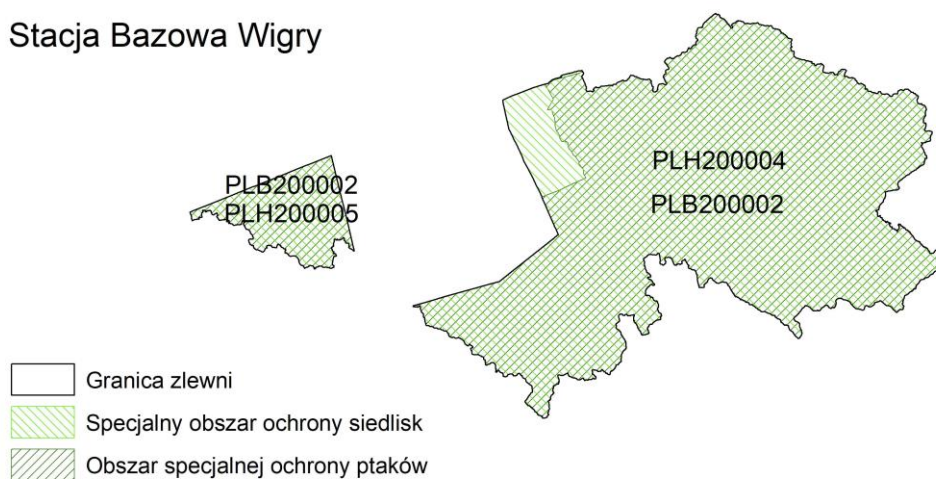
Stacja Bazowa Parsęta



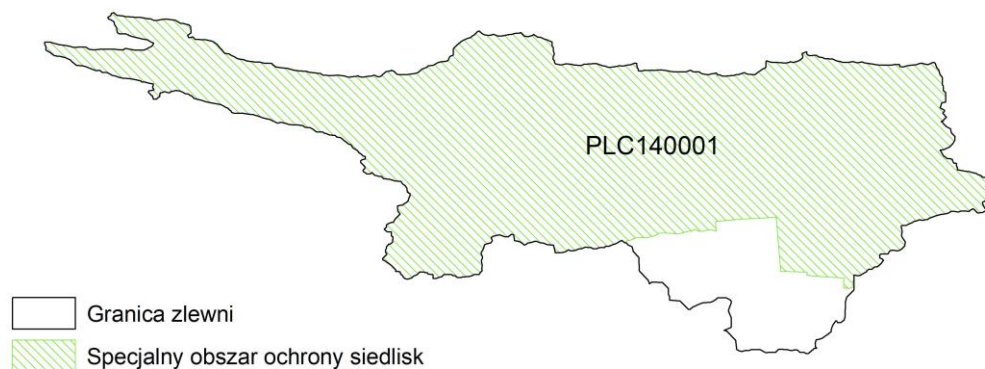
Stacja Bazowa Puszcza Borecka



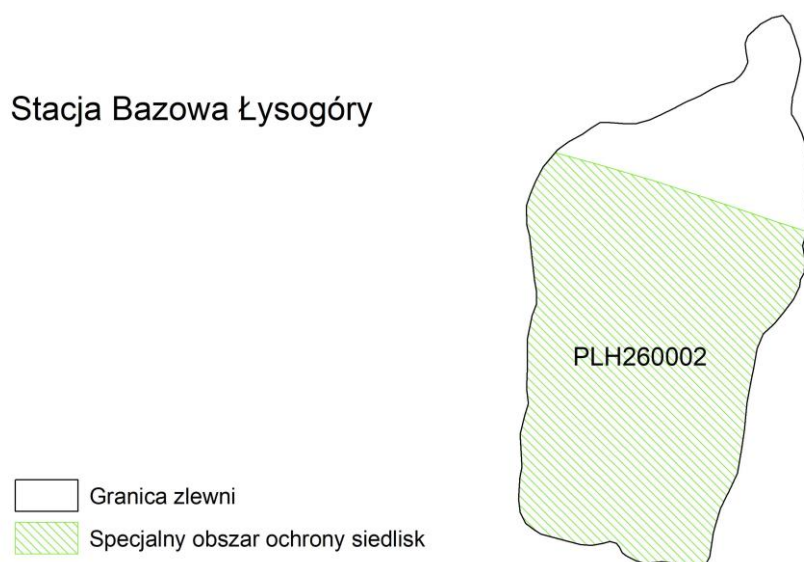
Stacja Bazowa Wigry



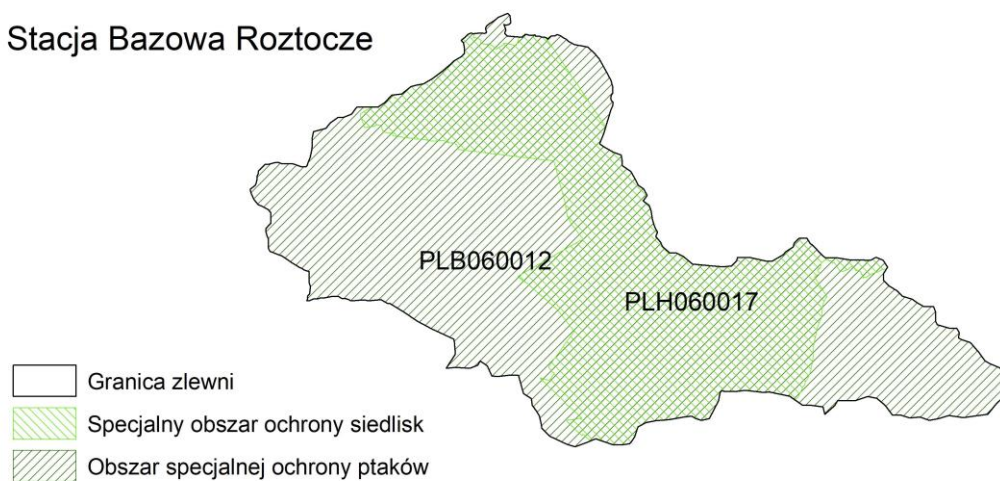
Stacja Bazowa Kampinos

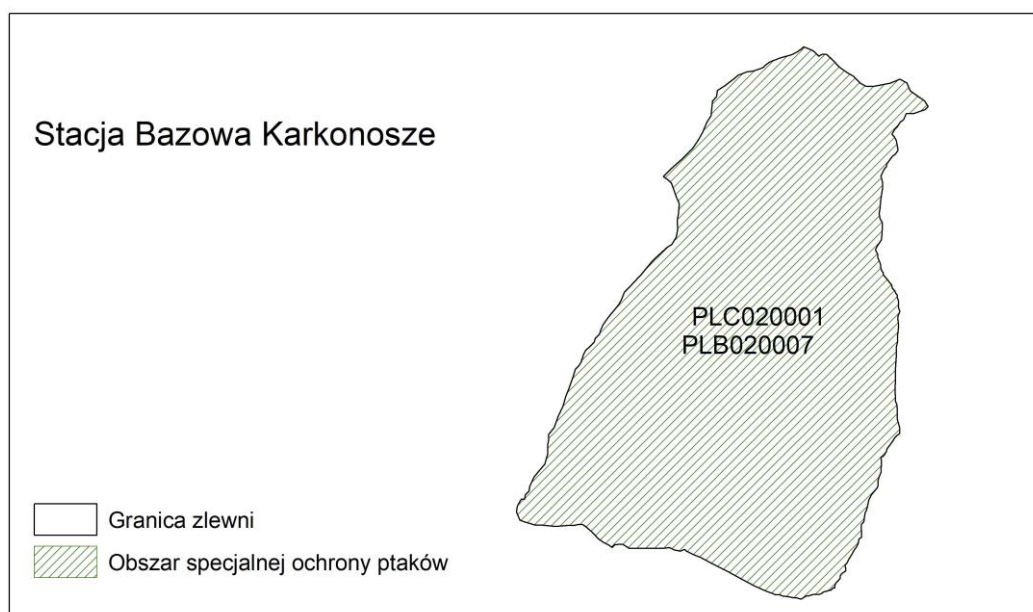


Stacja Bazowa Łysogóry



Stacja Bazowa Roztocze





Ryc. 5. Pokrycie zlewni Stacji Bazowych ZMŚP przez Obszary 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 przypadku zdecydowanej większości siedlisk utrzymanie ich właściwego stanu ochrony zależy od zbadania dynamiki procesów i zjawisk zachodzących naturalnie i warunkowanych antropogenicznie, od których zależy struktura i funkcjonowanie siedlisk Natura 2000. Monitoring biologicznych zasobów ekologicznej sieci Natura 2000 odbywa się na podstawie metodyk opublikowanych przez GIOŚ i jest wykonywany przez przeszkolonych ekspertów (<http://siedliska.gios.gov.pl/pl/monitoring/metodyka>). Systematycznie zbieranymi naukowymi metodami obserwacyjno-pomiarowymi danymi, niezbędnymi do opisu czynników warunkujących stan siedlisk dysponuje Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. 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 erozje: wietrzna (deflacja, akumulacja), wodna (powierzchniowa, liniowa) i wodno-grawitacyjna (osuwiska, obrywy, osiadania, spłyzywania, spływy). 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 2019 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.

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: chemizmu opadu podkoronowego, chemizmu spływu po pniach, opadu organicznego oraz uszkodzenia drzew i drzewostanów. Program chemizm spływu po pniach C3 wykonywany był jedynie na powierzchniach badawczych z dominacją drzewostanu liściastego, tzn. przez Stacje ZMŚP: Wolin, Puszcza Borecka, Łysogóry, Roztocze, Beskid Niski i Karkonosze. Program wody powierzchniowe jeziora H2 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 ciekłu nie wykonywano programu H1 wody powierzchniowe rzeki.

W 2019 roku w Stacjach Bazowych ZMŚP wykonywane były programy specjalistyczne przez ekspertów ZMŚP, które dotyczyły określenia stanu środowiska przyrodniczego, głównie w odniesieniu do programów biotycznych realizowanych w różnych interwałach czasowych. Program Gleby E1, realizowany raz na 10 lat w danej zlewni, wykonano w Stacji Wigry (zadanie 7. umowy ZMŚP – prof. dr hab. Jolanta Komisarek, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu). W czterech Stacjach ZMŚP: Puszcza Borecka, Wigry, Łysogóry i Roztocze wykonano Program I1 Hydrobiologia rzek makrofity i ocena hydromorfologiczna koryta rzecznej, który realizowany jest raz na 3 lata w danej zlewni (zadanie 5. umowy ZMŚP prof. dr hab. Krzysztof Szoszkiewicz, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu). Natomiast program Ocena usług geoeosystemów, realizowany również raz na 3 lata w danej zlewni, (zadanie 10. umowy ZMŚP prof. UAM dr hab. Małgorzata Stępniewska, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu) zrealizowano w czterech Stacjach Bazowych: Wolin, Parsęta, Poznań-Morasko i Karkonosze (Tab. 4).

Tab. 3. Podstawowy program pomiarowy realizowany przez Stacje Bazowe ZMŚP w 2019 roku

Program pomiarowy	Wolin	Parsęta	Puszcza Borecka	Wigry	Pojezierze Chełmińskie	Poznań-Morasko	Kampinos	Łysogóry	Roztocze	Beskid Niski	Karkonosze
Meteorologia A1											
Zanieczyszczenie powietrza B1											
Chemizm opadów atmosferycznych C1											
Chemizm opadu podkoronowego C2											
Chemizm spływu po pninach C3											
Roztwory glebowe F1											
Wody podziemne F2											
Opad organiczny G2											
Wody powierzchniowe – rzeki H1											
Wody powierzchniowe – jeziora H2											
Struktura i dynamika szaty roślinnej J2											
Gatunki inwazyjne obcego pochodzenia – rośliny J3											
Uszkodzenia drzew i drzewostanów K1											
Epifity nadrzewne M1											
	zrealizowany przez Stacje					nie zrealizowany – brak w zlewni danego komponentu środowiska geograficznego					
	zrealizowany we współpracy z jednostkami zewnętrznymi					nie zrealizowany – awaria, brak sprzętu, lub inne przyczyny					

Tab. 4. Programy badawczo-pomiarowe ZMŚP zrealizowane w Stacjach Bazowych ZMŚP przez Ekspertów ZMŚP w 2019 roku

Program pomiarowy	Wolin	Parsęta	Puszcza Borecka	Wigry	Pojezierze Chełmińskie	Poznań-Morasko	Kampinos	Łysogóry	Roztocze	Beskid Niski	Karkonosze
Gleby E1											
Hydrobiologia rzek – makrofity i ocena hydromorfologiczna koryta rzecznej I1											
Ocena usług geoeosystemów											
	zrealizowany przez Eksperta ZMŚP				programy będą realizowane w kolejnych latach zgodnie z harmonogramem						

W tabeli 5 przedstawiono programy i parametry pomiarowe zrealizowane w 2019 roku przez Stacje ZMŚP, zarówno w ramach zakresu obligatoryjnego jak i rozszerzonego. Zrealizowano 14 programów ZMŚP, wśród których badano 164 parametry podstawowe i 71 parametrów rozszerzonych.

Tab. 5. Zakres programów i parametrów pomiarowych ZMŚP wykonanych w Stacjach Bazowych w 2019 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, 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	
	rodzaj opadów		1/dobę	
	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 całkowitego – suma dobową	SOL_T_S	pomiar ciągły/suma dobową ze średnich godzinnych	
	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, Łysogóry, Beskid Niski
	azot w dwutlenku azotu N-NO ₂ (metoda manualna lub automatyczna)	NDON		Puszcza Borecka, Kampinos, Łysogóry, Roztocze
	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, Kampinos
CHEMIZM OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH C1	Zakres obligatoryjny			
	przewodność elektrolityczna właściwa	COND	12/rok z próbek dobowych lub tygodniowych	Wszystkie stacje
	odczyn (pH)	PH		
	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	Puszcza Borecka, Łysogóry		

Program	Parametr	Kod parametru	Częstotliwość pomiarów/ czas uśredniania	Status Uwagi
OPAD PODKORONOWY 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		
	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		Puszcza Borecka, Łysogóry
	żelazo Fe	FE		
	glin Al	AL		
SPŁYW PO PNIACH C3	Zakres obligatoryjny			
	spływ po pniach	RR_SF	12/rok	Obligatoryjnie tylko dla drzewostanu liściastego. Wykonano: Wolin, Puszcza Borecka, Łysogóry, Roztocze, Beskid Niski i Karkonosze
	przewodność elektrolityczna właściwa	COND	12/rok z próbek tygodniowych	
	odczyn (pH)	PH		
	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		Puszcza Borecka, Łysogóry
	żelazo Fe	FE		
	glin Al	AL		

Program	Parametr	Kod parametru	Częstotliwość pomiarów/ czas uśredniania	Status Uwagi
CHEMIZM ROZTWORÓW GLEBOWYCH F1	Zakres obligatoryjny			
	przewodność elektrolityczna właściwa	COND	1/miesiąc	Wszystkie stacje
	odczyn (pH)	PH		
	wodorowęglany (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	Parsęta, Puszcza Borecka, Pojezierze Chełmińskie, Kampinos, Łysogóry, Roztocze, Beskid Niski, Karkonosze
żelazo Fe	FE	Puszcza Borecka, Łysogóry		
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/miesiąc lub 1/kwartał	
	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		
	BZT ₅	BZT5		
	tlen rozpuszczony	O2		

Program	Parametr	Kod parametru	Częstotliwość pomiarów/ czas uśredniania	Status Uwagi
WODY PODZIEMNE F2	Zakres rozszerzony			
	glin Al	AL	1/kwartał	Parsęta, Puszcza Borecka, Pojezierze Chełmińskie, Kampinos, Łysogóry, Roztocze, Beskid Niski, Karkonosze
	krzemionka SiO ₂	SIO2		Parsęta, Puszcza Borecka
	mangan Mn	MN		Puszcza Borecka, Łysogóry
	żelazo Fe	FE		Puszcza Borecka
	rozpuszczony węgiel organiczny RWO	DOC		
	kadm Cd	CD		
	miedź Cu	CU		
	ołów Pb	PB		
	cynk Zn	ZN		
	nikiel Ni	NI		
	arsen As	AS		
	chrom Cr	CR		
	Zakres obligatoryjny			
opad organiczny (masa sucha)	LDEP_D_f	12/rok	Wszystkie stacje – oprócz Pojezierza Chełmińskiego (brak powierzchni leśnej)	
całkowity węgiel organiczny C _{org}	TOC	1/rok z próbek miesięcznych		
azot ogólny N _{ogól.}	NTOT			
fosfor ogólny P _{ogól.}	PTOT			
potas K	K			
Zakres rozszerzony				
siarka ogólna S _{ogól.}	STOT	1/rok z próbek miesięcznych	Puszcza Borecka, Kampinos, Roztocze	
wapń Ca	CA		Puszcza Borecka, Łysogóry, Roztocze	
magnez Mg	MG			
sód Na	NA			
mangan Mn	MN		Puszcza Borecka	
cynk Zn	ZN			
bor B	B			
miedź Cu	CU			
molibden Mo	MO			
ołów Pb	PB			
kadm Cd	CD			

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 ciek)
	zjawiska lodowe		obserwacja	
	zarastanie koryta			
	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			
	krzemionka SiO ₂	SIO2	1/miesiąc	Parsęta
	fosfor fosforanowy P-PO ₄	PO4P		
	glin Al	AL		Parsęta, Pojezierze Chełmińskie, Kampinos, Łysogóry, Roztocze, Beskid Niski, Karkonosze
	mangan Mn	MN		Parsęta, Łysogóry
	żelazo Fe	FE		

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	
	wodorowęglany (jeżeli pH > 4,5)	HCO3		
	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		
	fosfor ogólny P _{ogól.}	PTOT		
	tlen rozpuszczony O ₂	O2D		
	BZT ₅	BZT5		
	Zakres rozszerzony			
	glin Al	AL	1/kwartał	Parsęta, Puszcza Borecka, Pojezierze Chełmińskie
	krzemionka SiO ₂	SIO2		Parsęta, Puszcza Borecka
	mangan Mn	MN		
	żelazo Fe	FE		
	fosfor fosforanowy P-PO ₄	PO4P		
	rozpuszczony węgiel organiczny RWO	DOC		Puszcza Borecka
	kadm Cd	CD		
	miedź Cu	CU		
	ołów Pb	PB		
cynk Zn	ZN			
nikiel Ni	NI			
arsen As	AS			

Program	Parametr	Kod parametru	Częstotliwość pomiarów/ czas uśredniania	Status Uwagi
STRUKTURA I DYNAMIKA SZATY ROŚLINNEJ J2	Zakres obligatoryjny			
	pokrycie warstwy gatunków drzew (a)	COVE_A	1/3 lata	Wszystkie stacje
	pokrycie warstwy gatunków drzew	COVE_A1		
	pokrycie warstwy gatunków drzew	COVE_A2		
	pokrycie warstwy krzewów i podrostu	COVE_B		
	pokrycie warstwy gatunków zielnych,	COVE_C		
	pokrycie warstwy porostowo-mszystej	COVE_D		
	pokrycie przez ściółkę	COVE_L		
	liczba żywych egzemplarzy drzew w warstwie (a) według gatunków	NUM_L_A		
	liczba żywych egzemplarzy drzew w warstwie (a1) według gatunków	NUM_L_A1		
	liczba żywych egzemplarzy drzew w warstwie (a2) według gatunków	NUM_L_A2		
	pierśnica (obwód na wys. 1,3 m) żywych egzemplarzy drzew w warstwie (a) według gatunków	DBH_L_A		
	pierśnica (obwód na wys. 1,3 m) żywych egzemplarzy drzew w warstwie (a1) według gatunków	DBH_L_A1		
	pierśnica (obwód na wys. 1,3 m) żywych egzemplarzy drzew w warstwie (a2) według gatunków	DBH_L_A2		
	liczba martwych egzemplarzy drzew stojących w warstwie (a) według gatunków	NUM_D_A		
	liczba martwych egzemplarzy drzew stojących w warstwie (a1) według gatunków	NUM_D_A1		
	liczba martwych egzemplarzy drzew stojących w warstwie (a2) według gatunków	NUM_D_A2		
	liczba martwych egzemplarzy drzew stojących w warstwie (b) według gatunków	NUM_D_B		
	miąższość zasobów martwego drewna – drzewa stojące w warstwie (a) według gatunków	DBH_D_A		
	miąższość zasobów martwego drewna – drzewa stojące w warstwie (a1) według gatunków	DBH_D_A1		
	miąższość zasobów martwego drewna – drzewa stojące w warstwie (a2) według gatunków	DBH_D_A2		
	miąższość zasobów martwego drewna – drzewa stojące w warstwie (b) według gatunków	DBH_D_B		
	miąższość zasobów martwego drewna – kłody o średnicy > 10 cm leżące na dnie lasu według gatunków	DBH_F		
	liczba kłód leżących o średnicy > 10 cm według gatunków	NUM_F		

Program	Parametr	Kod parametru	Częstotliwość pomiarów/ czas uśredniania	Status Uwagi
STRUKTURA I DYNAMIKA SZATY ROŚLINNEJ J2	współczynnik pokrycia każdego gatunku w skali Braun-Blanqueta w warstwie (a)	COVE_BB_A	1/3 lata	Wszystkie stacje
	współczynnik pokrycia każdego gatunku w skali Braun-Blanqueta w warstwie (a1)	COVE_BB_A_1		
	współczynnik pokrycia każdego gatunku w skali Braun-Blanqueta w warstwie (a2)	COVE_BB_A_2		
	współczynnik pokrycia każdego gatunku w skali Braun-Blanqueta w warstwie (b)	COVE_BB_B		
	współczynnik pokrycia każdego gatunku w skali Braun-Blanqueta w warstwie (c)	COVE_BB_C		
	współczynnik pokrycia każdego gatunku w skali Braun-Blanqueta w warstwie (d)	COVE_BB_D		
	liczba gatunków o ilościowości <1% (w skali Braun-Blanqueta = „r” i „+”)	NSPEC_BB_r		
	liczba gatunków o ilościowości >25% (w skali Braun-Blanqueta od 3 do 5)	NSPEC_BB_c		
	liczba gatunków	NSPEC		
	struktura flory: udział form życiowych Raunkiaera we florze stanowiska	FREQ_RAUN_K		
	struktura flory: udział grup geograficzno-historycznych we florze stanowiska	FREQ_GH		
	struktura flory: udział gatunków starych lasów we florze stanowiska	FREQ_OF		
GATUNKI INWAZYJNE OBCEGO POCHODZENIA – ROŚLINY J3	Zakres obligatoryjny			
	liczba gatunków inwazyjnych	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		
USZKODZENIA DRZEW I DRZEWOSTANÓW K1	Zakres obligatoryjny			
	defoliacja	DEFO	1/rok	Wszystkie stacje (oprócz Pojezierza Chełmińskiego – brak powierzchni leśnej)
	odbarwienie	DISC		
	pierśnica (średnica na wys. 1,3 m) pnia	DBH	1/5 lat	

Program	Parametr	Kod parametru	Częstotliwość pomiarów/ czas uśredniania	Status Uwagi
EPIFITY NADRZEWNE M1	Zakres obligatoryjny			
	powierzchnia plechy	AREA_L	1/rok	Wszystkie stacje
	zdrowotność plechy	HEALTH_L		
	liczba porostów krzaczkowatych na pniu	NUM_LK		
	powierzchnia nekroz	AREA_NEC		
	powierzchnia chloroz	AREA_CHL		

Poza programem badawczo-pomiarowym ZMŚP, Stacje Bazowe realizowały w 2019 roku także programy specjalistyczne, których zakres wynikał ze specyfiki położenia zlewni, a przede wszystkim indywidualności poszczególnych elementów środowiska fizycznogeograficznego. Programy specjalistyczne w istotny sposób wzbogacają rozpoznanie różnych przejawów i specyfiki mechanizmu funkcjonowania środowiska przyrodniczego monitorowanych geosystemów (Tab. 6).

Tab. 6. Programy specjalistyczne realizowane w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2019 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 Monitorowanie stanu liczebnego populacji lęgowych dymówki <i>Hirundo Rustica L.</i> i oknówki <i>Delichon Urbica (L.)</i>
Poznań-Morasko	Monitoring migracji zanieczyszczeń w wodach podziemnych
Kampinos	Monitoring zimujących nietoperzy i bociana białego
Łysogóry	Funkcjonowanie geosystemu w warunkach alkalicznej imisji
Roztocze	Monitoring ptaków Polski: monitoring flagowych gatunków ptaków, monitoring lęgowych sów leśnych, monitoring rzadkich dzięciołów, monitoring pospolitych ptaków lęgowych
Beskid Niski	Erozja wodna gleb
Karkonosze	Właściwości fizyczne i chemizm pokrywy śnieżnej

5. GEOINDYKATORY OBIEGU WODY W GEOEKOSYSTEMACH ZMŚP

Ilościowa charakterystyka obiegu wody w badanych zlewniach została ujęta w odniesieniu do następujących czynników determinujących zasoby wodne: warunki pogodowe, wody podziemne, wody powierzchniowe oraz bilans wodny. Powyższe wskaźniki ilościowe zasobów wodnych odnoszą się do 2019 roku hydrologicznego.

5.1. Warunki pogodowe

Charakterystyka warunków pogodowych uwzględnia wskaźniki i klasyfikacje meteorologiczne, mające znaczenie w dynamice obiegu wody w zlewniach oraz determinujące 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. 7, Ryc. 6). O zmienności przestrzennej warunków termicznych świadczyć może również spadek średniej rocznej temperatury powietrza w północnej strefie młodoglacjalnej Niżu Polskiego, z zachodu na wschód, od wartości 9,5°C w Wolinie, poprzez 7,8°C w Parsęcie do 7,3°C w Puszczy Boreckiej. W powyższym transekcie równoleżnikowym bardzo dobrze zaznacza się wpływ oceanizmu (Stacje Wolin i Parsęta) oraz kontynentalizmu (Stacja Puszcza Borecka), 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. Średnia roczna suma opadów w Polsce północnej wynosiła od 597,7 mm w Wigrach do 700,4 mm w Parsęcie. Stwierdzono natomiast wyraźne zmniejszenie się ilości opadów w transekcie południkowym Niżu Polskiego np. od Stacji Bazowej Puszcza Borecka (687,8 mm) do Stacji Bazowej Kampinos (573,8 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 871,6 mm).

Poza czynnikami kontynentalno-oceanicznymi 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, 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 Stacji Puszcza Borecka i Wigry).

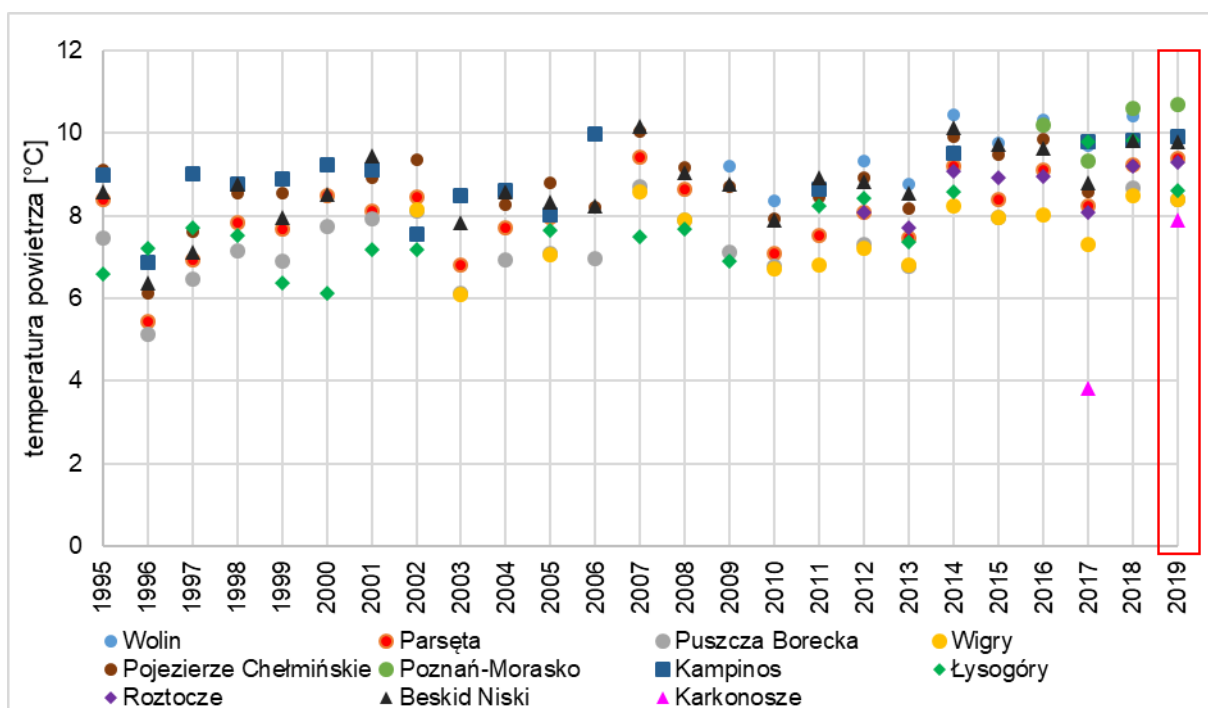
Tab. 7. Średnia temperatura powietrza i suma opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2019 roku

Stacja Bazowa ZMŚP (Okres pomiarowy - wielolecie)	Średnia temperatura powietrza [°C]		Suma opadów atmosferycznych [mm]	
	2019 r.	wielolecie	2019 r.	wielolecie
Wolin (2009-2018)	10,7	9,5	523,8	595,2
Parzęta (1987-2018)	9,4	7,8	688,6	700,4
Puszcza Borecka (1994-2018)	8,4	7,3	728,3	687,8
Wigry (2002-2018)	8,4	8,1	473,2	597,7
Pojezierze Chełmińskie (1994-2018)	9,9	8,7	443,6	547,0
Poznań-Morasko (2016-2018)	10,7	8,8	467,5	522,6
Kampinos (1994-2018)	9,9	8,5	483,4	573,8
Łysogóry (2005-2018)	8,6	7,7	710,2	732,4
Roztocze (2012-2018)	9,3	8,5	459,5	670,5
Beskid Niski (1994-2018)	9,8	8,7	754,3	871,6
Karkonosze (2016-2018)	7,9	7,6	930,6	1028,9

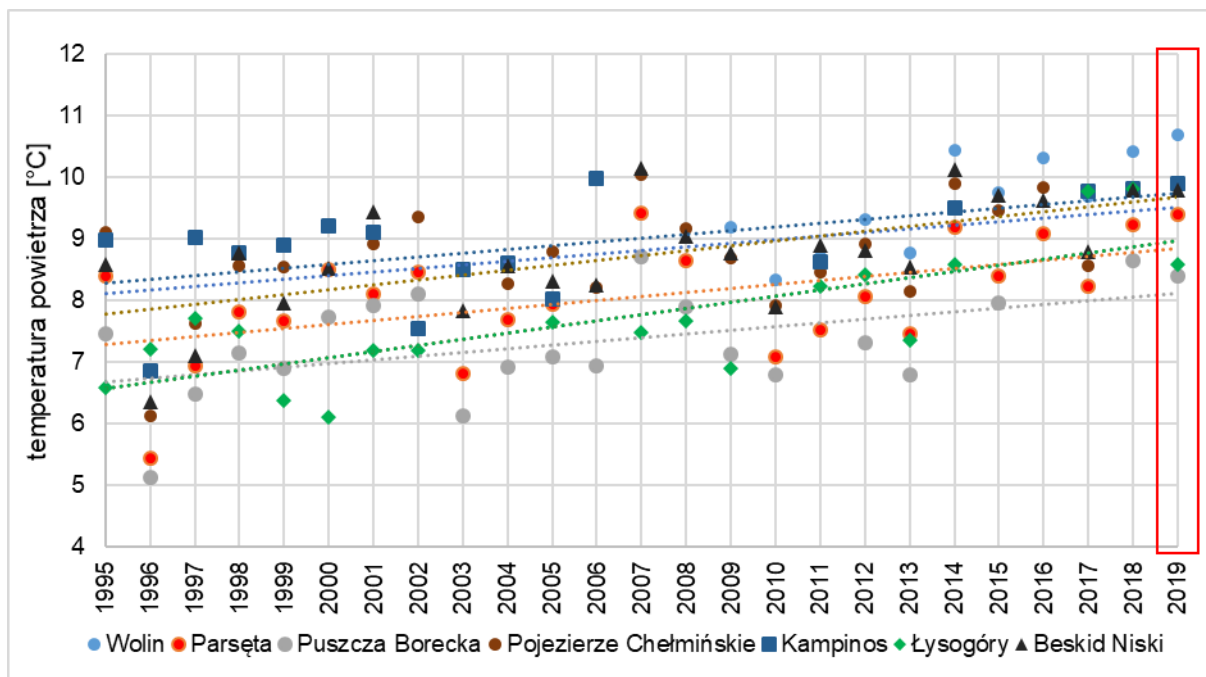
We wszystkich zlewniach badawczych ZMŚP średnia roczna temperatura powietrza w roku 2019 była wyższa od średniej wieloletniej. Najwyższa średnia roczna temperatura powietrza wystąpiła w północno-zachodniej Polsce (10,7°C w Stacjach Wolin i Poznań-Morasko). Wysoką średnią roczną temperaturę powietrza, wynoszącą ponad 9°C stwierdzono

także w pozostałych Stacjach Polski północno-zachodniej i centralnej: Parsęcie, Pojezierzu Chełmińskim i Kampinosie, ale również w Polsce południowo-wschodniej: na Roztoczu i w Beskidzie Niskim. Najniższe średnie temperatury, nieznacznie przewyższające średnie wieloletnie zanotowano w Stacji Wigry i w Karkonoszach (Tab. 7, Ryc. 6). W rozkładzie przestrzennym zaznaczył się wpływ uwarunkowań lokalnych związanych ze specyfiką położenia zlewni i ich użytkowania. Na wysoką wartość średniej temperatury powietrza w Stacji Poznań-Morasko wpłynęło bliskie sąsiedztwo aglomeracji miasta Poznania, gdzie występuje tzw. miejska wyspa ciepła. Natomiast na Wolinie o podwyższonej temperaturze powietrza zdecydowały przede wszystkim warunki pogodowe o znaczeniu ponadregionalnym – łagodzące kontrasty termiczne oddziaływanie Morza Bałtyckiego (zwłaszcza niska frekwencja dni mroźnych na Wolinie).

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, Kampinosu, Łysogór i Beskidu Niskiego. Średni trend 10-letni wzrostu średniej temperatury powietrza wynosi $0,4^{\circ}\text{C}/10$ lat (Ryc. 7).

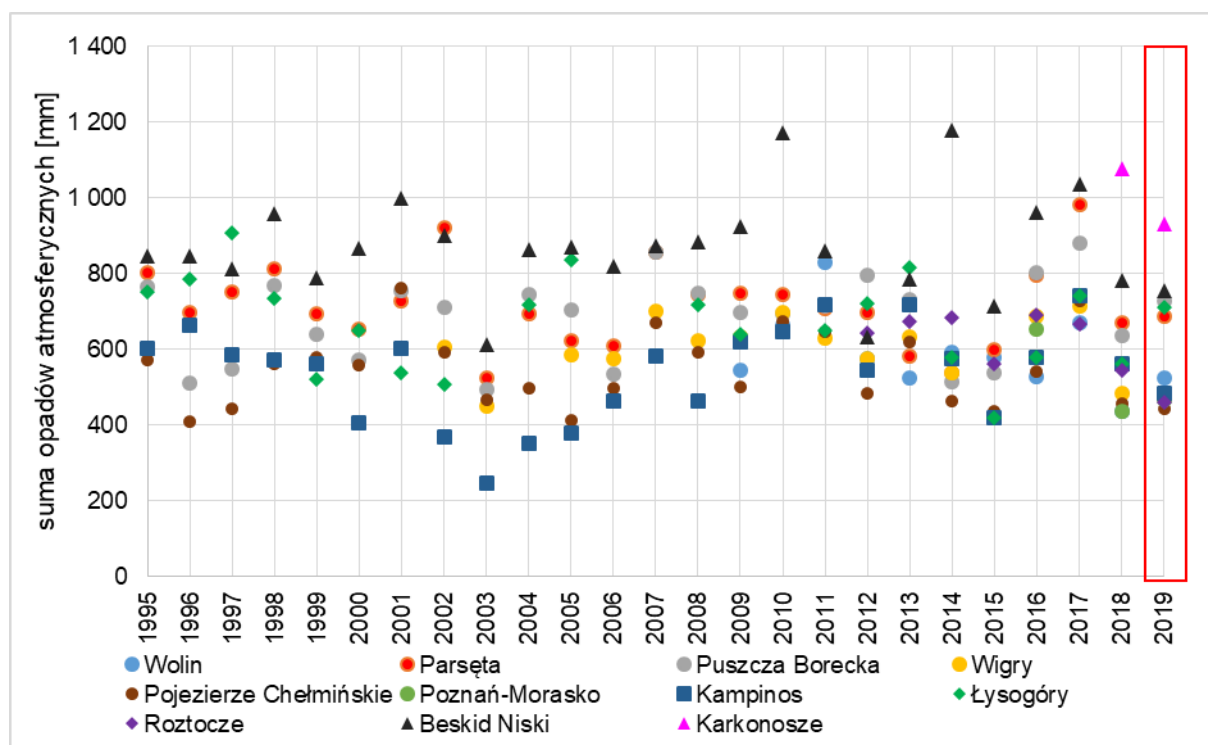


Ryc. 6. Średnie roczne temperatury powietrza w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2019 roku hydrologicznym na tle wielolecia



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

W większości badanych zlewni, rok 2019 był bardziej suchy niż wartości średnie z wielolecia (Tab. 7). Wyższą sumę opadów niż we wcześniejszych latach zanotowano jedynie w Puszczy Boreckiej. W dwóch zlewniach (górnej Parsęty i Wieńca w Górach Świętokrzyskich) roczna suma opadu była nieznacznie niższa niż średnia z lat wcześniejszych. W zlewni górnej Parsęty na stosunkowo wysoką sumę opadów miał wpływ wyjątkowo deszczowy wrzesień z miesięczną sumą opadów wynoszącą blisko 200 mm, która stanowiła 30% rocznej sumy opadów (Ryc. 9). W pozostałych stacjach utrzymały się niekorzystne warunki opadowe z poprzedniego roku. Szczególnie niska roczna suma opadów, poniżej 500 mm wystąpiła w Stacjach: Pojezierze Chełmińskie (443,6 mm), Roztocze (459,5 mm), Poznań-Morasko (467,5 mm), Wigry (473,2 mm) i Kampinos (483,4 mm). Wyjątkowo niekorzystna sytuacja miała miejsce na Roztoczu, gdzie zanotowano najniższą sumę roczną opadów od początku pomiarów (niższą o 85,7 mm od poprzedniej najniższej sumy, która wystąpiła w roku 2018). W przypadku rocznych sum opadów atmosferycznych w zlewniach badawczych ZMŚP nie stwierdzono istotnych statystycznie trendów wzrostowych, ani spadkowych (Ryc. 8).

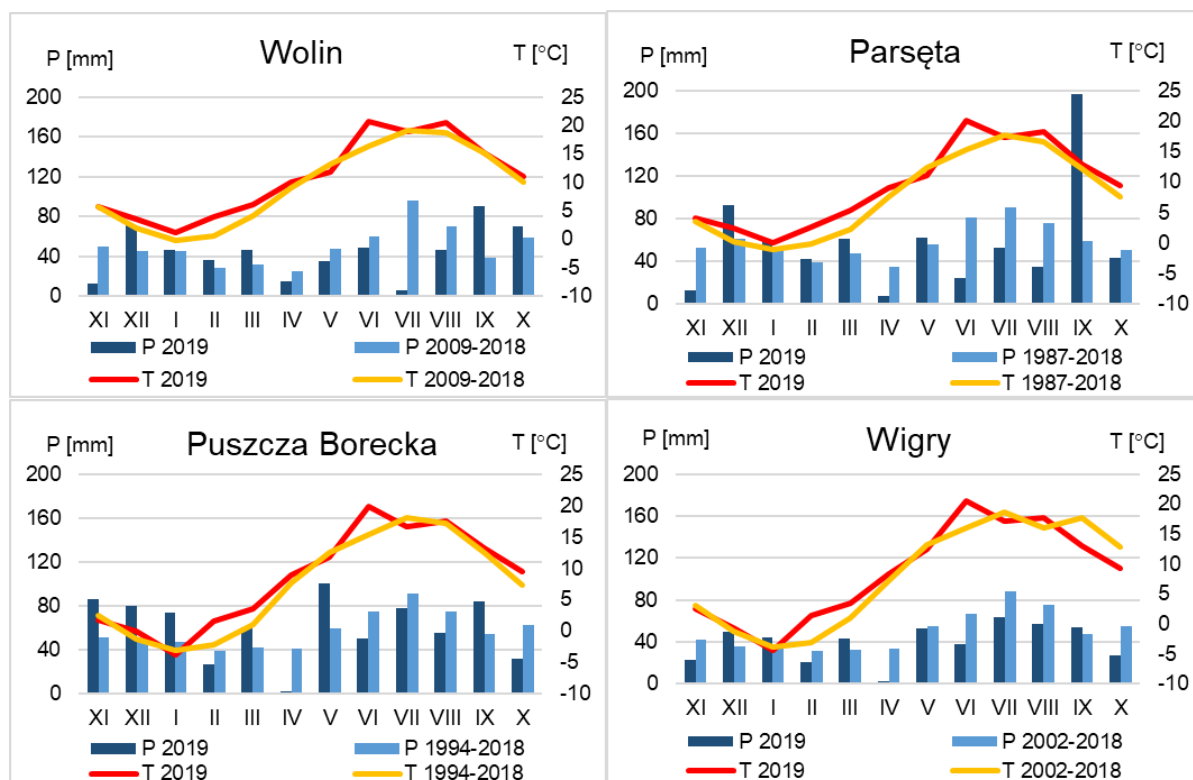


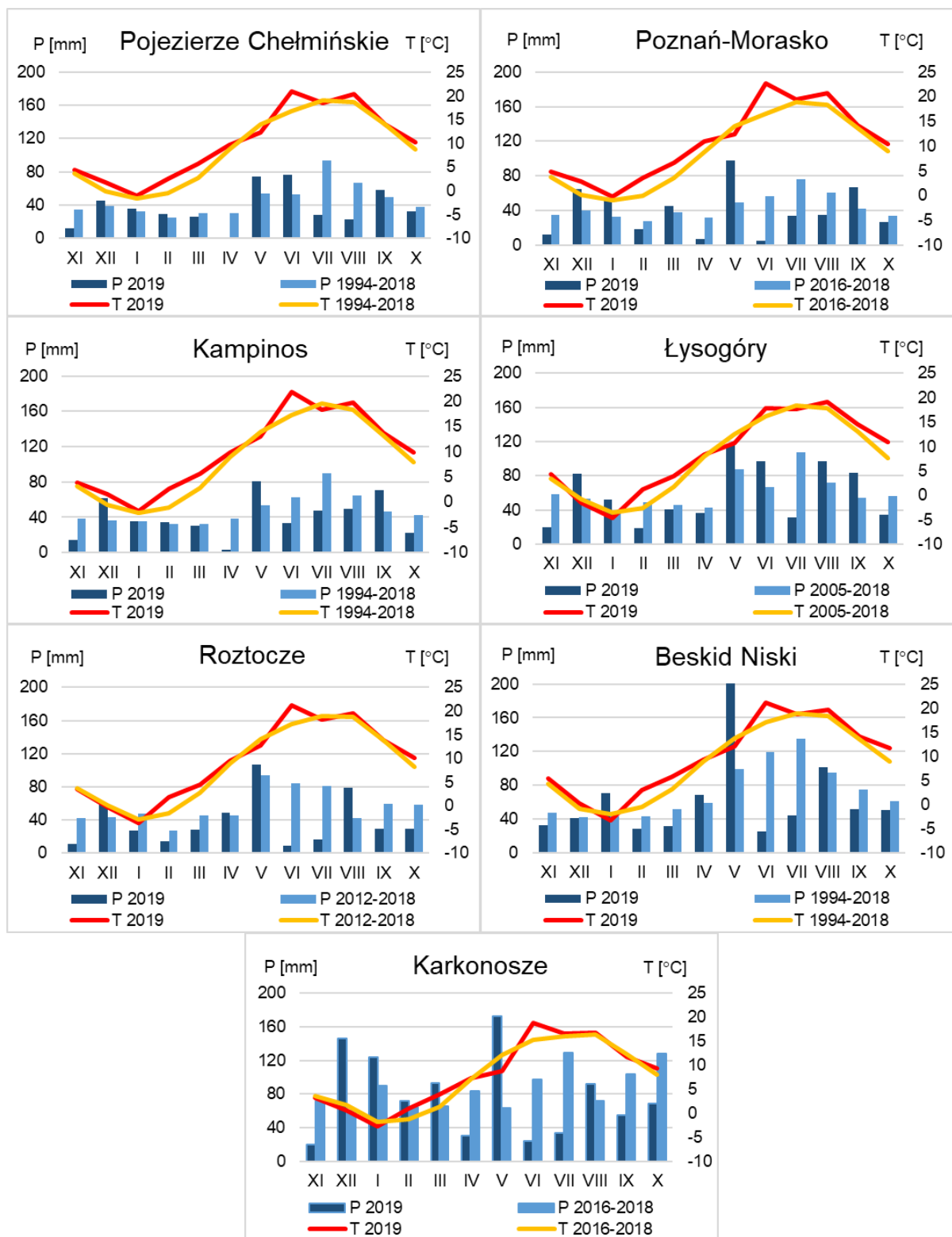
Ryc. 8. Sumy roczne opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2019 roku hydrologicznym na tle wielolecia

W 2019 roku wysoką średnią roczną temperaturą powietrza (powyżej 9,9°C) oraz względnie niską sumą roczną opadów atmosferycznych (poniżej 485 mm) wyróżniały się Stacje ZMŚP: Pojezierze Chełmińskie, Poznań-Morasko oraz Kampinos. Potencjalnie w Polsce centralnej warunki były najmniej korzystne dla odbudowy zasobów wodnych. Równie niekorzystne warunki wystąpiły na Roztoczu, gdzie średnia roczna temperatura wyniosła 9,3°C, a opady poniżej 460 mm. 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 była poniżej 8°C, a roczna suma opadów wyniosła ponad 900 mm. Poprawie uległa sytuacja w nadmorskiej strefie krajobrazowej, w Stacji Wolin, gdzie suma roczna opadów wyniosła 523,8 mm i była wyższa o 86,7 mm niż w roku 2018.

Uwarunkowania termiczno-opadowe, decydujące o odbudowie zasobów wodnych oraz możliwości rozwoju roślinności, wykazują względnie niekorzystny rozkład miesięczny w 2019 roku (Ryc. 9). Przebieg miesięczny średniej temperatury powietrza przez większość roku był powyżej wartości normalnych i z jednej strony sprzyjał wydłużeniu okresu wegetacji, szybszemu rozkwitaniu i dojrzewaniu roślin. Jednak z drugiej strony podwyższona termika wzmacniała ewapotranspirację i utrudniała odbudowę zasobów wód powierzchniowych

i podziemnych. Szczególnie zauważalnie wyższe temperatury we wszystkich stacjach zanotowano w czerwcu (temperatury wyższe w stosunku do wartości z wielolecia od 1,7°C w Górach Świętokrzyskich do 6,1°C w Poznaniu, średnio dla wszystkich stacji – 4,2°C). Miesięczny rozkład temperatury w 2019 roku przejawiał się typowym występowaniem termicznych pór roku i sezonu wegetacyjnego. Sezon wegetacyjny rozpoczął się w marcu i trwał do końca roku hydrologicznego. Pod względem opadowym dynamika miesięczna atmosferycznej dostawy wody w 2019 roku była niekorzystna. Wyjątkiem był maj, w którym sumy opadów przewyższały wartości z wielolecia w większości monitorowanych zlewni. Różnica szczególnie zauważalna była w Polsce zachodniej i południowej, w Stacjach: Poznań Morasko, Karkonosze i Beskid Niski, gdzie spadło dwukrotnie więcej opadów niż w latach poprzednich. Poza majem, prawie przez cały sezon wegetacyjny opady były niższe od prawidłowości wieloletniej (Ryc. 9). Od czerwca do końca roku hydrologicznego w większości Stacji Bazowych (Wolin, Pojezierze Chełmińskie, Poznań-Morasko, Kampinos, Roztocze, Beskid Niski, Karkonosze) występował deficyt opadów atmosferycznych, co w czerwcu, przy uwzględnieniu wyjątkowo wysokich temperatur, jest szczególnie niekorzystne zwłaszcza dla rozwoju roślinności, gdyż w tym czasie występuje ich najszybszy rozwój. Nie wystąpiła wyraźna regionalizacja przestrzenna w Polsce dla miesięcznej atmosferycznej dostawy wody do zlewni.





Ryc. 9. Przebieg miesięczny temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2019 roku na tle wielolecia

Liczba dni charakterystycznych pod względem termiczno-wilgotnościowym

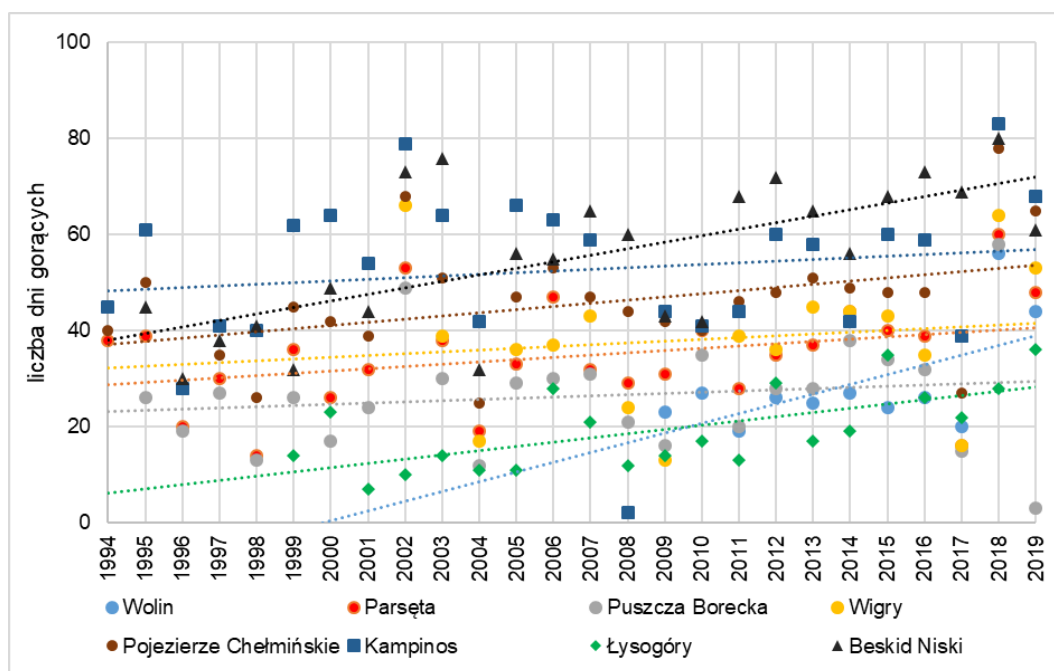
Na dynamikę obiegu wody w zlewniach ZMŚP w znacznym stopniu wpływają uwarunkowania meteorologiczne, ujęte m.in. w postaci liczby dni charakterystycznych pod względem termiczno-wilgotnościowym (Tab. 8).

W 2019 roku występowało zróżnicowanie liczby dni charakterystycznych pod względem termicznym. W badanych geoekosystemach stwierdzono znacznie więcej zdarzeń z pogodą mroźną, ze średnią dobową temperaturą poniżej 0°C (średnio 31 dni) niż upalną z maksymalną temperaturą dobową wyższą niż 30°C (średnio 12 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 Polsce północno-zachodniej (22 dni na Pobrzeżu Szczecińskim w Stacji Wolin i 26 dni na Pojezierzu Drawskim w Stacji Parsęta) oraz w Karkonoszach (27 dni). Z kolei najwięcej dni ekstremalnych wystąpiło w Polsce północno-wschodniej (62 dni w Puszczy Boreckiej i 57 dni w Wigrach) oraz w strefie wyżyn (77 dni w Łysogórach i 56 dni na Roztoczu)

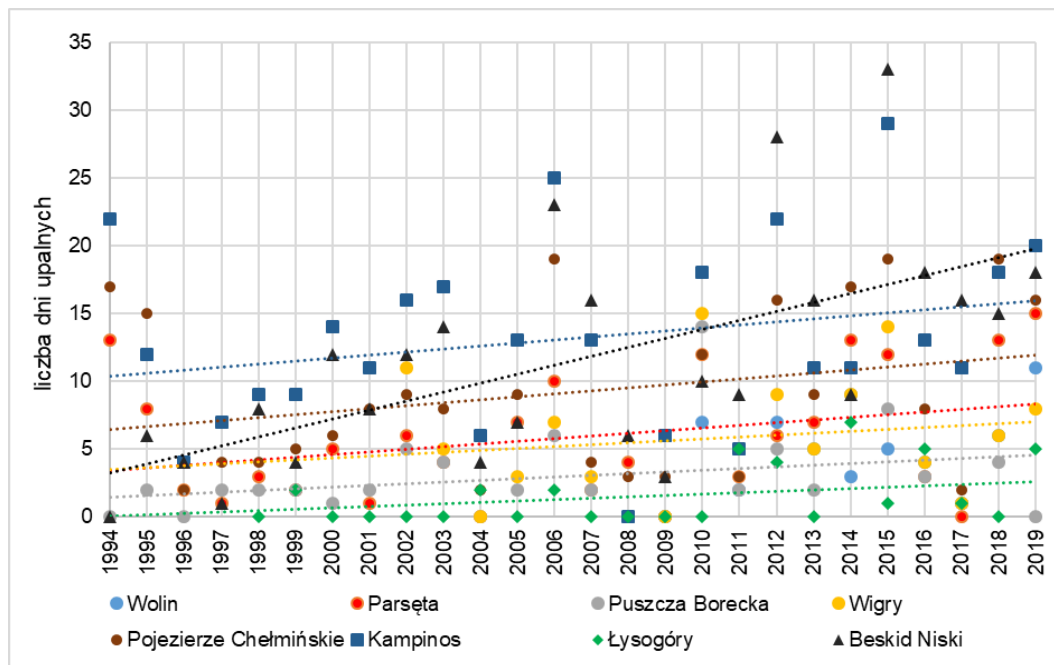
Wśród ekstremów termicznych na Niżu Polskim więcej było dni mroźnych (średnio 25 dni) niż dni upalnych (średnio 13 dni). Najwięcej dni mroźnych na Niżu Polskim występowało w Polsce północno-wschodniej, na Stacjach Puszcza Borecka (62 dni) i Wigry (43 dni), natomiast najwięcej dni upalnych wystąpiło w Stacji Poznań-Morasko (23 dni), co można wiązać ze zjawiskiem miejskiej wyspy ciepła. Najwięcej dni charakterystycznych – mroźnych i upalnych występowało w strefie wyżynnej, średnio 67 dni, od 56 dni na Roztoczu do 77 dni w Górach Świętokrzyskich. W tej strefie notowano także zdecydowaną przewagę występowania dni mroźnych (40 dni na Roztoczu i 72 dni w Górach Świętokrzyskich) nad dniami upalnymi (5 dni w Stacji Łysogóry i 16 dni w Stacji Roztocze). Strefa górską charakteryzowała się występowaniem najmniejszej liczby dni upalnych i mroźnych (średnio 36 dni, od 27 dni w Karkonoszach do 44 dni w Beskidzie Niskim). Podobnie jak w pozostałych strefach krajobrazowych, w górach również notowano przewagę występowania dni mroźnych (22-26 dni) nad dniami upalnymi (5 dni w Stacji Karkonosze i 18 dni w Stacji Beskid Niski).

Na podstawie wieloletnich pomiarów temperatury powietrza w Stacjach Bazowych ZMŚP, można zauważyć niekorzystną tendencję zwiększania częstości występowania dni gorących i upalnych (Ryc. 10, Ryc. 11). W przypadku dni gorących, istotnie statystyczny trend wzrostowy ($p < 0,05$) stwierdzono dla 5 Stacji Bazowych: Wolin, Parsęta, Pojezierze Chełmińskie, Łysogóry oraz Beskid Niski (Ryc. 10). Dla czterech wymienionych stacji (poza

Wolinem) istotny statystycznie trend wzrostowy stwierdzono również dla częstości występowania dni upalnych (Ryc. 11).



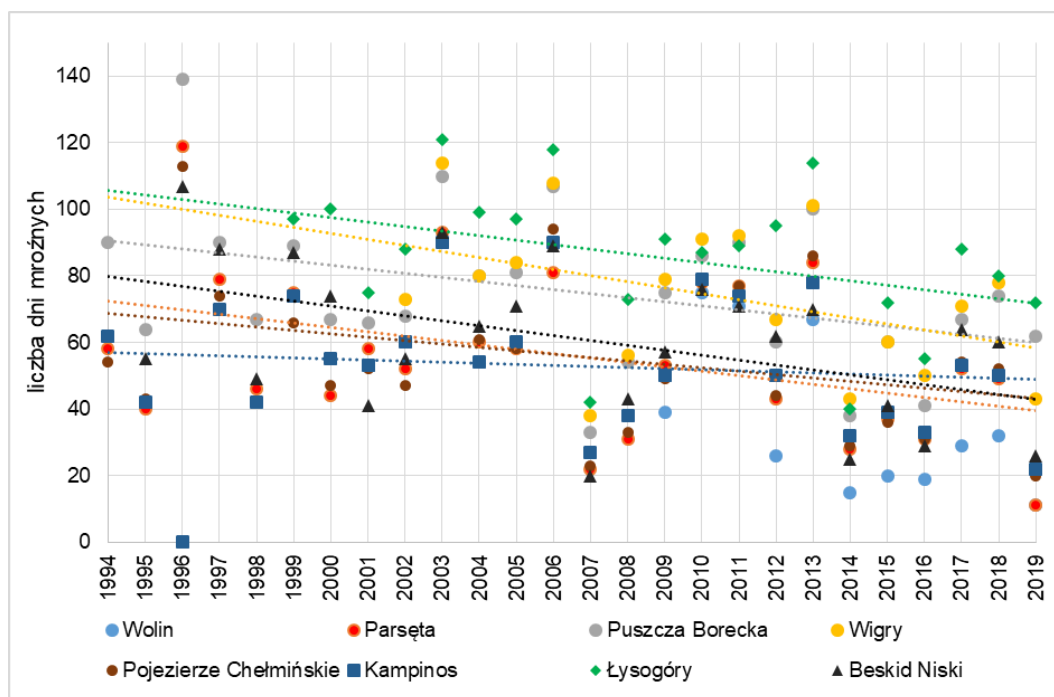
Ryc. 10. Przebieg zmian liczby dni gorących ($T_{max} > 25^{\circ}\text{C}$) w latach 1994-2019 w Stacjach Bazowych ZMŚP



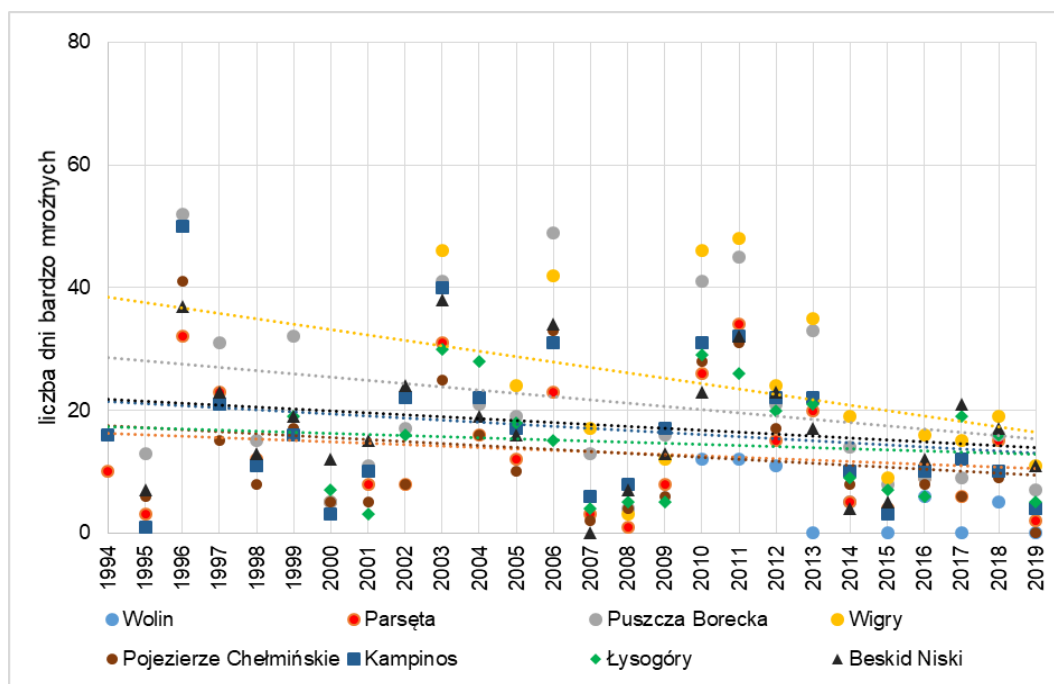
Ryc. 11. Przebieg zmian liczby dni upalnych ($T_{max} > 30^{\circ}\text{C}$) w latach 1994-2019 w Stacjach Bazowych ZMŚP

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 5 Stacji Bazowych: Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Pojezierze Chełmińskie Beskid Niski (Ryc. 12). Z kolei dla dni bardzo mroźnych istotny statystycznie trend spadkowy częstości ich występowania stwierdzono również dla dwóch Stacji Bazowych: Wolin i Kampinos (Ryc. 13).



Ryc. 12. Przebieg zmian liczby dni mroźnych ($T_{sr} < 0^{\circ}\text{C}$) w latach 1994-2019 w Stacjach Bazowych ZMŚP



Ryc. 13. Przebieg zmian liczby dni bardzo mroźnych ($T_{min} < -10^{\circ}\text{C}$) w latach 1994-2019 w Stacjach Bazowych ZMŚP

Frekwencja dobowej wydajności opadów, podobnie jak w latach wcześniejszych, w 2019 roku wykazała zróżnicowanie przestrzenne, nawiązujące do struktury krajobrazowej Polski. Najwięcej dni z opadem ($P \geq 0,1$ mm) występowało w strefie górskiej (166 dni), mniej w strefie wyżynnej (160 dni), a najmniej w strefie nizinnej (152 dni). Na Niżu Polskim zakres zmienności liczby dni z opadem wynosił od 128 dni na Wolinie do 182 dni w Puszczy Boreckiej. W strefie wyżynnej, w obu monitorowanych zlewniach wystąpiło niemalże tyle samo dni z opadem: 159 dni w Górach Świętokrzyskich i 161 dni na Roztoczu. Z kolei w górach więcej dni opadowych występowało w Karkonoszach (189 dni) niż w Beskidzie Niskim (142 dni). Liczba dni z opadem w porównaniu do roku poprzedniego znacząco się nie zmieniła. Frekwencja opadów zmniejszyła się w górach (średnio o 14 dni), z kolei na nizinach i wyżynach zwiększyła się (odpowiednio o 15 i 5 dni).

Odnosnie opadów o dużej wydajności ($P \geq 10$ mm) najwięcej takich zdarzeń odnotowano w górach (29 dni w Karkonoszach i 17 dni w Beskidzie Niskim) oraz w Polsce północnej (po 18 dni w Parsęcie i Puszczy Boreckiej oraz 15 dni na Wolinie). Najmniej dni z opadem ≥ 10 mm wystąpiło na Pojezierzu Chełmińskim (tylko 7) i w Poznaniu (8). Niewiele więcej (9 dni) zarejestrowano w Stacji Wigry. Znaczne różnice w tym parametrze pomiędzy Stacjami Puszcza Borecka oraz Wigry, położonymi od siebie w odległości ok. 70 km potwierdzają regułę niejednorodności przestrzennej opadów w Polsce.

Utrzymująca się od roku 2018 znacznie niższa niż w latach wcześniejszych frekwencja opadów powyżej 10 mm świadczy 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 23,6 w Poznaniu do 51,4 mm w Karkonoszach).

Podobnie, jak w latach poprzednich, warunki śnieżne odgrywały marginalną rolę w retencji wody w badanych zlewniach, co nie było sytuacją sprzyjającą. Pokrywa śnieżna zalegała od 12 dni w Kampinosie do 91 dni w Karkonoszach. Z kolei średnia miąższość pokrywy śnieżnej była bardzo mała w strefie nizinnej (tylko w Polsce północnowschodniej, w Stacjach Puszcza Borecka i Wigry przekroczyła 5 cm), w strefie wyżynnej wyniosła średnio 7 cm, a największa miała miejsce w Karkonoszach (9 cm w Jagniątkowie i 61 cm na Szrenicy).

Tab. 8. Liczba dni charakterystycznych temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2019 roku

Element pogody	Stacja Bazowa ZMŚP										
	Wolin	Parsęta	Puszcza Borecka	Wigry	Pojezierze Chelmińskie	Poznań-Morasko	Kampinos	Łysogóry	Roztocze	Beskid Niski	Karkonosze
Bardzo upalne $T_{\max} > 35^{\circ}\text{C}$	1	1	0	0	0	4	2	0	0	0	0
Upalne $T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$	11	15	0	8	16	23	20	5	16	18	5
Gorące $T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$	44	48	3	53	65	50	68	36	57	61	31
Przymrozkowe $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$	25	112	116	125	93	90	105	102	53	98	95
Mroźne $T_{\text{sr}} < 0^{\circ}\text{C}$	11	11	62	43	20	8	22	72	40	26	22
Bardzo mroźne $T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$	0	2	7	11	0	2	4	5	10	11	2
Opad $\geq 0,1 \text{ mm}$	128	164	182	152	138	158	141	159	161	142	189
Opad $\geq 1,0 \text{ mm}$	86	111	113	95	84	94	87	88	87	106	123
Opad $\geq 10,0 \text{ mm}$	15	18	18	9	7	8	11	12	7	17	29
Max opad dobowy [mm]	33,4	38,1	27,4	37,4	30,0	23,6	31,5	41,0	41,6	48,1	51,4
Dni z pokrywą śnieżną	13	12	67	60	25	23	34	31	56	58	91
Średnia grubość pokrywy śnieżnej [cm]	1	0	6	10	3	2	2	7	7	5	9

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) pod względem klimatycznych uwarunkowań dostawy i dalszego krążenia wody w zlewni (Szpikowski 2012, Tytkowski 2015a). Do ilościowego określenia rocznych warunków klimatycznych zastosowano powszechnie stosowaną 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 3 klasy opadowe, wyróżnione na podstawie procentowego udziału rocznej sumy opadu (p) w odniesieniu do rocznej sumy opadu z wielolecia (p_{norm}) (Tab. 9).

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

Nr klasy	Klasa termiczna roku	Kryteria delimitacji klasy
1	suchy	$p \leq 90\% p_{\text{norm}}$
2	normalny	$90\% p_{\text{norm}} < p < 110\% p_{\text{norm}}$
3	wilgotny	$p \geq 110\% p_{\text{norm}}$

Klasyfikacja opadowa potwierdza dużą zmienność czasową i niejednorodność przestrzenną warunków opadowych w analizowanym okresie (Tab. 10). Bardziej suchy okres przypadł na lata 2003-2006 (poza Wigrami i Beskidem Niskim). Natomiast okres 2007-2012 charakteryzował się występowaniem rocznych opadów o sumie normalnej bądź wyższej od wartości normalnych, co sprzyjało odbudowie zasobów wodnych. Z kolei lata 2013-2014 pod względem opadowym cechowały 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 był rokiem suchym. Od roku 2016, a w szczególności w wyjątkowo wilgotnym 2017 roku, wystąpiła korzystna faza wzrostu atmosferycznej dostawy wody. W roku 2018 rozpoczął się okres zbliżony pod względem opadów do roku 2015. Podobnie jak w roku poprzednim, w 2019 roku, w 6 Stacjach Bazowych rok ten sklasyfikowano jako suchy, w żadnej stacji jako wilgotny. Zmiany nastąpiły jedynie na Wolinie (rok 2018 był rokiem suchym, a 2019 rokiem normalnym pod względem opadów) oraz w Kampinosie (rok 2018 był rokiem normalnym, a 2019 rokiem suchym pod względem opadów) (Tab. 10).

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. 11).

Tab. 10. Roczna klasyfikacja opadowa dla Stacji Bazowych ZMŚP

Rok	Wolin	Parsęta	Puszcza Borecka	Wigry	Pojezierze Chelmińskie	Poznań-Morasko	Kampanos	Łysogóry	Roztocze	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											

poniżej 90%

suchy

90-110%

normalny

powyżej 110%

wilgotny

Klasyfikacja termiczna przedstawia zmienność czasową i przestrzenną średniej rocznej temperatury powietrza (Tab. 12). Znaczne różnice termiczne w Stacjach ZMŚP w poszczególnych latach są typowe dla przejściowego klimatu Polski. Lata 1996-1997 we wszystkich Stacjach Bazowych zakwalifikowano jako chłodniejsze od normy. Z kolei skumulowanie lat ciepłych wystąpiło w okresie 2007-2008. Od 2014 roku trwa kolejny okres o podwyższonej termice. Pięć z ostatnich sześciu lat (poza chłodniejszym 2017) we wszystkich stacjach było cieplejszych od wartości normalnej, co świadczy o dominacji cech kontynentalizmu nad oceanizmem.

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

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

Na właściwości cieplne w 2019 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 2019 roku szczególnie niekorzystna sytuacja termiczna występowała na Wolinie, w Poznaniu i Karkonoszach, gdzie był to rok anomalnie i ekstremalnie ciepły. Niekorzystne warunki wystąpiły również w Stacjach: Parsęta, Wigry, Pojezierze Chełmińskie, Roztocze i Beskid Niski, gdzie był to rok bardzo ciepły. Wysokiemu parowaniu ograniczającemu retencję wody sprzyjały również warunki cieplne w pozostałych stacjach, dla których 2019 rok był ciepły lub lekko ciepły (np. w Górach Świętokrzyskich) (Tab. 12).

Klasyfikacja termiczno-opadowa w 2019 roku dla większości Stacji Bazowych ZMŚP wskazuje na potencjalnie niekorzystną sytuację do retencji wody w zlewniach ZMŚP, co przejawiało się spadkiem zasobów wód powierzchniowych i podziemnych. Bardzo niekorzystna sytuacja do odnowy zasobów wodnych występowała prawie w całym kraju, gdzie na stacjach notowano niższą sumę opadów atmosferycznych, a warunki termiczne zdecydowanie przewyższały wartości ze średnich wieloletnich. Przeciętna sytuacja pod względem odbudowy zasobów wodnych była m.in. w Górach Świętokrzyskich, gdzie dla Stacji Łysogóry rok 2019 był lekko ciepły i normalny pod względem opadowym (Tab. 13).

Tab. 12. Roczna klasyfikacja termiczna dla Stacji Bazowych ZMŚP

Rok	Wolin	Parsęta	Puszcza Borecka	Wigry	Pojezierze Chelmińskie	Poznań-Morasko	Kampinos	Łysogóry	Roztocze	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											

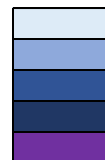
ekstremalnie ciepły
anomalnie ciepły
bardzo ciepły
ciepły
lekko ciepły



normalny



lekko chłodny
chłodny
bardzo chłodny
anomalnie chłodny
ekstremalnie chłodny



Tab. 13. Klasyfikacja termiczno-opadowa dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2019 roku

Rok 2019	Wolin	Parsęta	Puszcza Borecka	Wigry	Pojezierze Chelmińskie	Poznań-Morasko	Kampinos	Łysogóry	Roztocze	Beskid Niski	Karkonosze
Klasyfikacja termiczna	anomalnie ciepły	bardzo ciepły	ciepły	bardzo ciepły	bardzo ciepły	anomalnie ciepły	ciepły	lekko ciepły	bardzo ciepły	bardzo ciepły	ekstremalnie ciepły
Klasyfikacja opadowa	normalny	normalny	normalny	suchy	suchy	suchy	suchy	normalny	suchy	normalny	suchy
Sytuacja dla ochrony i odnowy zasobów wodnych	niekorzystna	niekorzystna	przeciętna	niekorzystna	niekorzystna	niekorzystna	niekorzystna	przeciętna	niekorzystna	przeciętna	niekorzystna

Zdarzenia ekstremalne

Zróźnicowanie przestrzenne wskaźnika oceanizmu i kontynentalizmu klimatu Polski oraz wyniesienie nad poziomem morza znajdują swoje odzwierciedlenie w mniejszych kontrastach termicznych w regionach północnozachodnich niż w południowowschodnich.

W 2019 roku najwyższe amplitudy roczne temperatur wystąpiły w Beskidzie Niskim (50,9°C) oraz na Roztoczu i w Puszczy Boreckiej (50,2°C), z kolei najniższe amplitudy zanotowano w Łysogórach (42,8°C) i w Karkonoszach (43,1°C) (Tab. 14). W czterech Stacjach: Wolin, Parsęta, Poznań-Morasko oraz Kampinos wystąpił przynajmniej jeden dzień bardzo upalny z temperaturą maksymalną wyższą niż 35°C. Najwięcej takich dni (4) zarejestrowano w Poznaniu, gdzie zanotowano również najwyższą temperaturę maksymalną ze wszystkich stacji, wynoszącą 38,3°C. W 10 monitorowanych zlewniach (poza Łysogórami), według klasyfikacji Lorenc (1998), czerwiec był miesiącem ekstremalnie ciepłym w odniesieniu do wartości wieloletnich, co było szczególnie niekorzystne dla rozwoju roślinności, gdyż w tym czasie występuje ich najszybszy rozwój. W czterech Stacjach: Wolin, Parsęta, Łysogóry i Roztocze zarejestrowano noc tropikalną, z temperaturą minimalną wyższą niż 20°C.

Tab. 14. Wartości maksymalne i minimalne temperatur w roku hydrologicznym 2019 w Stacjach Bazowych ZMŚP

Element pogody	Stacja Bazowa ZMŚP										
	Wolin	Parsęta	Puszcza Borecka	Wigry	Pojezierze Chełmińskie	Poznań-Morasko	Kampinos	Łysogóry	Roztocze	Beskid Niski	Karkonosze
T _{max} [°C]	37,6	35,8	31,6	33,1	34,7	38,3	35,5	32,5	34,2	34,1	31,9
T _{min} [°C]	-5,7	-12,0	-18,6	-17,9	-9,1	-11,0	-13,6	-10,3	-16,0	-16,8	-11,2
Amplituda [°C]	43,3	47,8	50,2	51	43,8	49,3	49,1	42,8	50,2	50,9	43,1

W 2019 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 również nie były wyjątkowe, jedynie jednokrotnie w Karkonoszach wystąpił opad dobowy wyższy niż 50 mm. 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 wystąpiły w większości monitorowanych zlewni (jedynie oprócz Karkonoszy). Innymi zjawiskami ekstremalnymi, ograniczającymi zasoby i obieg wody były fale upałów, które odnotowano przynajmniej 1 raz na Wolinie, Wigrach, w Poznaniu-Morasko i na Roztoczu. Poza tym w Stacjach: Wolin, Łysogóry i Beskid Niski stwierdzono występowanie

bardzo silnego wiatru, ze średnią prędkością 10-minutowa $>15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ odpowiednio dla 26, 30 i 22 dni.

W 2019 roku w sieci Stacji Bazowych ZMŚP nie stwierdzono szczególnie częstego występowania następujących zdarzeń ekstremalnych: silnych mrozów; późnego lub wczesnego występowania przymrozków; długiego zalegania, gwałtownego przyrostu bądź wytapiania pokrywy śnieżnej; gwałtownych, niszczących burz i gradobicia; trąb powietrznych; długotrwałego utrzymywania się mgły. Czynnikiem, który można by uznać za ekstremalny, było wystąpienie w styczniu 2019 roku w Karkonoszach, na wysokościach powyżej 1000 m n.p.m. zjawiska bardzo intensywnej szadzi twardej i lodowej. Intensywna szadz twarda i lodowa spowodowała nadmierne obciążenie drzew okiścią lodową w reglu górnym i w strefie górnej granicy lasu, powodując liczne złamania gałęzi, pni oraz przewrócenie się całych drzew. Takie zjawisko w Karkonoszach nie jest czymś wyjątkowym i każdego sezonu występuje na drzewach okiść lodowa, jednak okiść lodowa w 2019 roku wystąpiła z wyjątkowo dużą intensywnością i na dużym obszarze (Krakowski i in. 2020).

Można uznać, że w 2019 roku hydrologicznym do najbardziej uciążliwych zjawisk ekstremalnych należały głównie susze meteorologiczne oraz fale upałów. Niska wydajność opadów atmosferycznych, wysokie temperatury powietrza i parowanie terenowe były przyczyną suszy glebowej i suszy hydrologicznej, odznaczającej się np. okresowym wyschnięciem cieków w pięciu monitorowanych zlewniach.

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, gdyż 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 2019 roku hydrologicznym wartości wskaźnika miesięcznych zmian retencji wykazywały duże zróżnicowanie czasowe i przestrzenne. Najmniejszą dynamikę miesięcznych zmian retencji stwierdzono w Polsce północnej, gdzie prawie przez cały rok hydrologiczny wartość wskaźnika R_M ukazywała retencję bez zmian (Stacje Parsęta i Wigry). Z kolei największe zróżnicowanie zmian retencji występowało w Polsce południowej i południowowschodniej (Stacje: Roztocze, Beskid Niski i Karkonosze). W układzie miesięcznym relatywnie najlepsze warunki do retencji wody były w pierwszych miesiącach roku hydrologicznego (od listopada do lutego). W tym okresie w stacjach notowano wzrost retencji albo retencję bez zmian (poza stacjami w górskiej strefie krajobrazowej, gdzie w styczniu wystąpił spadek retencji). Zdecydowanie gorsze warunki dla retencji wody wystąpiły od marca do września (tylko w Parsęcie i Wigrach nie wystąpiły miesiące z wartością wskaźnika R_M mieszczącego się w przedziale spadku retencji) (Tab. 15).

Pogorszenie retencji wód podziemnych w tym okresie wynikało z małej wydajności opadów, dużej frekwencji dni gorących (w tym fal upałów) wzmagających ewapotranspirację oraz występowania susz meteorologicznych w okresie letnim. W konsekwencji infiltracja wody do warstw podziemnych była ograniczona. Podobnie jak w roku 2018, a w odróżnieniu do lat wcześniejszych, 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 słaby stan ilościowy wód podziemnych w badanych zlewniach w 2019 roku (Tab. 15), co w konsekwencji prowadziło do możliwości wystąpienia zagrożenia niżówki hydrogeoologicznej w większości badanych geosystemów (Tab. 16).

Tab. 15. Wskaźnik miesięcznych zmian retencji R_M dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2019 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												

spadek retencji
 retencja bez zmian
 wzrost retencji

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

Wskaźnik zagrożenia niżówką hydrogeologiczną k_n

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

$$k_n = 1 - G / \text{SNGw}_{(1994-2019)}$$

gdzie:

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

$\text{SNGw}_{(1994-2019)}$ – 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 2019 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 w Polsce północnozachodniej (Wolin), południowowschodniej (Roztocze i Beskid Niski), a w drugiej połowie roku hydrologicznego również w Polsce centralnej (Kampinos). We wszystkich czterech stacjach wystąpiła płytkość, a na Wolinie (w aż 7 miesiącach) oraz w Kampinosie i na Roztoczu (po 2 miesiące) wystąpiła również głęboka niżówka. O relatywnie największym zagrożeniu występowania niżówki hydrogeologicznej decydowały niekorzystne warunki termiczno-opadowe, które nie powodowały znaczącego wzrostu stanu wód podziemnych. Zagrożenie wystąpienia płytkiej niżówki występowało również w pozostałych monitorowanych zlewniach. W przeciwieństwie do lat wcześniejszych, w żadnej stacji nie utrzymywał się przez cały rok brak zagrożenia wystąpienia niżówki hydrogeologicznej. Przyczyną utrzymywania się już drugi rok, od 2018 roku, niekorzystnych warunków hydrogeologicznych (Tab. 16) był brak wydajnych opadów atmosferycznych, w tym występowanie okresów suszy meteorologicznej oraz niekorzystne warunki termiczne, w tym występowanie fal upałów.

Tab. 16. Wskaźnik zagrożenia niżówką hydrogeologiczną k_n dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2019 roku hydrologicznym

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

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

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

5.3. Wody powierzchniowe

Reakcja badanych geosystemów w postaci zasilania opadowego i podziemnego widoczna była w 2019 roku w wodach powierzchniowych, zwłaszcza w wodach rzecznych, które stanowią strefę odprowadzania wody z badanych zlewni. Miarą reakcji zlewni na dynamikę obiegu wody mogą być geindykatory hydrologiczne w postaci współczynnika odpływu i wskaźnika odpływu jednostkowego (Tab. 17) oraz współczynnika miesięcznego przepływu (Ryc. 14).

Tab. 17. Miesięczne średnie wartości współczynnika odpływu [-] i odpływu jednostkowego oraz ekstremalne dobowe odpływy jednostkowe [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$] w 2019 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)	0,12	1,00	1,60	0,10
Parsęta (Parsęta)	0,37	8,21	31,56	2,54
Wigry (Czarna Hańcza)	0,42	6,33	11,37	2,63
Pojezierze Chełmińskie (Struga Toruńska)	0,14	1,12	2,76	0,08
Poznań-Morasko (Różany Strumień)	0,04	0,66	9,60	0,00
Kampinos (Kanał Olszowiecki)	0,01	0,07	1,39	0,00
Łysogóry (Wieniec)	0,04	1,10	7,93	0,00
Roztocze (Świerszcz)	0,03	0,65	1,94	0,09
Beskid Niski (Bystrzanka)	0,24	7,20	152,20	0,10
Karkonosze (Wrzosówka)	0,40	9,60	506,99	0,26

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 (poza Łysogórami i Karkonoszami) średni współczynnik odpływu w 2019 roku był niższy niż w roku 2018. Przyjmował on wartości od 0,01 w Kanale Olszowieckim w Kampinosie, 0,03 w Świerszczu na Roztoczu do wartości najwyższych: 0,37 w górnej Parsęcie i 0,42 w Czarnej Hańczy (Wigry). Zlewnie Niżu Polskiego charakteryzują się spowolnionym obiegiem wody i długim krążeniem wody od strefy alimentacji do strefy drenażu. W tych zlewniach zaledwie kilka-kilkanaście procent (Kanał Olszowiecki, Różany Strumień, Struga Toruńska, Lewińska Struga), a maksymalnie 37-42% (Parsęta, Czarna Hańcza) wody opadowej odpłynęło systemem fluwialnym poza zlewnię. W ciekach o mniejszym współczynniku odpływu, jakość wód opadowych odgrywa mniejsze znaczenie w kształtowaniu jakości wód rzecznych. Długi czas krążenia wody nie powoduje szybkiej dostawy zanieczyszczeń powierzchniowych ze zlewni do wód rzecznych, jednakże może występować ich kumulacja w glebie czy wodach podziemnych (np. biogenów). Równie wysoką wartość współczynnika odpływu osiągnął w ciekach górskich (Bystrzanka i Wrzosówka), gdzie udział wód opadowych w wodach rzecznych wyniósł 24-40%. W tych zlewniach migracja wody opadowej do koryta rzeczno jest szybka i krótka. Jakość wód opadowych w zlewniach górskich może znacząco wpływać na jakość wody w rzekach. W zlewniach górskich reakcja odpływu rzeczno na opad atmosferyczny jest szybsza i bardziej wyraźna niż w zlewniach nizinnych, czy wyżynnych. W zlewniach górskich nie następuje tak znaczna kumulacja zanieczyszczeń jak w zlewniach nizinnych, ale następuje ich szybkie odprowadzanie systemem fluwialnym.

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

W roku 2019 odnotowano ścisły związek pomiędzy wielkością opadów atmosferycznych w okresach poprzedzających, a aktualnym odpływem ze zlewni. Wyższe wartości współczynnika odpływu w 2018 roku (który był zbliżony pod względem warunków hydrometeorologicznych do roku 2019) można tłumaczyć uzupełnianiem zasobów wód podziemnych (retencji) w wilgotnym roku 2016 i dalszym uzupełnianiem zasobów warstw wodonośnych w jeszcze wilgotniejszym 2017 roku, co spowodowało podniesienie ich stanu oraz później zwiększony drenaż wód podziemnych przez system koryt rzecznych. Niższe wartości współczynnika odpływu w roku 2019 mogą świadczyć, że zgromadzone w zlewniach zasoby wody zostały wykorzystane do uzupełnienia deficytu opadów z roku poprzedniego. Utrzymujące się drugi rok niekorzystne uwarunkowania hydrometeorologiczne mogą negatywnie wpłynąć na wielkość odpływu w monitorowanych ciekach w kolejnym roku.

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 2019 roku średni miesięczny wskaźnik odpływu jednostkowego (Tab. 17) przyjmował niskie wartości, poniżej $5 \text{ dm}^{-3}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ prawie we wszystkich zlewniach nizinnych i wyżynnych (oprócz Parsęty i Czarnej Hańczy). Na wysoki odpływ jednostkowy na Parsęcie i Czarnej Hańczy wpłynęły wysokie miesięczne wartości wskaźnika w półroczu zimowym, co mogło być jeszcze następstwem korzystnych uwarunkowań hydrometeorologicznych 2017 roku. Z kolei równie wysoki odpływ jednostkowy, powyżej $7 \text{ dm}^{-3}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$, który występował w zlewniach górskich (Bystrzanka i Wrzosówka) 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 niskim odpływie jednostkowym w 2019 roku w zlewniach nizinnych i górskich, poza warunkami hydrometeorologicznymi, decydowały zarówno inne czynniki przyrodnicze (np. wielkość strefy alimentacji, litologia oraz użytkowanie strefy zasilania), jak

i antropogeniczne (np. nawadnianie i melioracje). Przykładowo, o niskim odpływie jednostkowym ze zlewni Lewińskiej Strugi (Wyspa Wolin) decyduje bardzo rozległa strefa alimentacji i leśne użytkowanie terenu oraz związana z tymi uwarunkowaniami powolna dostawa wody do koryta rzeczno-jeziornego. Ponadto Lewińska Struga w profilu badawczym ma długość 3 km, z czego jedynie 0,6 km ciek 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 uszczelnienie utworów powierzchniowych ograniczające spływ powierzchniowy – większość wód opadowych perkoluje do głębszych warstw wodonośnych nie mających kontaktu hydraulicznego z ciekami), jak i spowodowane działalnością człowieka (np. przekierowywanie wody z cieków przez gospodarzy do przydomowych zbiorników). Antropopresja w zlewni Strugi Toruńskiej (Pojezierze Chełmińskie) przejawia się zaburzeniem odpływu rzeczno-jeziornego wskutek działalności rolniczej, gdzie wody rzeczne wykorzystywane są do nawadniania pól uprawnych. Z kolei na małą dynamikę odpływu wód Kanału Olszowieckiego (Kampinos) oraz zanik odpływu fluwialnego w półroczu letnim wpłynęły czynniki naturalne związane z funkcjonowaniem kaskadowego systemu tam bobrowych oraz uzupełnianie zasobów wód podziemnych.

Współczynnik miesięcznego przepływu

Podstawą oceny ustroju rzeczno-jeziornego 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 Karkonosze, 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):

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

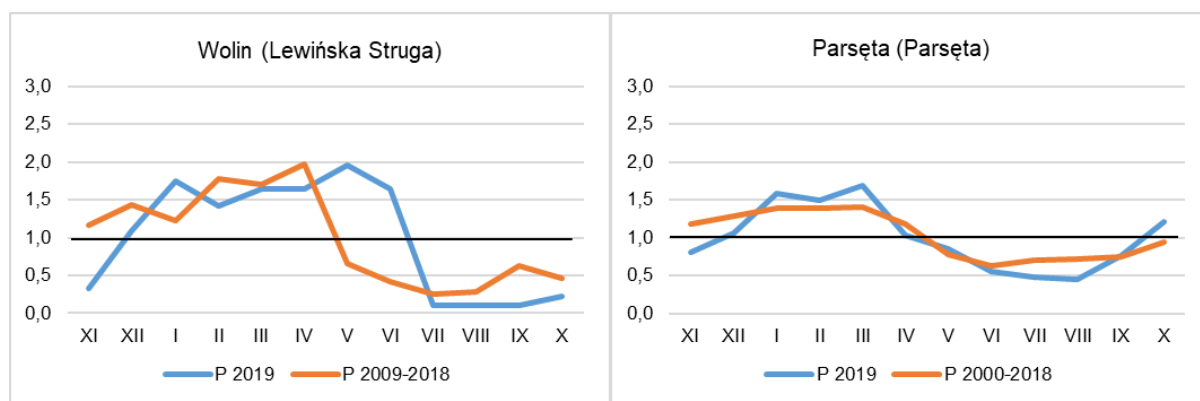
gdzie:

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 2019 roku hydrologicznym odbiegał od współczynnika przepływów dla wartości średnich z wielolecia i był zróżnicowany w poszczególnych zlewniach (Ryc. 14). Najbardziej typowy był przepływ Parsęty. W większości zlewni (Lewińska Struga, Parsęta, Czarna Hańcza, Struga Toruńska, Różany Strumień i Świerszcz) wyraźnie zaznaczyły się wyższe przepływy w półroczu zimowym, co wynikało z większych sum opadów atmosferycznych przy mniejszej ewapotranspiracji w tym okresie. W niektórych zlewniach (Kanał Olszowiecki, Wieniec, Bystrzanka) zaznaczyły się znacznie wyższe przepływy w pojedynczych miesiącach. W przypadku górskiej zlewni Bystrzanki współczynnik miesięcznego przepływu najwyższą wartość przyjął w maju, w wyniku wysokiej, przekraczającej 200 mm, miesięcznej sumie opadów. W zlewni Różanego Strumienia, pomimo bardzo suchego kwietnia, przepływy w tym miesiącu były zbliżone do średniej wartości rocznej. Świadczy to o zgromadzeniu zapasów wody we wcześniejszych, wilgotnych miesiącach oraz o mniejszym parowaniu. W przypadku równie suchego, ale też znacznie cieplejszego czerwca, przy wzmożonej ewapotranspiracji, przepływy w strumieniu znacząco się zmniejszyły i utrzymały niski stan do końca roku hydrologicznego. Generalnie najmniejsze przepływy występowały głównie od lipca do końca roku hydrologicznego, kiedy to aż 5 monitorowanych cieków okresowo (lub stale) nie prowadziło wody (Kanał Olszowiecki – 9 miesięcy, Wieniec – 5 miesięcy, Lewińska Struga – 3 miesiące, Różany Strumień – 2 miesiące, Struga Toruńska – mniej niż miesiąc).





Ryc. 14. Zmienność czasowa współczynników miesięcznych przepływu w roku hydrologicznym 2019 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 systemem fluwialnym. 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 geoeosystemach 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 2019 roku wykorzystano parametry: P – średnią roczną wysokość 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 2019 roku wykazała wyraźną zmienność przestrzenną oraz niekorzystną sytuację hydrometeorologiczną do retencji wody w całej Polsce. Największy deficyt odpływu wody występował w Polsce południowej, w wyżynnej i górskiej strefie krajobrazowej, gdzie średnio wyniósł 568 mm. Wielkość deficytu odpływu wody malała w kierunku północy, w strefie nizin środkowopolskich wyniosła 481 mm (Kampinos), a w strefie pojeziernej i nadbrzeżnej średnio 398 mm (Tab. 18). W porównaniu z rokiem 2018, w 6 Stacjach (Wolin, Parsęta, Wigry, Pojezierze Chełmińskie, Łysogóry i Karkonosze) deficyt odpływu był wyższy w 2019 roku. Uproszczony bilans wodny w 2019 roku był zbliżony do bilansów z suchych i ciepłych lat 2015 i 2018 (średni deficyt odpływu wody odpowiednio 440 i 439 mm) i niższy niż w wilgotnych latach 2016 (625 mm) i 2017 (582 mm).

Reasumując, największa ilość dostarczanej wraz z opadami wody, która w 2019 roku była niska, tracona była na parowanie terenowe. Straty na parowanie terenowe wskutek ciepłego 2019 roku mogły wynosić około 380-400 mm rocznie (Awłasiewicz 1953). Biorąc pod uwagę niskie opady roczne i znikomy odpływ powierzchniowy najgorsza sytuacja występowała w zlewniach Lewińskiej Strugi, Różanego Strumienia, Strugi Toruńskiej, Kanału Olszowieckiego, Wieńca i Świerszcza. W tych zlewniach niski deficyt odpływu i wysokie parowanie terenowe skutkowały spadkiem zasobów wód podziemnych i w dalszej kolejności zerwaniem więzi hydraulicznej z ciekami powierzchniowymi. W konsekwencji w półroczu letnim w wymienionych zlewniach (poza Świerszczem) nie było odpływu fluwialnego.

Tab. 18. Miesięczne wysokości warstwy opadu i odpływu [mm] oraz skróconego bilansu wodnego [mm] w 2019 roku hydrologicznym w zlewniach ZMŚP

Stacja (zlewnia)	P Opad atmosferyczny	H _{pow} Odpływ powierzchniowy	S Deficyt odpływu P-H _{pow}
	[mm]		
Wolin (Lewińska Struga)	523,8	95,1	428,7
Parsęta (Parsęta)	688,6	255,9	432,7
Wigry (Czarna Hańcza)	473,2	199,5	273,7
Pojezierze Chełmińskie (Struga Toruńska)	443,6	35,2	408,4
Poznań-Morasko (Różany Strumień)	467,5	20,9	446,6
Kampanos (Kanał Olszowiecki)	483,4	2,2	481,3
Łysogóry (Wieniec)	710,2	31,3	678,9
Roztocze (Świerszcz)	459,5	20,5	439,0
Beskid Niski (Bystrzanka)	754,3	301,3	453,0
Karkonosze (Wrzosówka)	930,6	227,5	703,1

Generalnie we wszystkich badanych zlewniach w 2019 roku, podobnie jak w roku poprzednim nie było warunków do odbudowy zasobów wodnych. 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. Podobne zależności w zakresie uwarunkowań hydrometeorologicznych w ostatnich sześciu latach stwierdzono w latach 2014, 2015 oraz 2018, a odmienna sytuacja miała miejsce w dwuleciu 2016-2017.

6. GEOINDYKATORY JAKOŚCI WODY W GEOEKOSYSTEMACH ZMŚP

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

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 rzecznoego 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 fizyczno-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

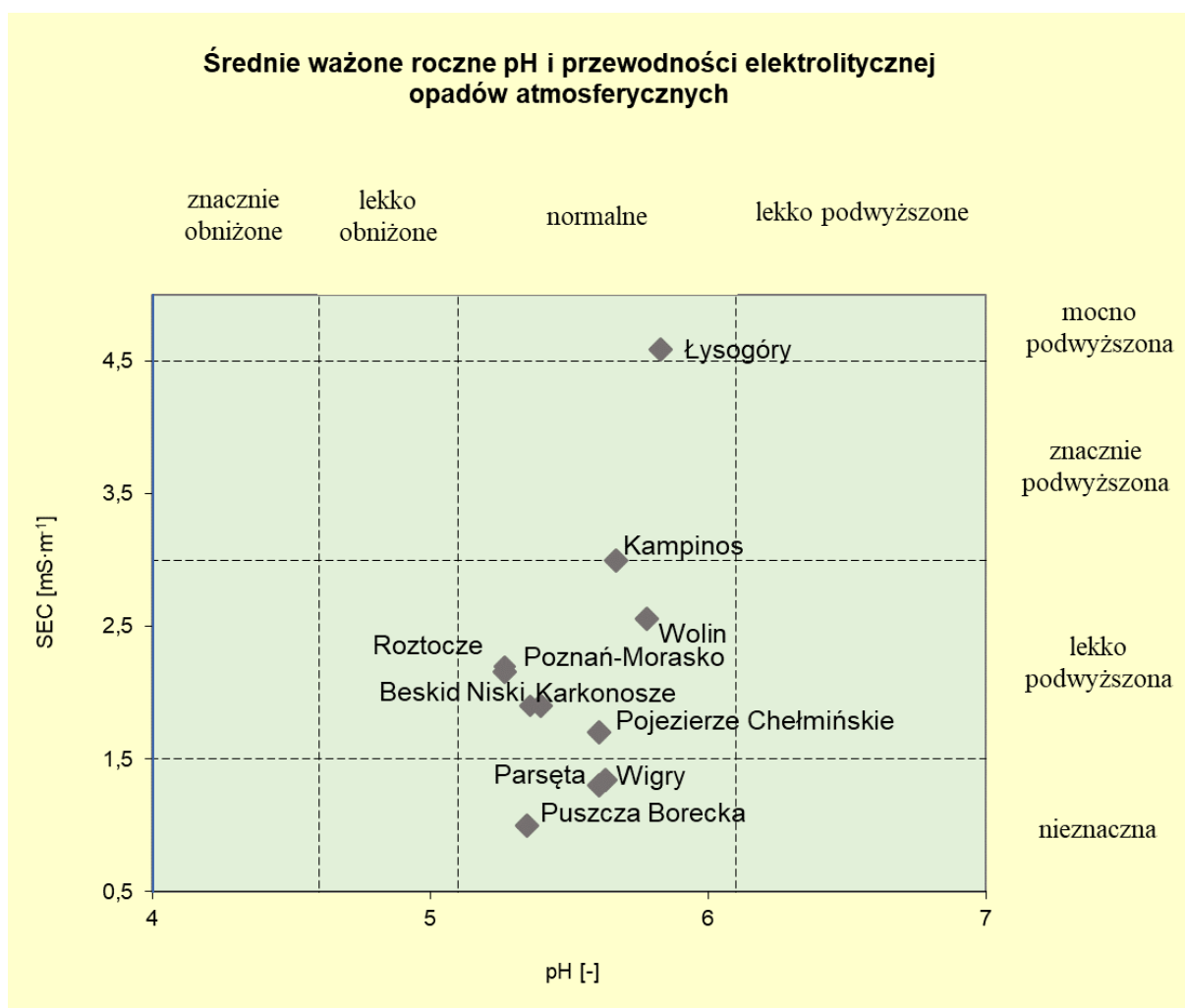
Wskaźnik ten został określony na podstawie tzw. klasyfikacji austriackiej jakości opadów atmosferycznych (Jansen i in. 1988). Ze względu na jego dużą przydatność do oceny odczynu i przewodności elektrolitycznej opadów atmosferycznych został wprowadzony do obligatoryjnego stosowania w sprawozdaniach Stacji Bazowych ZMŚP. Klasyfikacja pH/SEC ukazuje czasowe zróżnicowanie jakości wód opadowych (trendy i tendencje) w zróżnicowanych geoekosystemach Polski. W zakresie przewodności elektrolitycznej wskaźnik jest podzielony na 6 klas jakościowych (Tab. 19). W odniesieniu do odczynu wody opadowej klasyfikacja pH/SEC opadów atmosferycznych zawiera 5 klas jakościowych (Tab. 20) (Szpikowski 2012). Wskaźnik klasyfikacji pH/SEC opadów atmosferycznych w 2019 roku przedstawiono na rycinie 12.

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

średnia roczna ważona przewodność elektrolityczna SEC [$\text{mS} \cdot \text{m}^{-1}$]	klasa przewodności wód opadowych
SEC $\leq$ 1,5	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. 20. Klasyfikacja odczynu wód opadowych (wg Jansena i in. 1988)

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



Ryc. 15. Klasyfikacja pH i SEC opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2019 roku

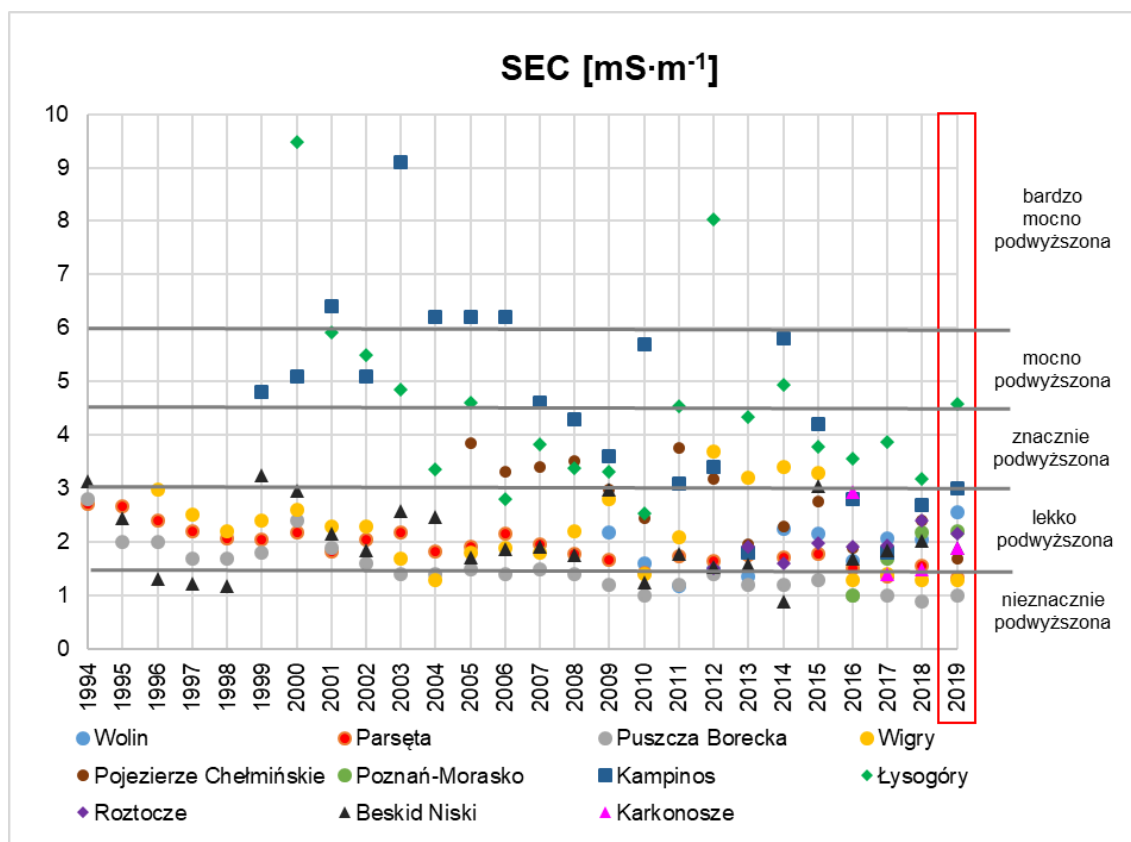
Wskaźnik klasyfikacji SEC opadów atmosferycznych w 2019 roku hydrologicznym w zakresie średniej ważonej przewodności elektrolitycznej (Ryc. 15) charakteryzował się następującymi właściwościami:

- przewodność nieznaczną stwierdzono w 3 Stacjach: Parsęta, Puszcza Borecka i Wigry;
- przewodność lekko podwyższoną stwierdzono w 7 Stacjach: Wolin, Pojezierze Chełmińskie, Poznań-Morasko, Kampinos, Roztocze, Beskid Niski i Karkonosze;
- przewodność mocno podwyższoną stwierdzono tylko w 1 Stacji: Łysogóry.

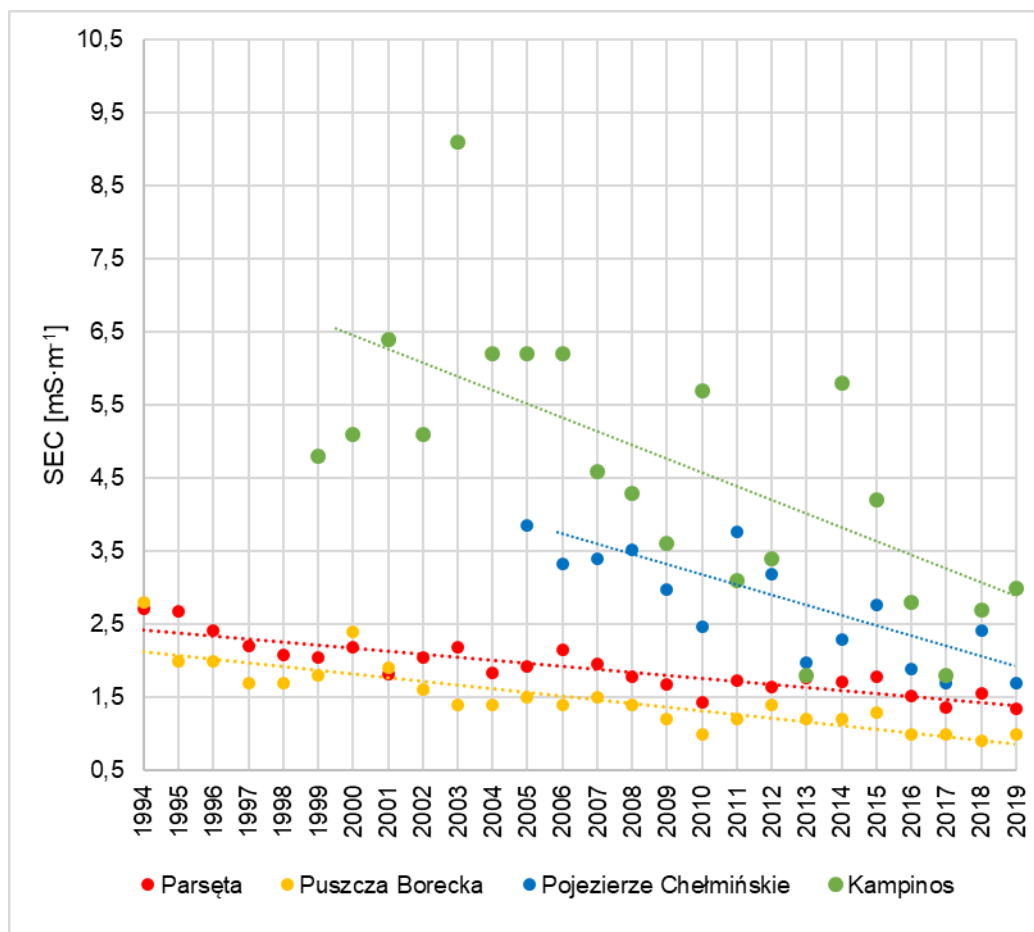
Jakość opadów atmosferycznych w 2019 roku pod względem wskaźnika SEC w porównaniu z ubiegłym rokiem w większości stacji pozostała na podobnym poziomie. Poprawie uległa jakość opadów w Stacji Parsęta (zakwalifikowana do klasy nieznacznie podwyższonej przewodności), nieznacznemu pogorszeniu uległa jakość opadów w Karkonoszach (zakwalifikowana do klasy lekko podwyższonej przewodności). W 2019

roku przerwany został pozytywny trend, trwający od 2015 roku, od kiedy w żadnym z monitorowanych geokosystemów nie stwierdzono przewodności mocno i bardzo podwyższonej. Stacja Łysogóry nieznacznie przekroczyła wartość progową i została zakwalifikowana do klasy o mocno podwyższonej przewodności. Gorszą jakość opadów atmosferycznych w Górach Świętokrzyskich można tłumaczyć wyniesieniem obszaru zlewni Wieńca w stosunku do otoczenia od 100 do 300 m, co 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 4 stacji posiadających długie serie pomiarowe, tj. dla Parsęty, Puszczy Boreckiej, Pojezierza Chełmińskiego i Kampinosu. Trend 10. letni spadku SEC wynosi od $0,33 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ na Pojezierzu Drawskim (Parsęta) do $1,28 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ na Pojezierzu Chełmińskim (Ryc. 17).



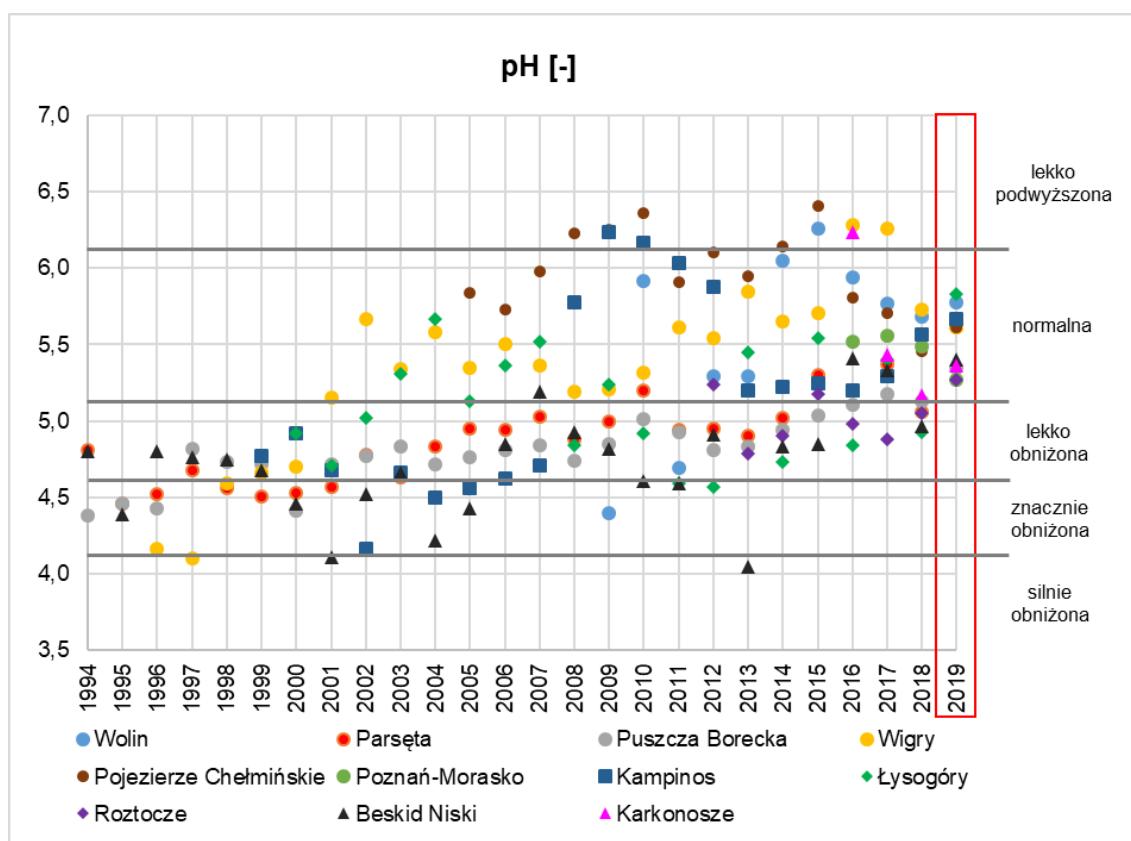
Ryc. 16. Zmienność czasowa SEC opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2019 roku hydrologicznym na tle wielolecia



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

W 2019 roku hydrologicznym w klasyfikacji odczynu opadów atmosferycznych we wszystkich Stacjach ZMŚP stwierdzono pH normalne (Ryc. 15). Odczyn opadów atmosferycznych w porównaniu do wcześniejszych lat uległ poprawie. W 2018 roku w żadnej stacji opadów nie zaliczono do klasy lekko podwyższonego pH (co miało miejsce w latach wcześniejszych), jednak w 4 stacjach opady atmosferyczne zaliczono do klasy lekko obniżonego pH. Z kolei w roku 2019, po raz pierwszy od początku pomiarów opady we wszystkich monitorowanych zlewniach zakwalifikowano do klasy normalnego 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 (spadku zakwaszenia) opadów ($p < 0,05$) odnotowano dla 5 Stacji Bazowych: Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Kampinos i Beskid Niski. Trend 10. letni spadku kwasowości wynosi od 0,40 pH w Wigrach do 0,63 pH na Pojezierzu Drawskim (Stacja Parsęta) (Ryc. 19).

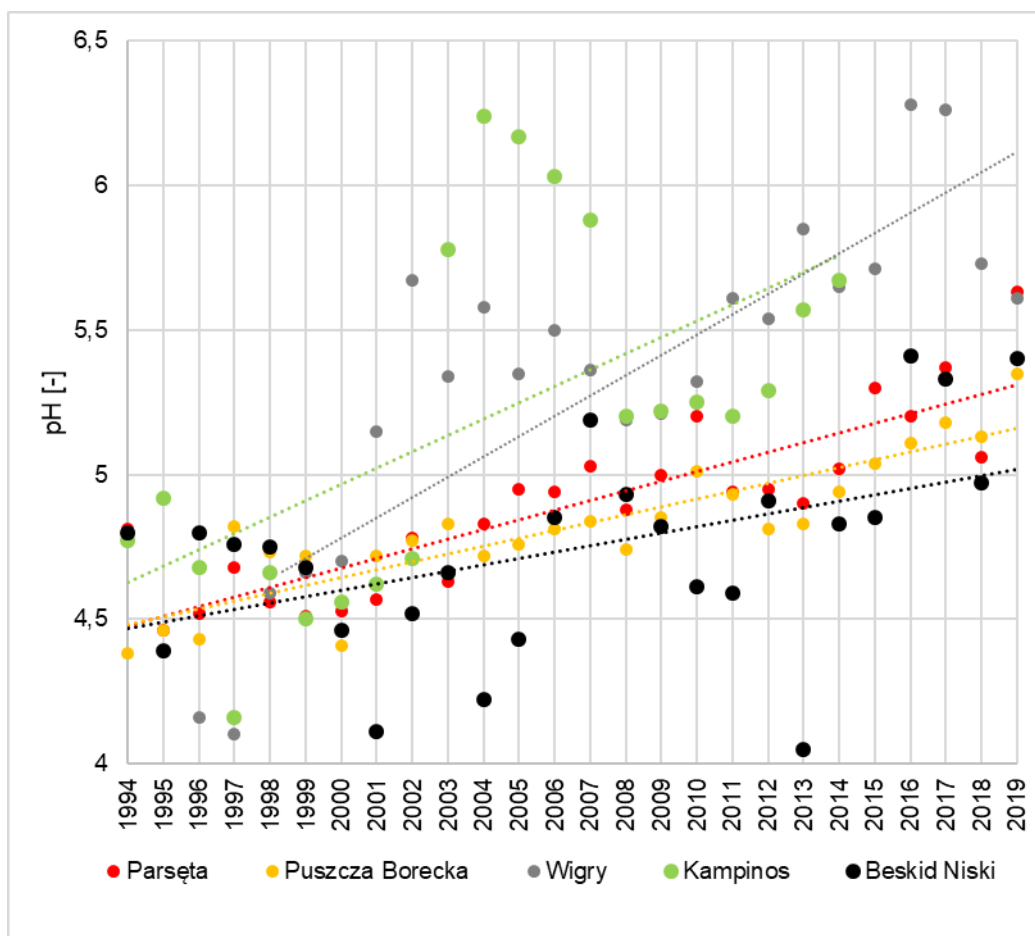


Ryc. 18. Zmienność czasowa kwasowości opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2019 roku hydrologicznym na tle wielolecia

Cechą charakterystyczną zmienności odczynu opadów w Polsce w ostatnich dwóch dekadach był znaczny spadek kwasowości opadów atmosferycznych, np. w Stacjach: Parsęta, Puszcza Borecka i Wigry odczyn opadów z poziomu charakterystycznego 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 oraz w Stacji Beskid Niski, co można tłumaczyć coraz mniejszym wpływem zanieczyszczeń transgranicznych ze Słowacji. Dla stacji położonych w wyżynnej strefie krajobrazowej (Łysogóry i Roztocze) oraz dla Wolina i Pojezierza Chełmińskiego nie można stwierdzić istotnej statystycznie tendencji zmiany odczynu opadów (Ryc. 18, Ryc. 19).

Należy podkreślić, że pomimo małej wydajności opadów w 2019 roku, jakość atmosferycznej dostawy wody do badanych zlewni była dobra. W 2019 roku nie stwierdzono bardzo wyraźnej prawidłowości wysokiego stężenia rozpuszczonych jonów i wysokiej mineralizacji opadów pomimo wystąpienia opadów o niskiej wydajności i okresów bezdeszczowych. Mała koncentracja substancji rozpuszczonych i niska kwasowość opadów

w 2019 roku w Polsce mogą świadczyć o względnie niskiej antropopresji i małej dostawie zanieczyszczeń do atmosfery.



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

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

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 kwasogenego 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.

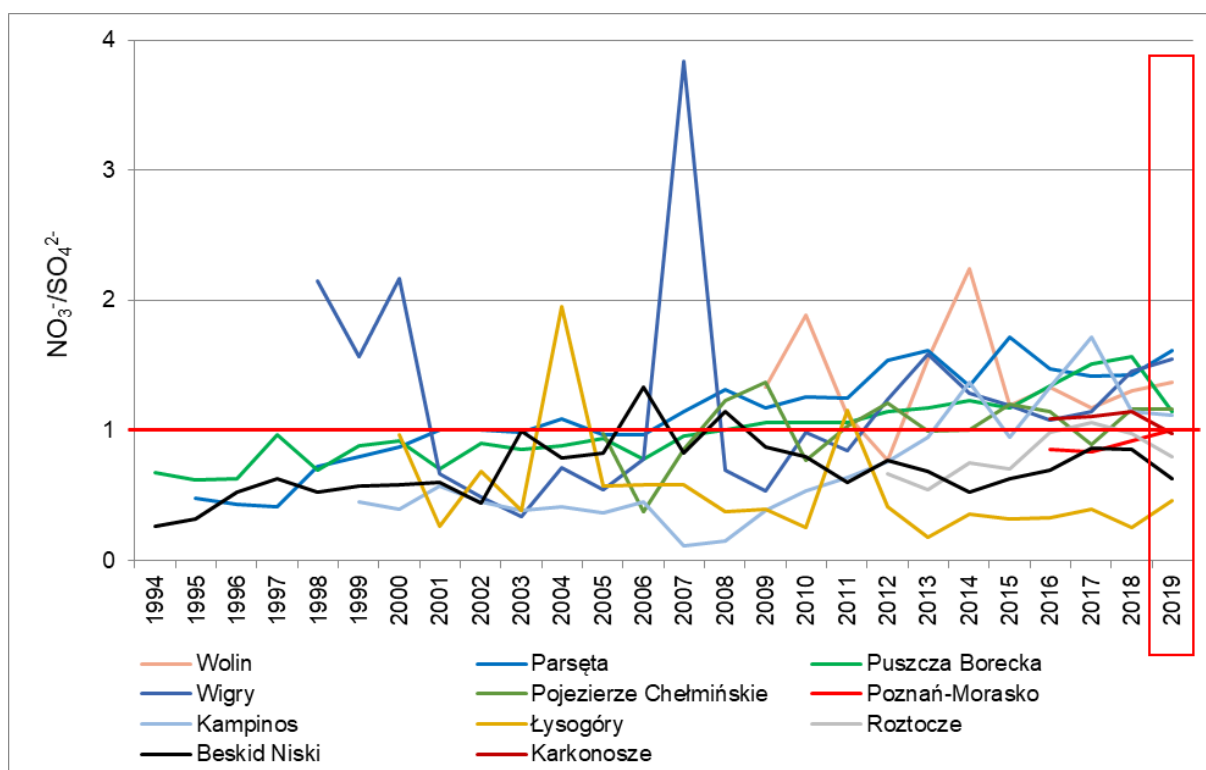
Za kwasowość opadów atmosferycznych w około 60-70% odpowiada dwutlenek siarki, zaś tlenki azotu za pozostałe 30-40% (Isidorow, Jaroszyńska 1998).

Zmienność czasowa wskaźnika udziału czynników kwasogennych dla Stacji Bazowych ZMŚP wykazuje w badanym wieloleciu 1994-2019 (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 2019 roku udział NO_3^- w zakwaszaniu opadów, który stwierdzono w 7 stacjach położonych w północnej i zachodniej Polsce: Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie, Poznań-Morasko i Kampinos;
- większy w 2019 roku udział SO_4^{2-} w zakwaszaniu opadów stwierdzono w 4 stacjach położonych w Polsce południowej i południowowschodniej: Łysogóry, Roztocze, Beskid Niski i Karkonosze.

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 południowowschodniej. W 2019 roku po raz pierwszy wskaźnik obrał wartość nieznacznie powyżej 1 (większy udział NO_3^- w zakwaszaniu opadów) w miejskiej Stacji Poznań-Morasko. Odwrotna sytuacja miała miejsce w Karkonoszach, gdzie po raz pierwszy stwierdzono większy udział SO_4^{2-} w zakwaszaniu opadów (wskaźnik obrał wartość nieznacznie poniżej 1). 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 1994-2019

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 chlorków i sodu. 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 chlorków i sodu 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 chlorku i sodu powinny występować w nadmorskiej strefie nizinnej, na pobrzeżu Bałtyku (Stacja Bazowa Wolin). Niższe stężenia 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 Beskid Niski i Karkonosze).

Przestrzenne zróżnicowanie stężenia chlorków i sodu w wodach opadowych w 2019 roku można rozpatrywać 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 (Beskid Niski);
- transekt wschodni obejmuje strefy: pojezierzy (Puszcza Borecka, Wigry) → wyżyn (Roztocze).

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

Tab. 21. Średnie stężenie substancji rozpuszczonych w wodach opadowych w zlewniach ZMŚP w 2019 roku

Stacja ZMŚP	Strefa krajobrazowa	S-SO ₀	N-NO ₃	N-NH ₄	Cl	Na	K	Mg	Ca
		[mg·dm ⁻³]							
Wolin	nadmorska	0,45	0,54	0,91	1,54	1,08	0,63	0,22	1,93
Parsęta	pojezierzy	0,17	0,24	0,32	0,65	0,43	0,08	0,08	0,39
Puszcza Borecka		0,28	0,28	0,46	0,39	0,17	0,07	0,05	0,25
Wigry		0,28	0,38	0,45	0,36	0,13	0,06	0,05	0,27
Pojezierze Chełmińskie		0,50	0,51	0,88	0,87	0,34	0,41	0,13	0,71
Poznań-Morasko		0,50	0,44	0,81	0,98	0,62	0,33	0,14	0,93
Kampinos	nizin	0,60	0,40	0,70	0,50	0,10	0,10	0,10	0,30
Łysogóry	wyżyn	2,54	1,03	1,58	2,97	0,63	0,50	0,53	3,25
Roztocze		0,69	0,48	0,42	0,54	0,14	0,18	0,09	1,86
Beskid Niski	gór średnich	1,11	0,61	0,31	0,70	0,54	0,22	0,19	1,45
Karkonosze		0,35	0,30	0,41	0,41	0,42	0,05	0,04	0,19

W 2019 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 $1,54$ i $1,08 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$). W miarę oddalania się od strefy nadmorskiej stężenie tych jonów malało i wynosiło: w strefie pojezierzy (Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Pojezierze Chełmińskie i Poznań-Morasko) Cl^- $0,65$ i Na^+ $0,34 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ i w strefie nizin (Kampinos) Cl^- $0,50$ i Na^+ $0,10 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. W transekcji równoleżnikowej strefy młodoglacjalnej Nizy Polskiego występował spadek stężenia zarówno chlorków, jak i sodu w opadach – odpowiednio od $1,54 \text{ mg Cl}\cdot\text{dm}^{-3}$ i $1,08 \text{ mg Na}\cdot\text{dm}^{-3}$ w Wolinie, poprzez $0,65 \text{ mg Cl}\cdot\text{dm}^{-3}$ i $0,43 \text{ mg Na}\cdot\text{dm}^{-3}$ w zlewni górnej Parsęty oraz $0,39 \text{ mg Cl}\cdot\text{dm}^{-3}$ i $0,17 \text{ mg Na}\cdot\text{dm}^{-3}$ w Puszczy Boreckiej do $0,36 \text{ mg Cl}\cdot\text{dm}^{-3}$ i $0,13 \text{ mg Na}\cdot\text{dm}^{-3}$ w Wigrach.

Średnie stężenia jonów chlorkowych i sodowych w strefie wyżynnej ($1,76 \text{ mg Cl dm}^{-3}$ i $0,39 \text{ mg Na dm}^{-3}$) oraz górskiej ($0,56 \text{ mg Cl dm}^{-3}$ i $0,48 \text{ mg Na dm}^{-3}$) były wyższe od występujących w strefie nizinnej i pojeziernej. Stężenie jonów chlorkowych w strefie wyżynnej były nawet wyższe niż w regionie nadmorskim, dotyczy to zwłaszcza charakterystyki opadów w Górach Świętokrzyskich. Taka sytuacja może świadczyć o antropogenicznym zanieczyszczeniu opadów atmosferycznych, którego źródłem są pobliskie elektrownie, ciepłownie, zakłady przemysłowe, gospodarstwa domowe, jak również komunikacja.

W zachodnim transekcji południkowej, podobnie jak w latach poprzednich, stwierdzono wyraźny spadek stężenia jonów sodowych i chlorkowych, od pasa nadmorskiego (Wolin $1,54 \text{ mg Cl}\cdot\text{dm}^{-3}$ i $1,08 \text{ mg Na}\cdot\text{dm}^{-3}$), poprzez pas pojezierzy (Parsęta $0,65 \text{ mg Cl}\cdot\text{dm}^{-3}$ i $0,43 \text{ mg Na}\cdot\text{dm}^{-3}$, Poznań-Morasko $0,98 \text{ mg Cl}\cdot\text{dm}^{-3}$ i $0,62 \text{ mg Na}\cdot\text{dm}^{-3}$) do pasa gór średnich (Karkonosze $0,41 \text{ mg Cl}\cdot\text{dm}^{-3}$ i $0,42 \text{ mg Na}\cdot\text{dm}^{-3}$). Normalna tendencja spadku stężenia jonów chlorkowych i sodowych w kierunku południowym została zakłócona w miejskiej Stacji Poznań-Morasko, gdzie opady atmosferyczne miały wyższe stężenia chlorków i sodu niż w Stacji Parsęta, położonej ok. 150 km na północ. Przyczyną takiej sytuacji było zanieczyszczenie opadów atmosferycznych w zlewni Rózanego Strumienia wskutek negatywnego oddziaływania aglomeracji Poznania.

W środkowym i wschodnim transekcji południkowej tendencja spadku stężenia jonów chlorkowych i sodowych została całkowicie zaburzona. Największe stężenia wystąpiły w pasie wyżyn (Łysogóry $2,97 \text{ mg Cl}\cdot\text{dm}^{-3}$ i $0,63 \text{ mg Na}\cdot\text{dm}^{-3}$ oraz Roztocze $0,54 \text{ mg Cl}\cdot\text{dm}^{-3}$ i $0,14 \text{ mg Na}\cdot\text{dm}^{-3}$) i gór średnich (Beskid Niski $0,70 \text{ mg Cl}\cdot\text{dm}^{-3}$ i $0,54 \text{ mg Na}\cdot\text{dm}^{-3}$). Niższe

w strefie nizin (Kampinos $0,50 \text{ mg Cl}\cdot\text{dm}^{-3}$ i $0,10 \text{ mg Na}\cdot\text{dm}^{-3}$), a najniższe w strefie pojezierzy (Wigry $0,36 \text{ mg Cl}\cdot\text{dm}^{-3}$ $0,13 \text{ mg Na}\cdot\text{dm}^{-3}$ i Puszcza Borecka $0,39 \text{ mg Cl}\cdot\text{dm}^{-3}$ $0,17 \text{ mg Na}\cdot\text{dm}^{-3}$). Wyższe stężenia jonów chlorkowo-sodowych w Polsce południowo-wschodniej może 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. Należy jednakże podkreślić, że stężenia chlorków i sodu w całej Polsce były dość niskie, nawet stężenia chlorków w Stacji Łysogóry mieściły się w granicach „klasy normalnej” (poniżej $5 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$).

Analiza średniego stężenia substancji rozpuszczonych w wodach opadowych w 2019 roku wykazała pewne różnice przestrzenne (Tab. 21). Na jakość opadów atmosferycznych większy wpływ wywierały czynniki lokalne (np. użytkowanie terenu) i regionalne (np. oddziaływanie Bałtyku, źródła zanieczyszczeń), a nie kontynentalne (np. cyrkulacja atmosferyczna i napływ mas powietrza).

6.2. Wody podziemne

Stan chemiczny wód podziemnych

Dla oceny stanu chemicznego wód podziemnych wykorzystano zasady określone w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 21 grudnia 2015 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych (Dz. U. 2016, poz. 85). 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), 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 Środowiska (2015):

- elementy ogólne (odczyn, przewodność elektrolityczna);

- elementy nieorganiczne (azotany, jon amonowy, chlorki, fosforany, magnez, potas, siarczany, sól, wapń, wodorowęglany).

W 2019 roku wody podziemne we wszystkich jednolitych częściach wód występujących w zlewniach podziemnych ZMŚP posiadały dobry stan chemiczny (Tab. 22). Klasy jakości wody w żadnej zlewni podziemnej 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.

Tab. 22. Klasy jakości wody i stan chemiczny wód podziemnych w zlewniach ZMŚP w 2019 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	II	II	dobra	dobry
Parsęta	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	II	I	dobra	dobry
Puszcza Borecka	I	II	III	I	I	I	I	III	I	I	I	I	zadowalająca	dobry
Wigry	I	I	III	I	I	I	I	II	I	I	II	I	zadowalająca	dobry
Pojezierze Chełmińskie	I	I	I	I	I	I	I	II	I	I	I	I	dobra	dobry
Poznań-Morasko	I	II	III	I	I	I	I	II	II	II	I	I	zadowalająca	dobry
Kampinos	I	II	III	I	I	I	I	III	I	I	I	I	zadowalająca	dobry
Łysogóry	IV	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	bardzo dobra	dobry
Roztocze	IV	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	bardzo dobra	dobry
Beskid Niski	I	I	II	I	I	I	I	II	I	I	I	I	dobra	dobry
Karkonosze	IV	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	bardzo dobra	dobry

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

Zlewnie nizinne posiadały zadowalającą klasę jakości wód podziemnych (Puszcza Borecka, Wigry, Poznań-Morasko i Kampinos) lub dobrą klasę (Wolin, Parsęta i Pojezierze Chełmińskie). W głównej mierze wpłynęły na to wyższe stężenia jonów wapnia

i wodorowęglanowych. Lepsza jakość wód podziemnych występowała w zlewniach wyżynnych (bardzo dobra) oraz górskich (dobra – Beskid Niski, bardzo dobra – Karkonosze). W porównaniu z poprzednim rokiem wody podziemne w monitorowanych zlewniach poprawiły swoją jakość. W związku z mniejszym stężeniem jonów azotanowych w zlewni górnej Parsęty, wody podziemne w tej zlewni zakwalifikowano do wyższej klasy jakości wody. Poprawie uległy również wody na Wolinie (NO_3), w Puszczy Boreckiej (Cl), w Wigrach (SO_4), w Poznaniu (HCO_3), w Kampinosie (Cl) oraz w Beskidzie Niskim (PO_4 i NO_3). W przypadku żadnego parametru w żadnej stacji nie stwierdzono pogorszenia się jakości wód podziemnych.

6.3. Wody powierzchniowe

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

W 2019 roku monitoring fluwialnego odpływu wody i substancji rozpuszczonych prowadzono w 10 ciekach wodnych. Jedynie dla odpływu z jeziora Łękuk (Puszcza Borecka) niemożliwe było prowadzenie tego zadania ze względu na zakłócenia odpływu wody w cieku spowodowane działalnością bobrów.

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

Analiza składu chemicznego wód rzecznych w 2019 roku podobnie jak w poprzednich latach pozwoliła zakwalifikować je wg klasyfikacji Altowskiego i Szwieca (Macioszczyk 1987) do wód prostych o następujących typach hydrochemicznych:

- wapniowo-wodorowęglanowych (Lewińska Struga, Parsęta, Struga Toruńska, Świerszcz);
- wodorowęglanowo-wapniowych (Bystrzanka);
- wodorowęglanowo-wapniowo-sodowych (Czarna Hańcza);
- wapniowo-wodorowęglanowo-chlorkowych (Różany Strumień);
- wapniowo-wodorowęglanowo-siarczanowych (Kanał Olszowiecki);
- siarczanowo-wapniowych (Wieniec w Górach Świętokrzyskich);
- siarczanowo-wodorowęglanowo-wapniowo-sodowych (Wrzosówka w Karkonoszach).

Tab. 23. Średnie stężenie substancji rozpuszczonych w wodach rzecznych w zlewniach ZMŚP w 2019 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	10,83	0,10	0,16	16,22	11,36	2,28	6,05	53,52	155,43	35,36	7,78
Parsęta (Parsęta)	pojezierzy	11,05	1,34	0,22	7,27	6,22	2,19	5,47	75,84	210,66	39,90	8,08
Wigry (Czarna Hańcza)		9,49	1,81	0,18	29,23	23,33	6,75	14,48	77,79	273,56	56,89	8,13
Pojezierze Chełmińskie (Struga Toruńska)		32,49	1,26	0,30	49,20	21,10	7,90	17,40	140,00	301,00	74,90	7,80
Poznań-Morasko (Różany Strumień)		26,78	1,66	0,16	74,89	39,42	4,63	13,13	141,18	318,96	87,70	7,88
Kampinos (Kanał Olszowiecki)	nizin	48,45	0,35	0,03	21,06	9,69	0,73	11,15	103,29	138,55	49,95	7,21
Łysogóry (Wieniec)	wyżyn	15,12	0,85	0,11	10,88	5,94	0,55	3,35	16,89	11,65	18,88	6,36
Roztocze (Świerszcz)		4,93	0,17	0,05	2,67	2,20	0,90	1,60	52,29	140,70	28,06	7,57
Beskid Niski (Bystrzanka)	gór średnich	8,69	1,20	0,03	8,29	11,50	3,89	5,65	41,40	133,90	20,40	7,46
Karkonosze (Wrzosówka)		2,06	0,16	0,05	1,43	1,67	0,24	0,38	1,66	2,96	2,50	5,50

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 2019 roku cechowała się dużym zróżnicowaniem przestrzennym (Tab. 23). Mineralizacja wody w 2019 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 występowała w Różanym Strumieniu 87,70 mS·m⁻¹ i Strudze Toruńskiej 74,90 mS·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 $2,50 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$. W strefie wyżynnej (średnia mineralizacja $23,47 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$) i górskiej (średnia mineralizacja $11,45 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$) odpływ wody ze zlewni jest szybszy i udział nisko zmineralizowanych wód opadowych w systemie rzeczonym jest największy. W pozostałych monitorowanych ciekach nizinnych (Lewińska Struga, Parsęta, Czarna Hańcza i Kanał Olszowiecki) wartość SEC wynosiła od $35,36$ do $55,89 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Tab. 23). Zmienność przestrzenna wartości SEC w 2019 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 niż 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).

Odczyn wód rzecznych w 2019 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 (Wrzosówka i Wieniec) posiadały odczyn bardziej kwaśny, zbliżony do 6 pH. Kwaśny odczyn w tych ciekach nie był jednak wynikiem zanieczyszczenia antropogenicznego, ale był efektem specyficznej budowy geologicznej i rozpuszczania kwaśnych skał magmowych. Monitorowane cieki odznaczały się dominacją w miarę stabilnego w ciągu roku zasilania podziemnego. Na jakość wód rzecznych (m.in. mineralizacji i odczynu wody) nie wpłynęły nawet ekstremalne zdarzenia hydrologiczne (Tab. 17) związane z ograniczonym odpływem wody niektórych zlewniach (np. Lewińska Struga, Kanał Olszowiecki, Wieniec).

Realizowany monitoring wód powierzchniowych pozwala na dokonanie oceny jakości wody w zakresie wybranych parametrów fizykochemicznych – zgodnie z wytycznymi zawartymi w Ramowej Dyrektywie Wodnej. Monitoring fizykochemiczny wód krążących w zlewniach ZMŚP pozwala na ocenę jakości wybranych wskaźników (nie wszystkich), które są pomocne do oceny stanu ekologicznego jednolitych części wód powierzchniowych, zgodnie z Rozporządzeniami Ministra Środowiska (2016).

Zlewnie rzeczne ZMŚP występują w następujących jednolitych częściach wód powierzchniowych (JCWP):

- Wolin (Lewińska Struga z jez. Czajcze i Koprowo PLRW60001735569),

- Parsęta (Parsęta od źródeł do Gęsiej PLRW6000174417),
- Puszcza Borecka (Gołdapiwo PLLW30552),
- Wigry (Czarna Hańcza od wypływu z jeziora Hańcza do jeziora Wigry PLRW8000186419),
- Pojezierze Chełmińskie (Struga Toruńska od Zgnijki do ujścia PLRW 20001928989),
- Poznań-Morasko (Warta od Różanego Potoku do Dopływu z Uchorowa PLRW600021185991),
- Kampinos (Kanał Olszowiecki PL RW2000232729689),
- Łysogóry (Słupianka PLRW20001727369),
- Roztocze (Świerszcz PLRW200062414),
- Beskid Niski (Skawa do Bystrzanki PLRW2000122134299),
- Karkonosze (Wrzosówka od źródła do Podgórnej PLRW60003162889).

Realizacja programu ZMŚP wody powierzchniowe – rzeki umożliwia dokonanie oceny wybranych elementów fizykochemicznych wody. Wartości graniczne fizykochemicznych elementów jakości wód odnoszą się do Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 21 lipca 2016 roku w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych. W zlewniach ZMŚP w 2019 roku monitoring jakości wód płynących dotyczył następującego zakresu (Tab. 24):

- grupa wskaźników charakteryzujących stan fizyczny, w tym warunki termiczne: temperatura wody;
- grupa wskaźników charakteryzujących 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 jakość wód rzecznych pozostaje na podobnym poziomie od roku 2016. W 2019 roku dla 5 cieków (2 górskich – Bystrzanka i Wrzosówka; 2 nizinnych – Lewińska Struga i Parsęta oraz 1 położonego w strefie wyżyn – Wieniec) stwierdzono bardzo dobrą jakość wody (I klasa). Dobłą jakością (II klasa) charakteryzował się Świerszcz położony na Roztoczu oraz Kanał

Olszowiecki w Kampinosie. Pozostałe 3 ciekі (Czarna Hańcza, Struga Toruńska i Różany Strumień) zaklasyfikowano do najgorszej klasy jakości wody (Tab. 24). Na obniżenie jakości wody do klasy poniżej dobrego stanu zadecydowały głównie podwyższone stężenia przewodności wody, stężenia chlorków, wapnia i magnezu. Zły stan chemiczny niektórych cieków może wynikać z poddawania zlewni i strefy przykorytowej względnie silnej antropopresji, związanej m.in. z urbanizacją (np. Różany Strumień) lub rolnictwem (np. Struga Toruńska). Niekorzystny stan chemiczny wód Czarnej Hańczy potencjalnie może być spowodowany położeniem miasta Suwałki powyżej profilu pomiarowego w Sobolewie (Krzysztofiak i in. 2020).

Tab. 24. Jakość wód płynących w 2019 roku wg wybranych elementów fizykochemicznych (Rozporządzenie Ministra Środowiska, z dnia 21 lipca 2016 r.)

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	Stan chemiczny
	[°C]	[mg·dm ⁻³]		[-]	[mS· m ⁻¹]	[mg·dm ⁻³]								
Wolin (Lewińska Struga)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1 bardzo dobra	dobry
Parsęta (Parsęta)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1 bardzo dobra	dobry
Wigry (Czarna Hańcza)	1	1	1	PSP/ PPD	PSP/ PPD	2	PSP/ PPD	1	PSP/ PPD	1	2	1	PSP/PPD	poniżej dobrego
Pojezierze Chełmińskie (Struga Toruńska)	1	1	1	1	PSP/ PPD	PSP/ PPD	PSP/ PPD	2	PSP/ PPD	PSP/ PPD	PSP/ PPD	1	PSP/PPD	poniżej dobrego
Poznań-Morasko (Różany Strumień)	1	1	1	1	PSP/ PPD	PSP/ PPD	1	1	PSP/ PPD	1	1	1	PSP/PPD	poniżej dobrego
Kampinos (Kanał Olszowiecki)	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2 dobra	dobry
Łysogóry (Wieniec)	1	1	1	PSP/ PPD	1	1	1	1	1	1	1	1	1 bardzo dobra	dobry
Roztocze (Świerszcz)	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2 dobra	dobry
Beskid Niski (Bystrzanka)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1 bardzo dobra	dobry
Karkonosze (Wrzosówka)	1	1	1	PSP/ PPD	1	1	1	1	1	1	1	1	1 bardzo dobra	dobry

Ocenę jakości wód jeziornych zlewni ZMŚP dokonano w oparciu o wybrane (nie wszystkie) wskaźniki fizykochemiczne zawarte w Rozporządzeniu Ministra Środowiska (2016):

- 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 2019 roku pozwoliła na zakwalifikowanie jezior: Gardno (Stacja Wolin), Czarne (Stacja Parsęta), Łękek (Stacja Puszcza Borecka) oraz Kamionkowskie (Stacja Pojezierze Chełmińskie) do bardzo dobrej klasy jakości wody (Tab. 25).

Tab. 25. Jakość wód stojących w 2019 roku wg wybranych elementów fizykochemicznych (Rozporządzenie Ministra Środowiska 2016)

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

Zagrożenie eutrofizacją wód powierzchniowych

Eutrofizacja jest naturalnym procesem przyrodniczym, który w przypadku oligotroficznych jezior polodowcowych oznacza proces stopniowego, wieloletniego użytkowania 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. 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 i nadmierny wzrost niepożądanych organizmów żywych, zarówno w wodach jeziornych jak i rzecznych. „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 wodnej 2000/60/WE.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z 23 grudnia 2002 roku, w sprawie kryteriów wyznaczania wód wrażliwych na zanieczyszczenie związkami azotu ze źródeł rolniczych, określa wartości graniczne podstawowych wskaźników eutrofizacji dla różnych typów wód.

W 2019 roku w żadnym z monitorowanych cieków nie stwierdzono przekroczenia progowej wartości stężenia fosforu ogólnego P_{og} , $0,25 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (Tab. 26). W przypadku azotu azotanowego N-NO_3^- , w 2019 roku zanotowano niższe niż w poprzednich latach stężenia w dwóch zlewniach podlegających silniejszej antropopresji (Strugi Toruńskiej i Rózanego Strumienia). W związku z powyższym, w żadnym monitorowanym cieku dopuszczalne stężenia ($2,2 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) nie zostały przekroczone.

Tab. 26. Wskaźniki eutrofizacji rzek w Stacjach ZMŚP w 2019 roku

Stacja – ciek	P_{og} [$\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$]	N-NO_3^- [$\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$]	NO_3^- [$\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$]
Wolin – Lewińska Struga	0,014	0,10	0,44
Parsęta – Parsęta	0,052	1,34	5,90
Wigry – Czarna Hańcza Ujście	0,106	1,81	7,96
Poj. Chełmińskie – Struga Toruńska	0,199	1,26	5,54
Poznań-Morasko – Różany Strumień	0,005	1,66	7,30
Kampinos – Kanał Olszowiecki	0,022	0,35	1,54
Łysogóry – Wieniec	0,021	0,85	3,74
Roztocze – Świerszcz Malowany Most	0,046	0,17	0,75
Beskid Niski – Bystrzanka	0,022	1,20	5,28
Karkonosze – Wrzosówka	0,005	0,16	0,70

W Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych, z dnia 20 sierpnia 2008 roku za wartość progową eutrofizacji wód jeziornych niestratyfikowanych uznano stężenia fosforu ogólnego P_{og} .

powyżej $0,1 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Powyższa wartość progowa, podobnie jak w latach wcześniejszych, w 2019 roku nie została przekroczona w żadnym z badanych jezior (Tab. 27), a zatem nie stwierdzono zagrożenia eutrofizacją badanych jezior.

Tab. 27. Wskaźniki eutrofizacji jezior w Stacjach ZMŚP w 2019 roku

Stacja jezioro	P _{og.} [$\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$]
Wolin – Jezioro Gardno	0,009
Parsęta – Jezioro Czarne	0,007
Puszcza Borecka – Jezioro Łękuk	0,028
Pojezierze Chełmińskie – Jezioro Kamionkowskie	0,021

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. 1994; Grodzińska, Laskowski 1996; Mazurek 2000). Przy określaniu bilansu denudacyjnego zlewni niezbędne jest określenie dopływu i odpływu ładunku substancji rozpuszczonych, będących funkcją ilości wody i stężenia substancji chemicznych (Michalska, Szpikowski 2000). Dopływ materii rozpuszczonej mierzony jest za pomocą ładunku substancji chemicznych wnoszonego poprzez wody opadowe (Szpikowska 2004). Natomiast odpływ analizowany jest za pomocą pomiarów ładunku substancji rozpuszczonych w cieku odwadniającym obszar zlewni. Ilość materii odpływającej w korycie rzeczonym jest przybliżonym odbiciem aktualnych procesów geochemicznych zachodzących na obszarze zlewni (Froehlich 1982; Kostrzewski, Pulina 1992; Kostrzewski i in. 1994; 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

2019 roku, który stanowi różnicę ładunku substancji rozpuszczonych wnoszonego z wodami opadowymi i odpływającego w wodach rzecznych (Tab. 28). W bilansie denudacyjnym uwzględniono tylko jony mierzone zarówno w wodach opadowych, jak i rzecznych. Uwzględniono jony, których głównym źródłem jest denudacja chemiczna (SO_4 , Cl, Na, Mg, Ca) oraz dostawa biogeniczna (NO_3 , NH_4 , K). Analiza bilansu denudacyjnego została przeprowadzona dla zlewni monitorowanych od źródła cieków 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.

W 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, Parsęta oraz Wigry. 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. Pojezierze Chełmińskie, Kampinos, Łysogóry. W tych zlewniach sezonowo dochodziło do zaniku odpływu fluwialnego, dlatego bilans jonów denudacyjnych cechował się bilansem dodatnim, co było sytuacją anormalną.

Dla jonów biogennych w poprzednich latach ujemny bilans stwierdzono w zlewniach o znacznym udziale gruntów rolnych (Pojezierze Chełmińskie, Parsęta, 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.

W 2019 roku sytuacja hydrometeorologiczna kształtująca bilans wodny i warunki obiegu wody, a także krążenia materii rozpuszczonej w zlewniach ZMŚP nawiązywała do prawidłowości wieloletniej. Ekstremalnie niskie odpływy rzeczne w zlewniach w strefie wyżynnej spowodowały dodatni bilans jonów denudacyjnych. W przypadku świętokrzyskiej zlewni Wieńca anomalnie dodatni bilans ($82,4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) stanowi podtrzymanie stanu z roku ubiegłego, natomiast w roztoczańskej zlewni Świerszcza dodatni bilans jonów denudacyjnych ($16,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) zanotowano po raz pierwszy. W 2019 roku dodatni bilans jonów biogenych wystąpił w większości zlewni (np. Świerszcz $18,9 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, Wrzosówka $15,2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, Kanał Olszowiecki $12,6 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), poza zlewniami górnej Parsęty i Bystrzanki, w których dostawa biogenów z opadami atmosferycznymi była niższa niż ich odpływ systemem rzeczny (bilans $-24,2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ w Parsęcie i $-2,7 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ w Bystrzance). Wysoki dodatni bilans jonów biogenych występował w zlewniach najbardziej zalesionych, natomiast ujemny, bądź niski dodatni bilans nutrientów związany był z wprowadzaniem nutrientów w związku z nawożeniem gruntów ornych. Najniższe wartości całkowitego bilansu materii rozpuszczonej (Tab. 28) stwierdzono w zlewniach podlegających największej dynamice energii (woda) i materii (substancje rozpuszczone): Parsęta $-348,8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, Poznań Morasko $-254,2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ i Beskid Niski $-235,9 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. W tych zlewniach obieg energii (wody) i materii (substancji rozpuszczonych) w 2019 roku był najmniej zaburzony w odniesieniu do prawidłowości wieloletniej. Odmienna, anormalna sytuacja wystąpiła w Łysogórach ($86,9 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) i na Roztoczu ($35,4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), gdzie całkowity bilans obiegu materii był dodatni. W 2019 roku dodatni bilans stwierdzono w dwóch kolejnych zlewniach: Lewińskiej Strugi (Wolin) oraz Wrzosówki (Karkonosze). Dodatni bilans materii rozpuszczonej w tych zlewniach był skutkiem niskiego odpływu rzeczno, 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. W przypadku Świerszcza i Wrzosówki istotny wpływ miał duży udział lasów w zlewni. Ponadto, w Wieńcu, znaczna ilość wody została wykorzystana do celów gospodarczych, co skutkowało brakiem odpływu rzeczno w okresie letnim. Niektóre zlewnie (Różany Strumień, Kanał Olszowiecki), pomimo okresowego braku odpływu fluwialnego w półroczu letnim, posiadały ujemny bilans denudacyjny.

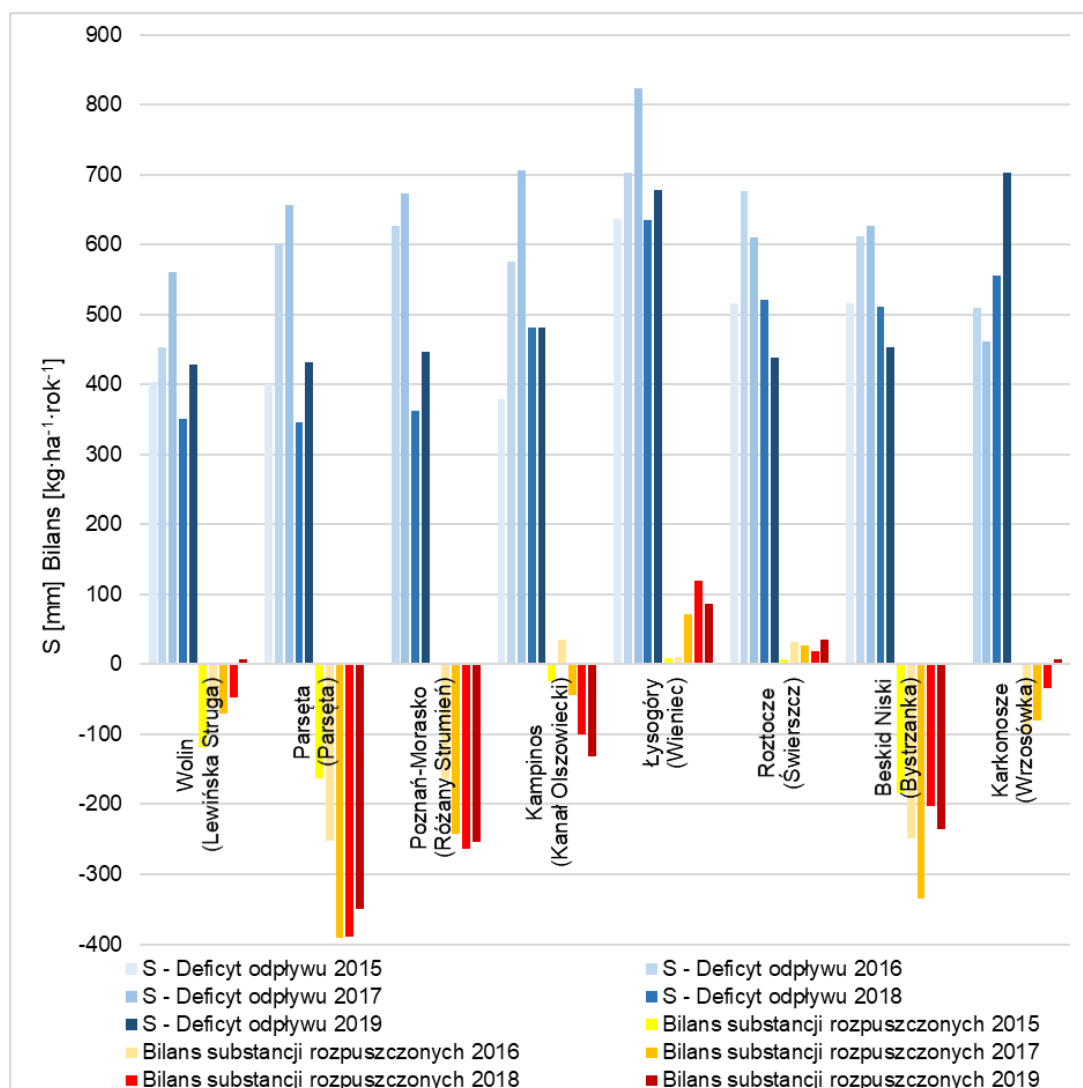
Tab. 28. Bilans jonów denudacyjnych i biogenicznych w zlewniach badawczych ZMŚP w 2019 roku

Stacja (zlewnia)	Wolin (Lewińska Struga)	Parsęta (Parsęta)	Poznań-Morasko (Różany Strumień)	Kampinos (Kanał Olszowiecki)	Łysogóry (Wieniec)	Roztocze (Świerszcz)	Beskid Niski (Bystrzanka)	Karkonosze (Wrzosówka)
Składowe obiegu wody [mm]								
P – Opad atmosferyczny	523,8	688,6	467,5	483,4	710,2	459,5	754,3	930,6
H _{pow} – Odpływ powierzchniowy	95,1	255,9	20,9	2,2	31,3	20,5	301,3	227,5
S – Deficyt odpływu	428,7	432,7	446,6	481,3	678,9	439,0	453,0	703,1
Bilans jonów denudacyjnych [kg·ha⁻¹]								
SO ₄ ²⁻	-0,3	-84,7	-57,3	-56,2	45,4	10,9	-53,4	-5,0
Cl ⁻	3,4	-18,6	-54,9	-10,7	10,9	3,1	-19,7	0,4
Ca ²⁺	-5,1	-194,1	-110,6	-64,6	16,9	1,8	-113,8	-2,4
Mg ²⁺	-0,6	-14,0	-10,0	-6,8	3,4	0,3	-15,6	-0,6
Na ⁺	2,4	-15,9	-28,0	-5,5	5,9	0,5	-30,7	-0,1
Bilans JD	0,0	-327,3	-260,8	-143,8	82,4	16,5	-233,2	-7,6
Bilans jonów biogenicznych [kg·ha⁻¹]								
NO ₃ ⁻	0,6	-15,2	3,8	8,5	3,8	14,2	4,4	10,6
NH ₄ ⁺	3,7	-0,7	4,8	4,2	0,1	3,6	2,9	4,7
K ⁺	2,6	-5,6	-2,0	-0,1	0,6	1,0	-10,0	-0,1
Bilans JB	6,9	-21,5	6,6	12,6	4,5	18,9	-2,7	15,2
Bilans materii rozpuszczonej [kg·ha⁻¹]								
Bilans JD+JB	6,9	-348,8	-254,2	-131,2	86,9	35,4	-235,9	7,6

Analiza deficytu odpływu i dodatnia lub ujemna wartość bilansu denudacyjnego z ostatniego pięciolecia 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 i Bystrzanka. W tych geoeosystemach pomimo różnych uwarunkowań meteorologicznych (rok 2015 suchy, rok 2016 normalny lub wilgotny, rok 2017 wilgotny i lata 2018 i 2019 ponownie suche) ujemny kierunek bilansu denudacyjnego był zachowany, a coroczne różnice ilościowe nie były drastyczne. Z kolei za niestabilne uznano zlewnie o dodatnim bądź zmiennym kierunku bilansu denudacyjnego: Lewińska Struga, Kanał Olszowiecki, Wieniec, Świerszcz i Wrzosówka. W geoeosystemach Wieńca i Świerszcza o niestabilności świadczy ich dodatni bilans, który jest przejawem

pewnych zaburzeń w obiegu wody, zwłaszcza w postaci bardzo niskiego odpływu fluwialnego. W przypadku Wieńca o niskim odpływie decyduje głównie antropogeniczny pobór wody z cieków. Natomiast w przypadku Świerszcza o relatywnie niskim odpływie wody decydowała duża „chłonność” zlewni (znaczną powierzchnię zajmują torfowiska) oraz działalność bobrów i obecność wielu zbiorników przepływowych (stawów) na cieku. W pozostałych trzech geoelementach uznanych za niestabilne kierunek bilansu denudacyjnego w latach 2015-2019 był zmienny (dodatni lub ujemny). W przypadku Lewińskiej Strugi oraz Wrzosówki, obie te zlewnie dotychczas były uznawane za geoelementy stabilne, bowiem dodatni bilans denudacyjny wystąpił tylko w 2019 roku. Z kolei w zlewni Kanału Olszowieckiego dodatni bilans miał miejsce jedynie w 2016 roku, a od 3 lat bilans systematycznie się zmniejsza, co, przy zachowaniu tej tendencji, stwarza możliwość uznania ten geoelement za stabilny w kolejnych latach.



Ryc. 21. Deficyt odpływu wody i bilans substancji rozpuszczonych w zlewniach ZMŚP w latach 2015-2019

Wśród badanych geoeosystemów można dokonać pewnej waloryzacji względnej, gdzie za wysokoenergetyczne można uznać zlewnie o średnim 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. Natomiast zlewnie Świerszcza i Wieńca można zaliczyć do geoeosystemów niskoenergetycznych $\leq \pm 50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$, z kolei zlewnie Lewińskiej Strugi, Wrzosówki 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 indykator nadmiernego wprowadzania biogenów (z nawozami i ściekami bytowymi) do środowiska przyrodniczego.

7. WPLYW UWARUNKOWAŃ ABIOTYCZNYCH NA PRZYRODĘ OŻYWIONĄ W GEOEKOSYSTEMACH ZMŚP W 2019 ROKU

Wpływ uwarunkowań abiotycznych (związanych ze zmiennością warunków pogodowych oraz właściwościami fizycznogeograficznymi badanych geosystemów) na potencjalny stan przyrody ożywionej obejmuje charakterystykę m.in. występowania w 2019 roku termicznych pór roku i sezonu wegetacyjnego. Przedstawiono także syntetyczne wyniki realizacji programów ZMŚP w 2019 roku dotyczące:

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

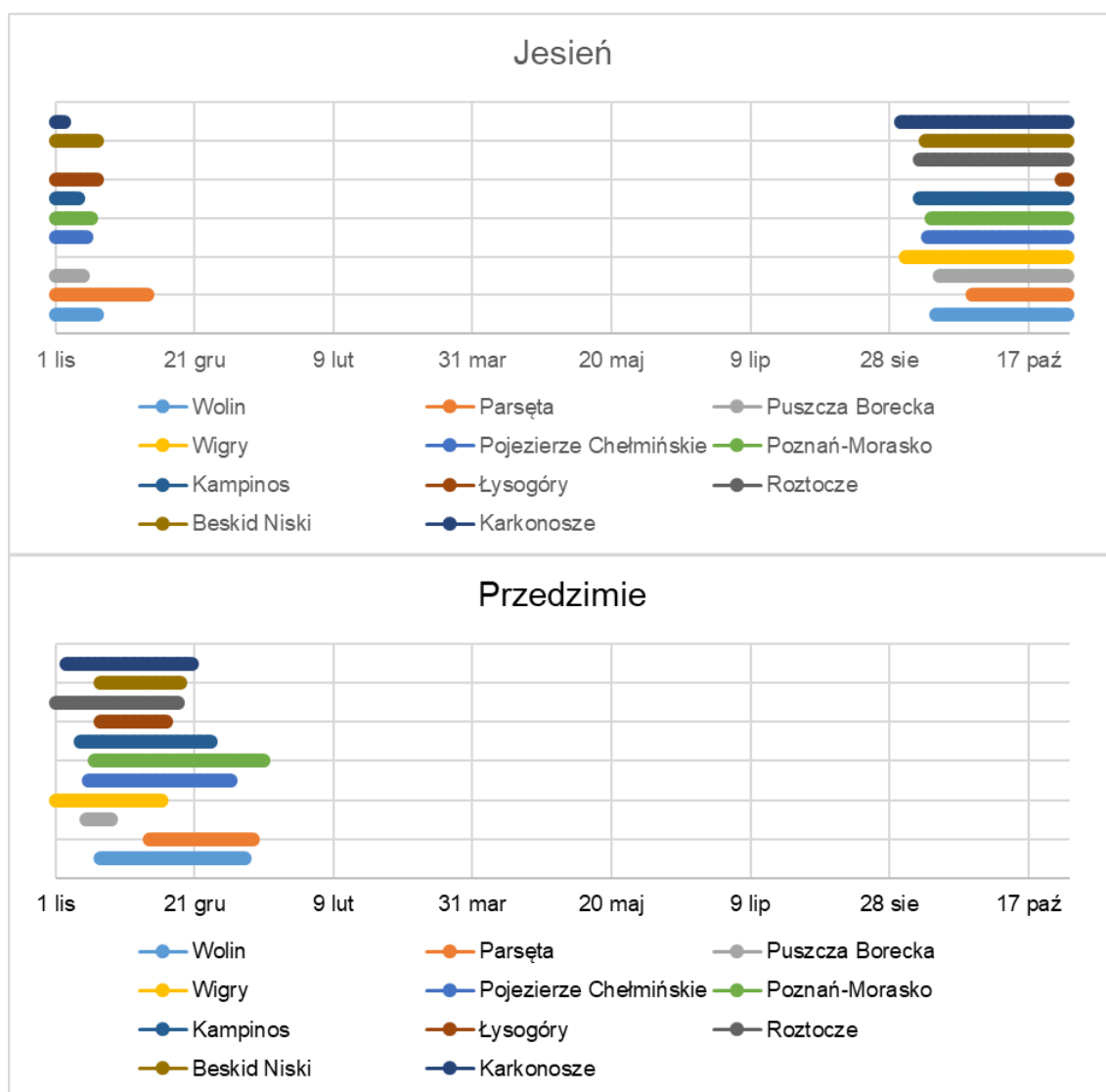
7.1. Termiczne pory roku

Wyjątkowe na tle wielolecia warunki cieplne w 2019 roku znalazły odzwierciedlenie w długości trwania poszczególnych termicznych pór roku, jednak w stosunku do równie ciepłego 2018 roku, zmniejszyły się dysproporcje czasu trwania termicznych pór roku. W dwóch stacjach położonych w Polsce północnozachodniej (Wolin i Parsęta) nie stwierdzono termicznej zimy. W pozostałych zlewniach ZMŚP stwierdzono występowanie wszystkich 6 termicznych pór roku (Ryc. 22). Zdecydowanie najdłuższą trwającą porą roku było lato (113 dni), a najkrócej przedwiośnie (40 dni) i przedzimie (41 dni). 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 zlewni nadmorskiej (Stacja Wolin), w zlewni położonej w Polsce północnowschodniej w Puszczy Boreckiej i w zlewni górskiej w Karkonoszach. Czynniki lokalne związane z oddziaływaniem Bałtyku, wyniesieniem nad poziom morza decydowały o pewnej specyfice długości termicznych pór roku i terminach ich występowania. W Karkonoszach było najkrótsze lato (89 dni), z kolei najdłuższa zima wystąpiła w Puszczy Boreckiej (101 dni). Brakiem termicznej zimy wyróżniały się wybrzeże Bałtyku oraz zlewnia górnej Parsęty (Ryc. 23).

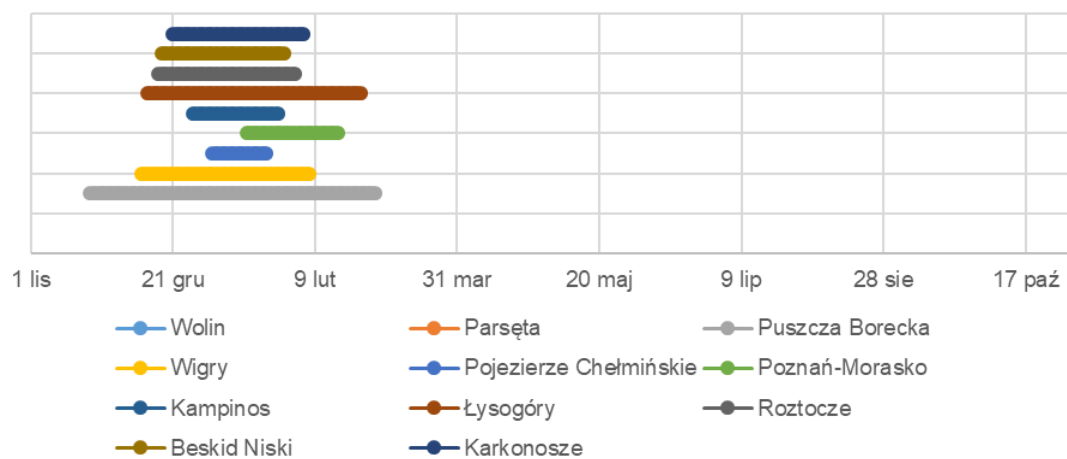
Czas trwania termicznych pór roku generalnie nawiązywał do prawidłowości wieloletniej. Korzystne warunki termiczne dla rozwoju roślinności występowały od początku termicznej wiosny do końca termicznej jesieni. W większości badanych zlewni (poza Parsętą,

Puszcą Borecką i Łysogórami) termiczna wiosna rozpoczęła się w marcu. W zlewni górnej Parsęty wiosna rozpoczęła się najwcześniej, 18 lutego, z kolei najpóźniej rozpoczęła się w Puszczy Boreckiej (2 kwietnia) i w Górach Świętokrzyskich (18 kwietnia). We wszystkich badanych geoekosystemach termiczna jesień trwała do końca roku hydrologicznego. W rozkładzie czasowym termicznych pór roku wyróżnia się stosunek czasu trwania skrajnych termicznych pór roku. Stwierdzono ponad dwukrotnie dłuższy średni czas trwania termicznego lata (113 dni) niż średni czas trwania zimy (51 dni). Jednakże w ostatnich latach taka sytuacja jest typowa dla klimatu Polski.

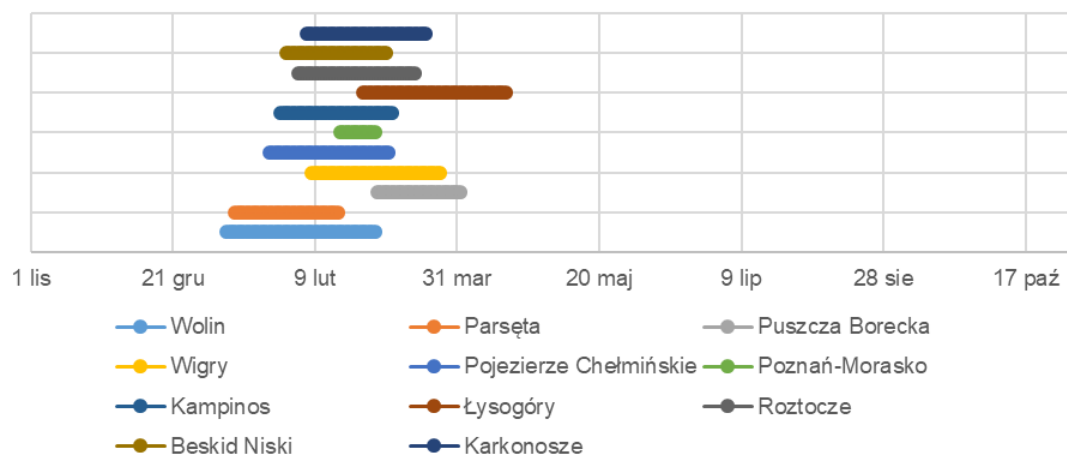
Reasumując, można stwierdzić, że występowanie termicznych pór roku (czas trwania, daty początku wiosny i końca jesieni) były sprzyjające dla przyrody ożywionej oraz przełożyły się na dogodne warunki występowania sezonu wegetacyjnego i okresu dojrzewania roślin.



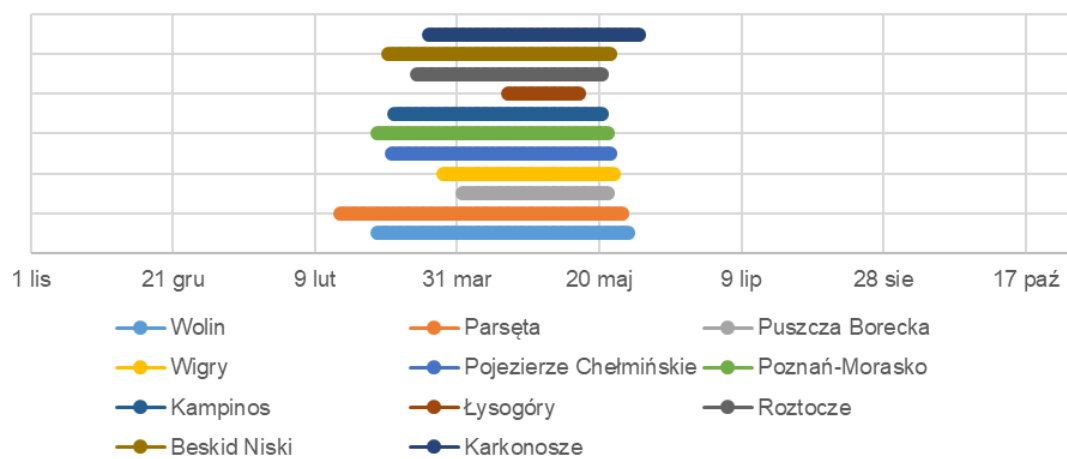
Zima

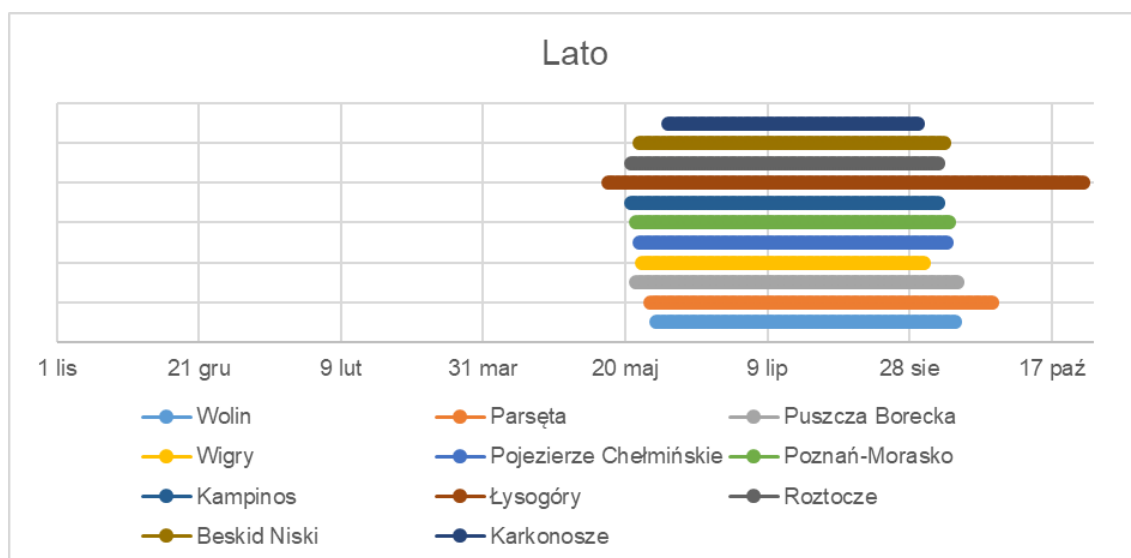


Przedwiośnie

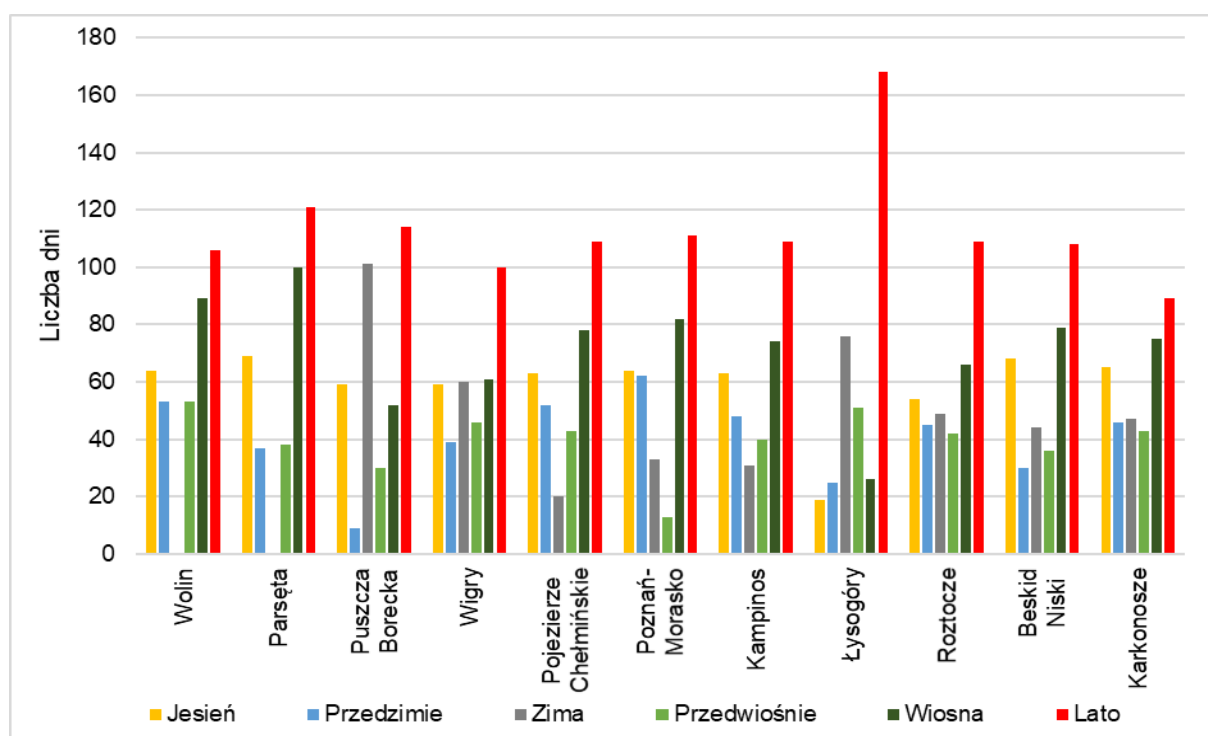


Wiosna





Ryc. 22. Przebieg termicznych pór roku w zlewniach badawczych ZMŚP w 2019 roku



Ryc. 23. Czas trwania termicznych pór roku w zlewniach badawczych ZMŚP w 2019 roku

7.2. Sezon wegetacyjny

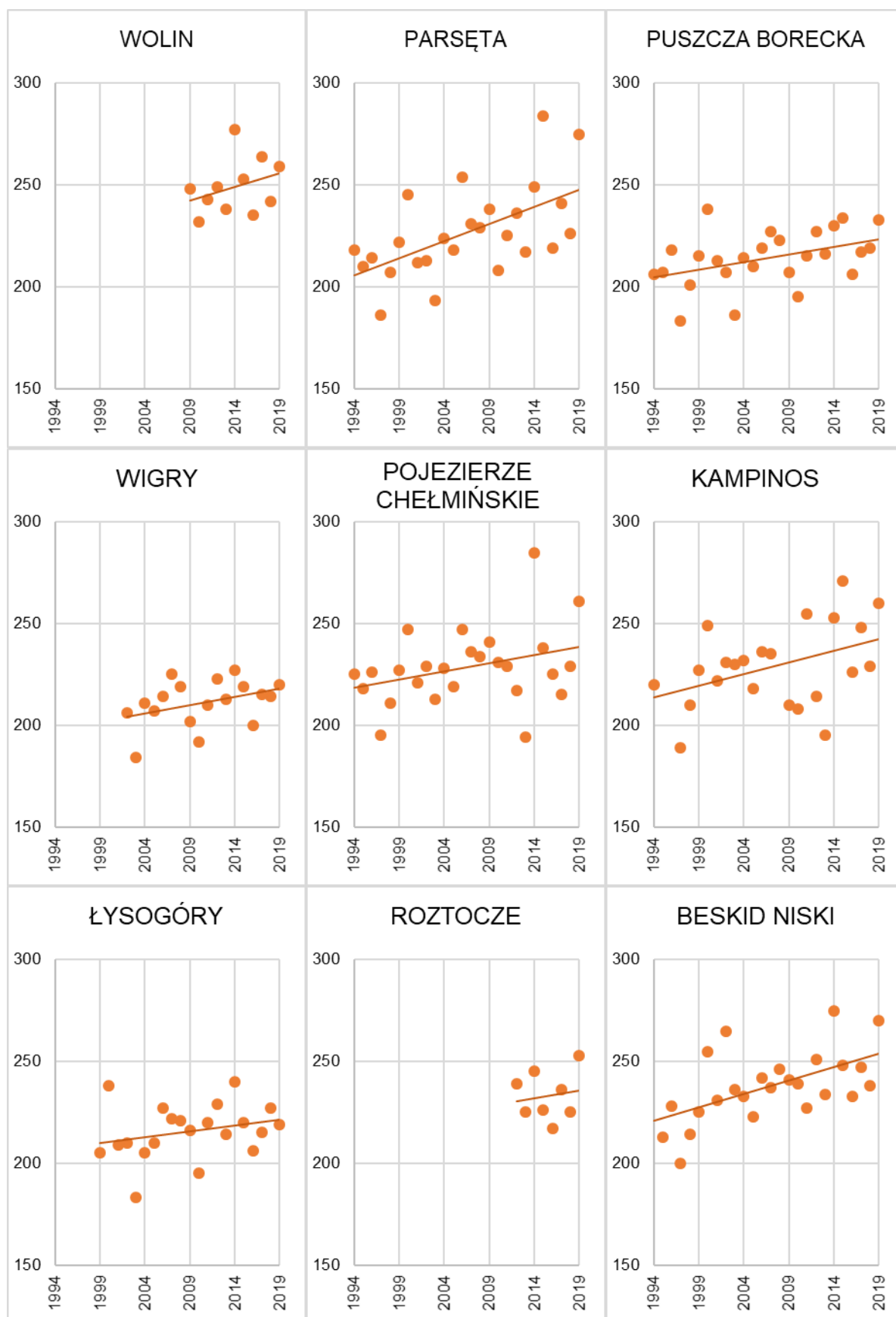
Rok 2019 był suchy i wyjątkowo ciepły, co skutkowało długim czasem trwania sezonu wegetacyjnego (Tab. 29), jednak w związku z niską sumą opadów, niekoniecznie sprzyjającym rozwojowi roślinności. Okres wegetacyjny trwał średnio 251 dni, od 219 dni w Łysogórach do 275 dni na Pojezierzu Drawskim (Parsęta). Natomiast czas trwania sezonu intensywnej wegetacji o średniej dobowej temperaturze powietrza $\geq 10^{\circ}\text{C}$ był w całej Polsce

bardziej zróżnicowany, od 163 dni w Poznaniu i Karkonoszach do 218 dni w zlewni górnej Parsęty. W 2019 roku czas trwania sezonu wegetacyjnego był zbliżony w poszczególnych strefach krajobrazowych, z wyjątkiem strefy wyżynnej (Łysogóry i Roztocze), gdzie trwał najkrócej – 236 dni. Z kolei najdłużej trwał w strefie nizin śródkowopolskich – 260 dni i w strefie nadmorskiej – 259 dni. Rok 2019 był ciepły, bardzo ciepły, a nawet anomalnie ciepły (Wolin, Poznań-Morasko) i ekstremalnie ciepły (Karkonosze), co miało swoje odzwierciedlenie w długości trwania okresu wegetacyjnego. Trwał on dłużej niż w latach poprzednich (krócej jedynie niż w 2014 roku). Wysoka średnia roczna temperatura miała również odzwierciedlenie w wyjątkowo długim czasie trwania okresu intensywnej wegetacji, który utrzymał się na poziomie z 2018 roku (krótszy o 3 dni).

Tab. 29. Sezon wegetacyjny w zlewniach badawczych ZMŚP w 2019 roku

Stacja	Strefa krajobrazowa	Okres wegetacyjny	Okres intensywnej wegetacji
Wolin	nadmorska	259	193
Parsęta	pojezierzy	275	218
Puszcza Borecka		233	215
Wigry		220	165
Pojezierze Chełmińskie		261	181
Poznań-Morasko		274	163
Kampinos	nizin	260	184
Łysogóry	wyżyn	219	170
Roztocze		253	179
Beskid Niski	gór średnich	270	189
Karkonosze		238	163

Wieloletnie obserwacje sezonu wegetacyjnego w Stacjach Bazowych ZMŚP wskazują na wyraźne wydłużanie się czasu jego trwania. Istotny statystycznie trend wydłużania się okresu wegetacyjnego ($p < 0,05$) stwierdzono dla 3 Stacji: Parsęty, Puszczy Boreckiej i Beskidu Niskiego. W ciągu ostatnich 20 lat, w wymienionych zlewniach czas trwania okresu wegetacyjnego wydłużyła się od 23 dni w Puszczy Boreckiej, przez 37 dni w Beskidzie Niskim do 42 dni w zlewni górnej Parsęty (Ryc. 24). Wydłużający się okres wegetacji świadczy o coraz korzystniejszych warunkach termicznych dla rozwoju roślinności, w przeciwieństwie do warunków opadowych, charakteryzujących się coraz wyższą frekwencją występowania lat suchych (por. rozdział 5.1.).



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

Warunki termiczne w 2019 roku były zatem wyjątkowo korzystne dla rozwoju roślinności, czego nie można powiedzieć o warunkach opadowych. Podobnie, jak w roku 2018, w większości monitorowanych zlewni zanotowano wystąpienie przynajmniej jednej suszy meteorologicznej (okres bezdeszczowy trwający przynajmniej 15 dni), występowały też fale upałów, które wzmacniały ewapotranspirację i ograniczenie dostępności wody dla roślinności.

7.3. Zanieczyszczenie powietrza

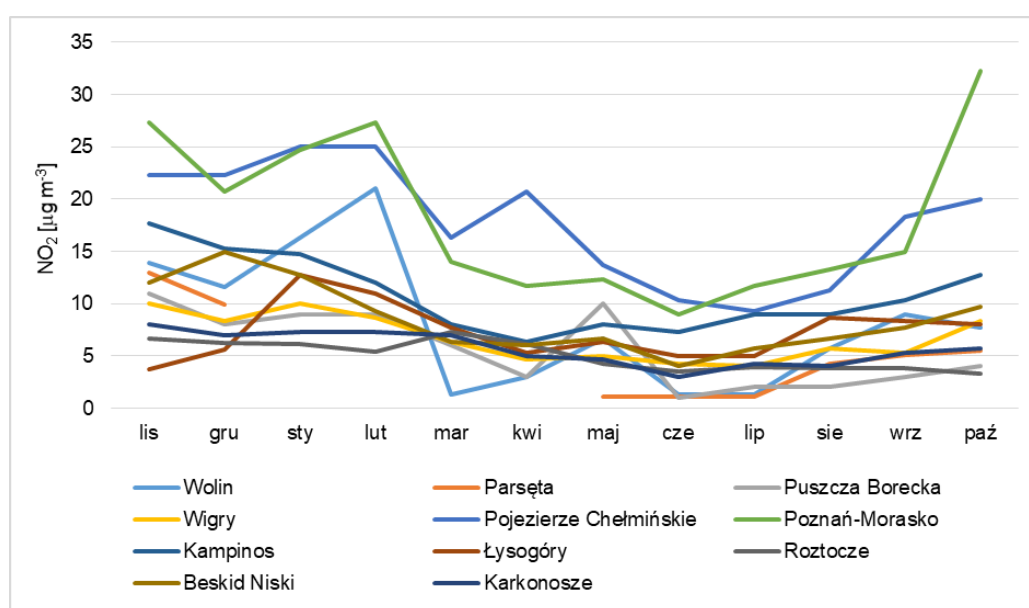
Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 roku w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. z 2012 r. poz. 1031) poziomy dopuszczalne stężenia substancji w powietrzu wynoszą: $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ SO_2 dla roku i pory zimowej (od 1 X do 31 III) oraz $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ NO_2 dla roku. Średnie roczne stężenia dwutlenku azotu i dwutlenku siarki w powietrzu atmosferycznym w 2019 roku hydrologicznym były zbliżone do wartości z lat poprzednich, a dopuszczalne stężenia nie zostały przekroczone w żadnej Stacji Bazowej (Tab. 30). Roczny przebieg stężeń dwutlenku siarki oraz dwutlenku azotu charakteryzował się występowaniem wyższych wartości w półroczu zimowym, w trakcie trwania sezonu grzewczego (Ryc. 25, Ryc. 26).

Tab. 30. Zanieczyszczenie powietrza - średnie roczne stężenie SO_2 i NO_2 [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] w zlewniach badawczych ZMŚP w 2019 roku

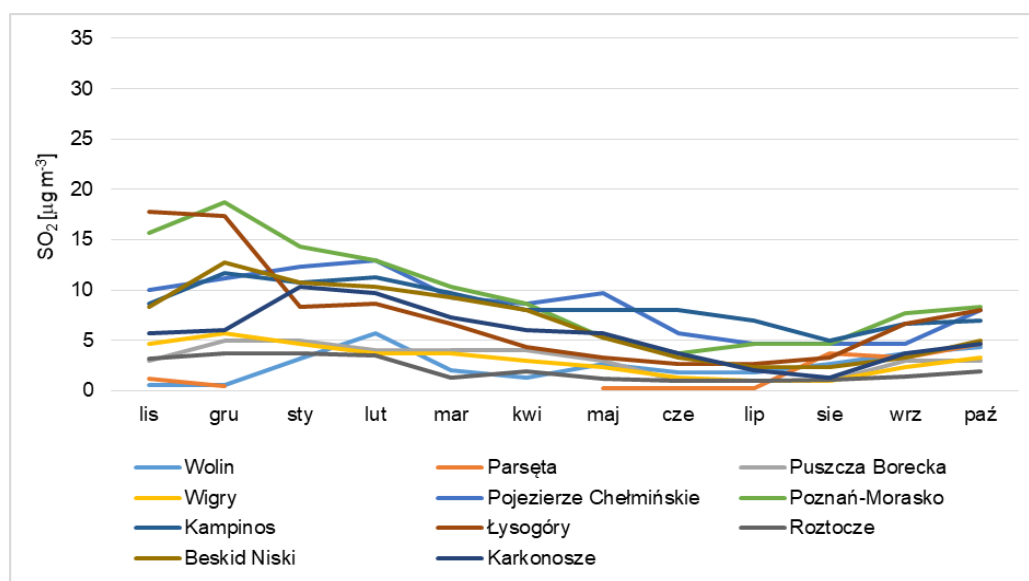
Stacja	Strefa krajobrazowa	NO_2 [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]	SO_2 [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]
Wolin	nadmorska	8,2	2,5
Parsęta	pojezierzy	5,7	2,3
Puszcza Borecka		6,0	3,0
Wigry		6,7	3,1
Pojezierze Chełmińskie		17,9	8,5
Poznań-Morasko		18,3	9,6
Kampinos	nizin	10,9	8,5
Łysogóry	wyżyn	7,3	7,5
Roztocze		5,0	2,0
Beskid Niski	gór średnich	9,0	6,9
Karkonosze		5,7	5,5

Dobry stan jakości powietrza wpływał pozytywnie na stan przyrody ożywionej. Najwyższe stężenia NO_2 i SO_2 , sporadycznie zbliżające się do wartości normatywnych stwierdzono w Stacji Poznań-Morasko położonej w sąsiedztwie miasta Poznania i w Stacji

Pojezierze Chełmińskie położonej w sąsiedztwie Torunia. Oddziaływanie miast (Poznania i Torunia) na stan powietrza atmosferycznego było niekiedy negatywne, gdyż w sezonie zimowym normy stężenia SO_2 były podwyższone. Generalnie najbardziej zanieczyszczone pod względem jakości powietrza zlewnie znajdowały się w pobliżu dużych aglomeracji miejskich (Pojezierze Chełmińskie, Poznań-Morasko, Kampinos). Pod względem stężenia dwutlenku siarki, najmniejsze notowano w Polsce północnej (Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka i Wigry) oraz na Roztoczu, najmniejsze stężenia dwutlenku azotu zarejestrowano w również w Polsce północnej (Parsęta, Puszcza Borecka i Wigry) oraz na Roztoczu i w Karkonoszach.



Ryc. 25. Średnie miesięczne stężenia NO_2 w 2019 roku w zlewniach badawczych ZMŚP



Ryc. 26. Średnie miesięczne stężenia SO_2 w 2019 roku w zlewniach badawczych ZMŚP

7.4. Uszkodzenia drzew i drzewostanów

Zmiany klimatyczne, a w szczególności tendencja do wzrostu temperatury powietrza i okresy susz, mogą negatywnie wpływać na stan drzewostanów, które będą bardziej podatne m.in. na gradacje szkodników. Niekorzystne warunki termiczno-opadowe w roku 2019 nie przełożyły się jednak na znaczące pogorszenie stanu drzewostanów w monitorowanych zlewniach w stosunku do lat wcześniejszych (np. do lat 2016-2017 z lepszymi warunkami termiczno-opadowymi). Defoliacja i odbarwienie liści były wyższe w większości stacji niż w 2018 roku (np. Wigry, Roztocze), jednak nie były to zmiany znaczące. Badania zależności przyczynowo-skutkowych (warunki pogodowe danego roku na zdrowotność drzewostanów) wykazują duże opóźnienie w czasie. W większości badanych geoekosystemów 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). W drzewostanie zlewni Kanału Olszowieckiego (Kampinos) średnia defoliacja w suchym 2015 roku wyniosła (38%), w następnym normalnym pod względem opadów 2016 roku była wyższa o 11% (49%), a po dwóch latach, w wilgotnym 2017 roku wyniosła 38%. W kolejnym, suchym 2018 roku, defoliacja wyniosła 40%. Jednak w 2019 roku, mimo utrzymania się niskiej sumy rocznej opadów atmosferycznych, średnia defoliacja zmniejszyła się do 32% i jest niższa od średniej z okresu 2010-2019, wynoszącej 35%. Niekorzystne warunki meteorologiczne w ciągu dwóch lat (2018, 2019) mogą przynieść efekty w kolejnym, 2020 roku.

W większości monitorowanych zlewni w 2019 roku zarejestrowano lekką defoliację (11-25%, poziom ostrzegawczy). Wyjątkiem jest zlewnia Wrzosówki w Karkonoszach, gdzie defoliacja wyniosła zaledwie 4% i zaklasyfikowano ją do pierwszej klasy (0-10%, drzewostany zdrowe) oraz zlewnie Kanału Olszowieckiego, Wieńca, Świerszcza oraz jeziora Łękuk, gdzie wystąpiła średnia defoliacja (26-60%, drzewostany uszkodzone) (Tab. 31).

Analiza przestrzenna zdrowotności drzewostanów posiadała w 2019 roku wymiar regionalny, czego potwierdzeniem były wartości średniej defoliacji sosen w zlewni górnej Parsęty (17%), które były zbliżone dla sosny w wieku powyżej 60 lat z terenu RDLP Szczecinek – 21%, czy dla województwa zachodniopomorskiego – 19% (Szpikowski i in. 2020). 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 południowowschodniej części województwa zachodniopomorskiego, w zlewni górnej Parsęty średnia defoliacja sosny wyniosła w 2017 roku 17%, ale w północnozachodniej 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% w Stacji Wolin), a w 2019 roku defoliacja była już znacząco wyższa na Wolinie (27%) niż na Pojezierzu Drawskim (17%). 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.

Tab. 31. Średnia defoliacja w zlewniach ZMŚP w 2019 roku hydrologicznym

Stacja	Defoliacja [%]
Wolin	25,0
Parsęta	16,8
Puszcza Borecka	30,0
Wigry	16,5
Poznań-Morasko	13,0
Kampinos	32,0
Łysogóry	50,0
Roztocze	35,4
Beskid Niski	25,3
Karkonosze	4,0

7.5. Struktura i dynamika szaty roślinnej

Stan struktury szaty roślinnej odniesiono do jednego z wielu wskaźników, którym jest liczebność gatunków reprezentujących kategorię gatunków „starych lasów” (m.in. konwalijka dwulistna *Maianthemum bifolium*, korzeniówka pospolita *Monotropa hypopitys*, szczawik zajęczy *Oxalis acetosella*, kokoryczka okółkowa *Polygonatum verticillatum*). Badania struktur i dynamiki szaty roślinnej według metodyki zaproponowanej przez eksperta – prof. Juliana Chmiela wykonano po raz drugi (pierwsze kartowanie miało miejsce w 2016 roku). W tabeli 32 przedstawiono charakterystykę składu gatunków starych lasów w badanych zlewniach ZMŚP, która dobrze oddaje stan badanego zbiorowiska roślinnego. Na wszystkich monitorowanych powierzchniach stwierdzono niewielką zmianę zasobów gatunków starych lasów na przestrzeni 3 lat. Najbardziej bogate zasoby gatunków starych lasów występowały w strefie pojezierzy w Polsce północno-zachodniej (Puszcza Borecka i Wigry) oraz w strefie wyżynnej (Łysogóry i Roztocze). Szczególne bogactwo tych cennych gatunków występowało głównie na obszarze Parków Narodowych o mało zmienionych zbiorowiskach leśnych (Parki: Wigierski, Świętokrzyski i Roztoczański). W Parkach Narodowych, gdzie człowiek znacząco dokonał przebudowy drzewostanu, zasoby tych gatunków były skromne (Woliński

i Karkonoski). Najmniej bogate zasoby gatunków starych lasów albo wręcz ich brak miał miejsce w zlewniach poddanych silnej antropopresji rolniczej i urbanizacyjnej (Stacje Pojezierze Chełmińskie i Poznań-Morasko). Mała liczba gatunków starych lasów w zlewni górnej Parsęty wynikała ze specyficznie wybranej powierzchni badawczej, w której analizowana jest dynamika sukcesji roślinnej (w tym gatunków leśnych) po zaprzestaniu działalności rolniczej po 1990 roku.

We wszystkich monitorowanych zlewniach, w stosunku do roku 2016 nastąpiły niewielkie zmiany w zakresie struktury i dynamiki szaty roślinnej. Bardziej szczegółowe analizy będą możliwe po wykonaniu trzecich kartowań, zaplanowanych na 2022 rok.

Tab. 32. Charakterystyka składu gatunków starych lasów w zlewniach ZMŚP w 2016 i 2019 roku

Stacja	% składu gatunkowego		Liczba gatunków	
	2016	2019	2016	2019
Wolin	32	31	8	8
Parsęta	0	2	-	1
Puszcza Borecka	44	43	40	41
Wigry	39	39	31	27
Pojezierze Chełmińskie	0	0	-	-
Poznań-Morasko	2	2	1	1
Kampinos	23	24	5	5
Łysogóry	44	58	12	15
Roztocze	31	31	5	5
Beskid Niski	20	22	9	10
Karkonosze	33	33	6	6

7.6. 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 2019 roku zrealizowano badania patrolowe (obserwacje sprawdzające) występowania roślinnych gatunków inwazyjnych na obszarze całych zlewni badawczych w ramach

monitoringu ogólnego. W tabeli 33 przedstawiono charakterystykę występowania gatunków inwazyjnych w badanych zlewniach ZMŚP i dokonano względnej waloryzacji zagrożenia dla funkcjonowania rodzimej flory. Jako wartości graniczne pomiędzy małym, a dużym zagrożeniem ekspansji gatunków inwazyjnych w monitorowanych geoekosystemach przyjęto liczbę 10 gatunków występujących w zlewni. Monitoring ogólny gatunków inwazyjnych realizowany jest na wybranych kwadratach według siatki MGRS na terenie zlewni, dlatego też analizując liczbę gatunków inwazyjnych w badanych geoekosystemach, istotne jest uwzględnienie obserwacji z lat wcześniejszych, prowadzonych w innych częściach zlewni.

Pod względem występowania roślinnych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia najlepsza sytuacja występowała w obszarach chronionych, na terenach Parków Narodowych (Wolińskiego, Świętokrzyskiego i Karkonoskiego). 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).

Tab. 33. Występowanie roślinnych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia w zlewniach ZMŚP w latach 2016-2019 roku

Stacja Bazowa	Liczba gatunków w zlewni (monitoring ogólny)					Zagrożenie
	2016	2017	2018	2019	2016-2019 średnio	
Wolin	5	7	7	7	7	małe
Parsęta	18	18	19	43	25	duże
Puszcza Borecka	3	5	6	6	5	małe
Wigry	23	3	14	14	14	duże
Pojezierze Chełmińskie	68	68	8	8	38	duże
Poznań-Morasko	23	17	13	5	15	duże
Kampinos	-	20	20	16	19	duże
Łysogóry	8	8	7	7	8	małe
Roztocze	38	38	38	38	38	duże
Beskid Niski	-	2	2	6	3	małe
Karkonosze	5	7	7	5	6	małe

7.7. Hydrobiologia rzek – makrofity i hydromorfologiczna ocena koryt rzecznych

Uwarunkowania hydrometeorologiczne w 2019 roku miały duży wpływ na makrofitową i hydromorfologiczną ocenę koryt rzecznych. Ze względu na suszę na

niektórych fragmentach badanych cieków nie było wody, jednak przeprowadzone badania należy uznać za w pełni miarodajne, gdyż roślinność wodna była jeszcze w pełni widoczna i nie uległa wysuszeniu i zniszczeniu. Badania prowadzono w pełni sezonu wegetacyjnego (we wrześniu), który jest optymalnym okresem do badań makrofitowych i hydromorfologicznych. Był to jednak rok bardzo suchy i w okresie tym notowano bardzo niskie stany wód. Badania terenowe w 2019 roku przeprowadzono w czterech Stacjach Bazowych (w każdej zlewni na 3 stanowiskach): Puszcza Borecka (dopływ z jeziora Łękuk), Wigry (Czarna Hańcza), Łysogóry (Pokrzywianka i Czarna Woda) oraz Roztocze (Świerszcz). W ocenie hydrobiologii rzek wykorzystano opracowania Szoszkiewicza i in. (2019).

Na podstawie wyników badań terenowych, które dostarczyły informacji o składzie gatunkowym makrofitów oraz ich pokryciu na stanowiskach, obliczono Makrofitowy Indeks Rzeczny (MIR) (Szoszkiewicz i in. 2010). W celu oceny stanu ekologicznego badanych odcinków cieków obliczone wartości wskaźnika MIR odniesiono do wartości granicznych dla pięciu klas stanu ekologicznego, specyficznych dla różnych typów makrofitowych rzek, określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 30 października 2014 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych (Dz. U. 2014 poz. 1482).

Wartości wskaźnika MIR wahały się od 35,3 na stanowiskach Czarna Hańcza-Starorzecze oraz Czarna Hańcza-Ujście do 55,3 na stanowisku Świerszcz-środkowy odcinek. Trzy stanowiska zaklasyfikowano do bardzo dobrego stanu ekologicznego, sześć do dobrego i trzy do umiarkowanego stanu ekologicznego. W obrębie poszczególnych Stacji Bazowym ZMŚP występuje duża zgodność klas stanu ekologicznego, związana ze stosunkowo niewielką zmiennością wartości wskaźnika MIR w danej JCWP. Odchylenie standardowe indeksu MIR dla badanych zlewni wynosi odpowiednio: Świerszcz 2,50, Pokrzywianka i Czarna Woda 3,19, Czarna Hańcza 2,01 oraz dopływ z jeziora Łękuk 1,99 i jest znacznie niższe niż w poprzednim cyklu pomiarowym w 2016 roku. Podsumowując, rzeki na wszystkich stacjach bazowych zbadanych w 2019 roku należy uznać generalnie za niezdegradowane troficznie. Wyniki oceny stanu ekologicznego rzek były dość zbieżne w obydwu cyklach badawczych. Wartości wskaźnika MIR zmieniły się w zakresie od 3,4 do 20,3%, średnio 8,8% (w 5 przypadkach wzrosły a w 7 zmniejszyły się). Poskutkowało to poprawą klasy stanu ekologicznego z umiarkowanej na dobrą na stanowiskach Pokrzywianka-Serwis i dopływ z jeziora Łękuk-poniżej jeziora 1 oraz pogorszeniem klasy z dobrej na umiarkowaną na stanowiskach Pokrzywianka-Dębno oraz Czarna Hańcza-Starorzecze

i Czarna Hańcza-Ujście. Największy spadek wartości wskaźnika MIR zanotowano w górnym odcinku potoku Świerszcz, ze względu na zmianę warunków abiotycznych, spowodowaną powstaniem naturalnego spiętrzenia w wyniku działalności bobrów i rozrostem taksonów wskazujących na stagnującą wodę. Nie wpłynęło to jednak na klasyfikację stanu ekologicznego. Z kolei w przypadku Czarnej Hańczy na wszystkich trzech odcinkach odnotowano obniżenie wartości wskaźnika MIR, skutkujące na dwóch stanowiskach również obniżeniem klasy stanu ekologicznego. Przyczyną tego były najprawdopodobniej ponadnormatywne zrzuty z oczyszczalni ścieków, powodujące wzrost trofii wody oraz kumulację biogenów w osadach dennych. W porównaniu z poprzednim cyklem badań zaobserwowano znacznie mniejszą zmienność wskaźnika MIR w obrębie JCWP (średnio 4,40 w 2016 roku i 2,42 w 2019 roku). (Szozkiewicz i in. 2019).

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

Na tej podstawie oceniono stopień przekształcenia badanych odcinków rzecznych (12 odcinków w 4 zlewniach ZMŚP). Pod względem tego wskaźnika 9 odcinków zaklasyfikowano do stanu powyżej dobrego i były to te same odcinki, które otrzymały ocenę powyżej dobrego stanu naturalności siedliska z wyjątkiem dopływu z jeziora Łękuk (powyżej jeziora). Dwa odcinki zaklasyfikowano do trzeciej klasy naturalności, był to kolejny odcinek dopływu z jeziora Łękuk (poniżej jeziora 1). W obu przypadkach tej rzeki było to efektem prowadzonych w przeszłości prac regulacyjnych. Jeden odcinek został zaliczony do klasy piątej i podobnie jak w przypadku wskaźnika HQA była to rzeka Czarna Woda. Porównanie uzyskanych wyników z poprzednimi badaniami przeprowadzonymi w 2016 roku wskazuje na zmianę klasyfikacji stanu trzech odcinków rzecznych. W przypadku dwóch odcinków (Pokrzywianka–Dębno oraz dopływ z jeziora Łękuk–poniżej jeziora 2) ocena uległa podwyższeniu o jedną klasę do odpowiednio stanu dobrego i bardzo dobrego. Zmiany klas nastąpiły pomimo niewielkich zmian w wartościach wskaźników, które można uznać za naturalne i wynikające z naturalnej dynamiki środowiska rzecznej. Wyższe wartości wskaźnika HQA, które zdecydowały o wyższej klasie były efektem większej liczby naturalnych elementów morfologicznych oraz różnorodnością występujących grup roślin

wodnych. W przypadku odcinka Czarnej Hańczy zlokalizowanego w Sobolewie nastąpiło obniżenie oceny o jedną klasę. Było to spowodowane także niewielką zmianą wartości HQA. Niższa wartość tego wskaźnika wynikała z mniejszej liczby odnotowanych naturalnych elementów hydromorfologicznych. W porównaniu z rokiem 2016 nastąpiła znacząca przebudowa koryta rzeki na skutek której powstały liczne wyspy i odcinek rzeki wielokorytowej. Zredukowana została jednak liczba innych naturalnych elementów hydromorfologicznych. Na pozostałych odcinkach badawczych nie odnotowano zmian wartości wskaźników względem roku 2016 lub były one na tyle niewielkie, że nie wpłynęły na ostateczną klasyfikację (Szozkiewicz i in. 2019).

Stan geoekologiczny badanych geosystemów określono na podstawie niższej wartości otrzymanych wskaźników MIR i RHS. Do bardzo dobrego stanu geoekologicznego (1 klasa) zakwalifikowano Świerszcz, do dobrego stanu (2 klasa) Pokrzywiankę, a do umiarkowanego stanu (3 klasa) należały pozostałe dwa ciek: dopływ z jeziora Łękuk oraz Czarna Hańcza (Tab. 34).

Tab. 34. Wartości wskaźnika MIR, RHS i stan geoekologiczny koryt rzecznych w zlewniach ZMŚP (2019)

Stacja ZMŚP (ciek)	MIR	RHS	Stan geoekologiczny
Puszcza Borecka (dopływ z jeziora Łękuk)	2	3	umiarkowany
Wigry (Czarna Hańcza)	3	2	umiarkowany
Łysogóry (Pokrzywianka, Czarna Woda)	2	2	dobry
Roztocze (Świerszcz)	1	1	bardzo dobry

7.8. Zmiany pokrycia terenu i użytkowanie ziemi

Analizę zmian pokrycia terenu i użytkowania ziemi dokonano w stacjach na podstawie porównania mapy z 2019 roku z mapami z lat 2016 i 2010. Do porównania wykorzystano mapy wykonane na III poziomie szczegółowości CORINE Land Cover (EEA 2006). Ponadto w 2019 roku wykonano również mapy na IV poziomie szczegółowości CLC. We wszystkich 11 Stacjach Bazowych ZMŚP łącznie odnotowano w 2019 roku 24 klasy odpowiadające trzeciemu poziomowi szczegółowości CLC (o 9 więcej niż w 2010 roku, przy uwzględnieniu funkcjonujących wówczas 8 stacji). Najczęściej występującymi klasami, które pojawiają się w prawie każdej zlewni są: lasy mieszane (w 10 zlewniach, średnio 30,9% powierzchni

zlewni), lasy iglaste (w 9 zlewniach, średnio 27,4% powierzchni zlewni), lasy liściaste (w 10 zlewniach, średnio 10,9% powierzchni zlewni), murawy i pastwiska naturalne (w 9 zlewniach, średnio 7,8% powierzchni zlewni), lasy i roślinność krzewiasta w stanie zmian (w 10 zlewniach, średnio 6,3% powierzchni zlewni) oraz zabudowa miejska luźna (we wszystkich zlewniach, średnio 2,5% powierzchni zlewni). Stacjami, w których wyznaczono najwięcej klas pokrycia terenu i użytkowania ziemi są Wigry (18) oraz Parsęta (17), z kolei stacjami o najmniejszej liczbie klas są: Puszcza Borecka (7) oraz Wolin i Kampinos – po 8 klas (Tab. 35), co w pewnym stopniu związane jest z wielkością zlewni.

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 i Karkonoskim, gdzie nie zanotowano niemalże żadnych zmian. Natomiast względnie największe zmiany występowały w zlewniach nie posiadających żadnych form ochrony i poddanych antropopresji (np. Pojezierze Chełmińskie, Poznań-Morasko). Pozytywną tendencją był brak deforestacji badanych zlewni, a wręcz niewielki przyrost powierzchni leśnych. Natomiast pewnym zagrożeniem w niektórych zlewniach był wzrost udziału terenów przeznaczonych pod zabudowę i infrastrukturę komunikacyjną. Do najważniejszych zmian typów pokrycia terenu i użytkowania ziemi w monitorowanych geoekosystemach należą:

- zmiany w obszarze agrocenoz – grunty orne uległy przekształceniom w lasy oraz użytki zielone (Kampinos, Roztocze, Beskid Niski);
- przekształcenia lasów – zmiany struktury gatunkowej drzewostanów (Puszcza Borecka, Roztocze);
- wzrost powierzchni zajmowanej przez zabudowę nieciągłą, sieć drogową oraz obszarów przemysłowych lub handlowych w zlewniach poddanych silniejszą antropopresją, w głównej mierze kosztem gruntów ornych oraz użytków zielonych (Parsęta, Pojezierze Chełmińskie, Poznań-Morasko, Łysogóry). 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 odgrywała w obecnej dekadzie znaczącej roli w kształtowaniu stanu środowiska przyrodniczego badanych geoekosystemów.

Tab. 35. Klasy pokrycia terenu i użytkowania ziemi na obszarze zlewni badawczych Stacji Bazowych ZMŚP w roku 2019

Kod CLC	Klasa III poziomu CLC	Stacje Bazowe ZMŚP										
		Wolin	Parsęta	Puszcz Borecka	Wigry	Pojezierze Chełmińskie	Poznań-Morasko	Kampanos	Łysogóry	Roztocze	Beskid Niski	Karkonosze
		Udział w powierzchni zlewni [%]										
1.1.2	Zabudowa miejska luźna	0,06	1,79	0,20	0,19	2,19	10,40	1,27	0,98	2,93	2,13	4,86
1.2.1	Tereny przemysłowe lub handlowe		0,04		0,56	0,50	3,41		0,18		0,20	
1.2.2	Tereny komunikacyjne i związane z komunikacją drogową i kolejową	1,35	1,10		0,58	1,22	3,24		0,16		0,87	
1.3.1	Miejsca eksploatacji odkrywkowej		0,63		0,98	0,08						
1.3.2	Zwałowiska i hałdy				1,76							
1.3.3	Place budowy				0,04							
1.4.1	Tereny zielone		0,03			0,04	2,46				0,17	
1.4.2	Tereny sportowe i wypoczynkowe					0,03	0,33				0,08	
2.1.1	Grunty orne poza zasięgiem urządzeń nawadniających		32,33		16,65	85,67	20,34	3,76	12,19	22,39	6,81	
2.2.1	Winnice										0,06	
2.2.2	Sady i plantacje		0,11		0,89	0,90	1,29		1,27		4,83	
2.3.1	Łąki, pastwiska							6,92		0,86	0,09	
2.4.2	Złożone systemy upraw i działek		0,69	5,70								
2.4.3	Tereny zajęte głównie przez rolnictwo z dużym udziałem roślinności naturalnej		0,24		0,48	1,15	0,40	0,04	0,78	3,39	2,94	
2.4.4	Tereny rolno-leśne										0,15	
3.1.1	Lasy liściaste	31,64	10,74	15,60	6,53	0,55	1,75	30,99		0,68	1,64	0,01
3.1.2	Lasy iglaste	28,04	21,20		35,77	0,45	9,87	34,56		47,64		41,50
3.1.3	Lasy mieszane	37,75	7,53	49,70	21,38		10,56	10,55	78,59	15,66	37,15	46,39
3.2.1	Murawy i pastwiska naturalne	0,04	12,19	5,70	3,92	6,54	30,31		2,26		35,05	1,36
3.2.4	Lasy i roślinność krzewiasta w stanie zmian		8,40	12,80	6,71	0,44	2,44	11,91	0,23	9,41	7,83	4,66
3.3.2	Odsłonięte skały								3,24			0,45
3.3.3	Roślinność rozproszona											0,28
4.1.1	Bagna śródlądowe	0,01	0,20		2,63		1,04					
4.1.2	Torfowiska		1,68		0,32							0,08
5.1.1	Cieki				0,33							0,42
5.1.2	Zbiorniki wodne	1,12	0,35	1,80	0,29	0,22	1,34		0,11	0,70		
Liczba typów pokrycia terenu i użytkowania ziemi		8	17	7	18	14	15	8	11	9	15	13

8. STAN GEOEKOLOGICZNY I POTENCJAŁ ŚRODOWISKA PRZYRODNICZEGO W GEOEKOSYSTEMACH ZMŚP

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

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

Stan geoeekologiczny roku 2019 został określony na podstawie wyników realizacji corocznego programu ZMŚP w Stacjach Bazowych w 2019 roku z uwzględnieniem stanu z roku poprzedniego (z 2018 roku na 2019 rok). Do oceny dynamiki rocznej stanu geoeekologicznego wykorzystano programy: meteorologia, zanieczyszczenie powietrza, chemizm opadów atmosferycznych, chemizm opadu podkoronowego, chemizm spływu po pniach, chemizm roztworów glebowych, wody podziemne, wody powierzchniowe – rzeki i jeziora, opad organiczny, gatunki inwazyjne obcego pochodzenia – rośliny, uszkodzenia drzew i drzewostanów; epifity nadrzewne (Tab. 37).

Uzupełnieniem oceny geoeekologicznej w 2019 roku było uwzględnienie także programów realizowanych 1 raz na 3 lata (Tab. 37): zmiany pokrycia terenu i użytkowanie ziemi, struktura i dynamika szaty roślinnej, hydrobiologia rzek – makrofity i hydromorfologiczna ocena koryt rzecznych, ocena usług geoeekosystemów. Biorąc pod uwagę krótkookresową (z roku na rok) zmienność tych komponentów środowiska przyrodniczego można założyć, że wyniki z 2017 i 2018 roku są aktualne także dla 2019 roku. W przypadku programu metale ciężkie i siarka w porostach, realizowanego co dwa lata, również wykorzystano wyniki z roku 2018.

Przedstawiona ocena usług geoeekosystemów dostarcza bardzo istotnych informacji o potencjale i zasobach środowiska przyrodniczego badanych geoeekosystemów.

8.1. Potencjał środowiska przyrodniczego w oparciu o ocenę usług geoekosystemów

Potencjał środowiska przyrodniczego badanych geoekosystemów określono na podstawie realizacji programu „Ocena usług geoekosystemów”. Ocena potencjału środowiska przyrodniczego do dostarczania usług polegała na porównaniu geoekosystemów (reprezentowanych przez określone typy pokrycia i użytkowania terenu) pod względem ich zdolności do dostarczania usług zaopatrujących, a zwłaszcza regulacyjnych. Metodyka określenia potencjału geoekosystemów oraz wyniki dla poszczególnych zlewni ZMŚP zostały zawarte w opracowaniu Stępniewskiej (2019). W procedurze wykorzystano matrycę usług ekosystemów, zawierającą wykaz typów ekosystemów i przypisane im usługi wraz z oceną poziomu usług.

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

- produkcja żywności – produkty żywnościowe dla ludzi;
- produkcja paszy – pasza dla zwierząt;

oraz 9 usług regulacyjnych:

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

- zapylanie i rozprzestrzenianie nasion – pszczoły, ptaki, nietoperze, ćmy, muchy i inne zwierzęta przyczyniające się do reprodukcji roślin poprzez przeniesienie ich pyłków lub nasion;
- kontrola szkodników i przeciwdziałanie plagom – zdolność do zwalczania szkodników i chorób, co czyni rośliny i zwierzęta mniej podatnymi na choroby i pasożyty.

W 2019 roku program „Ocena usług geoekosystemów” był realizowany w czterech Stacjach Bazowych: Wolin, Parsęta, Poznań-Morasko i Karkonosze. W ocenie usług geoekosystemów wzięto pod uwagę dominację klasy potencjału środowiska przyrodniczego (największy udział procentowy) dla danej usługi. Potencjał środowiska badanych geoekosystemów określono na podstawie sumy punktów z macierzy (Tab. 36), a warunkowany on był głównie strukturą użytkowania i formami pokrycia terenu. Wyróżniono 3 klasy potencjału środowiska: niski (<20 pkt), średni (20-40 pkt) i wysoki (>40 pkt).

Tab. 36. Potencjał środowiskowy w zlewniach ZMŚP na podstawie programu oceny usług geoekosystemów (2019)

Stacja Bazowa	Usługi regulacyjne									Usługi zaopatrujące		Suma pkt	Potencjał środowiska
	kształtowanie klimatu w skali globalnej	kształtowanie klimatu w skali lokalnej	poprawa jakości powietrza	poprawa jakości wody	regulacja obiegu wody	regulacja obiegu biogenów	ochrona przed erozją	zapylanie i rozprzestrzenianie nasion	kontrola szkodników i przeciwdziałanie plagom	produkcja żywności	produkcja pasz		
Wolin												41	wysoki
Parsęta												29	średni
Poznań-Morasko												22	średni
Karkonosze												42	wysoki

Potencjał środowiska przyrodniczego:

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

Wysokim potencjałem charakteryzowały się 2 analizowane zlewnie ZMŚP, o względnie małych przekształceniach antropogenicznych (Stacje: Wolin i Karkonosze). Natomiast średni potencjał stwierdzono w zlewniach podlegających większej antropopresji: górnej Parsęty i Różanego Strumienia (Stacja Poznań-Morasko). Stwierdzona w latach

wcześniejszych pewna dysproporcja w zakresie waloryzacji usług regulacyjnych stan środowiska przyrodniczego, a usługami zaopatrującymi ludność została zachowana w 2019 roku. Zlewnie o wysokich i średnim potencjale usług regulacyjnych nie posiadały żadnych usług zaopatrujących.

8.2. Stan geoekologiczny

W oparciu o realizowany program ZMŚP dokonano waloryzacji stanu geoekologicznego badanych geoekosystemów w oparciu o wyniki z lat 2017-2019 (Tab. 37). Dokonano oceny geoekologicznej komponentów środowiska przyrodniczego (programów ZMŚP) realizowanych 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 2019 roku w odniesieniu do roku 2018; lub zachowanie dobrego stanu z poprzedniego roku;
- **stan przeciętny 0 pkt** - brak zmiany ilościowej lub jakościowej danego komponentu w 2019 roku na tle roku 2018; lub zachowanie przeciętnego stanu z poprzedniego roku;
- **stan słaby -1 pkt** - negatywna zmiana ilościowa lub jakościowa danego komponentu w 2019 roku na tle roku 2018; 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 2017-2019 (Tab. 37). Dla programów realizowanych corocznie była możliwość odniesienia stanu poszczególnych komponentów środowiska przyrodniczego w 2019 roku do roku ubiegłego. Natomiast dla programów realizowanych w cyklu trzyletnim odniesiono się do wyników badań z wcześniejszego cyklu pomiarowego, gdyż w obecnym nie we wszystkich stacjach te programy wykonane były po raz drugi.

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

Tab. 37. Stan geoekologiczny zlewni badawczych ZMŚP w 2019 roku (na podstawie programów o rocznym i trzyletnim interwale czasowym)

Program ZMŚP	Rok	Wolin	Parsęta	Puszcza Borecka	Wigry	Pojezierze Chelmińskie	Poznań-Morasko	Kampinos	Łysogóry	Roztocze	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	2019	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1
	2018	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1
Zanieczyszczenie powietrza	2019	+1	+1	+1	+1	-1	-1	0	0	+1	+1	+1
	2018	+1	+1	+1	+1	-1	-1	+1	0	+1	+1	+1
Chemizm opadów atmosferycznych	2019	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	+1	+1	+1
	2018	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0	+1	+1	+1
Chemizm opadu podkoronowego	2019	+1	+1	+1	+1		+1	+1	+1	+1	+1	+1
	2018	+1	+1	+1	+1		+1	+1	+1	+1	+1	+1
Chemizm spływu po pniach	2019	+1		+1					+1	+1	+1	+1
	2018	0		+1					+1	+1	+1	+1
Chemizm roztworów glebowych	2019	0	0	+1	0	-1	0	0	0	0	+1	0
	2018	+1	-1	+1	+1	-1	+1	+1	-1	+1	+1	0
Wody podziemne	2019	-1	+1	0	+1	0	0	-1	+1	-1	0	+1
	2018	-1	+1	0	+1	0	0	0	+1	0	0	+1
Opad organiczny	2019	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
	2018	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
Wody powierzchniowe - rzeki	2019	-1	+1		-1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1
	2018	0	+1		-1	-1	-1	0	-1	+1	+1	+1
Wody powierzchniowe - jeziora	2019	+1	+1	+1		+1						
	2018	+1	+1	+1		+1						
Gatunki inwazyjne obcego pochodzenia – rośliny	2019	+1	-1	+1	0	0	-1	-1	+1	-1	+1	+1
	2018	+1	0	0	0	0	-1	-1	+1	-1	+1	+1
Uszkodzenia drzew i drzewostanów	2019	+1	+1	0	+1		+1	0	0	0	+1	+1
	2018	+1	+1	0	+1		+1	0	0	+1	+1	+1
Epifity nadrzewne	2019	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	+1	+1
	2018	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	+1	+1
Program 1 raz/2 lata [+1 pkt stan dobry, 0 pkt stan przeciętny, -1 pkt stan słaby]												
Metale ciężkie i siarka w porostach	2019	+1	+1	0	0	-1	-1	-1	-1	+1	0	+1
	2018	+1	+1	0	0	-1	-1	-1	-1	+1	0	+1

Program ZMŚP	Rok	Wolin	Parsęta	Puszcza Borecka	Wigry	Pojezierze Chełmińskie	Poznań-Morasko	Kampinos	Łysogóry	Roztocze	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	2019											
Struktura i dynamika szaty roślinnej	2019											
Hydrobiologia rzek – makrofity i hydromorfologiczna ocena koryt rzecznych	2019											
	2018											
	2017											
Ocena usług geoeosystemów	2019											
	2018											
	2017											
Stan geoeologiczny	2019	6	7	9	6	-6	-5	-3	4	6	9	12
	2018	7	7	8	8	-5	-5	0	3	10	8	12

Względnie najlepszym stanem geoeologicznym w 2019 roku charakteryzowała się zlewnia Wrzosówki w Karkonoszach, w której niekorzystne warunki meteorologiczne nie przełożyły się na pogorszenie stanu ilościowego i jakościowego wód powierzchniowych i podziemnych. Inna sytuacja miała miejsce w zlewni Świerszcza na Roztoczu, w której stan geoeologiczny pogorszył się z dobrego w latach poprzednich do przeciętnego w 2019 roku. Niekorzystne uwarunkowania opadowe wpłynęły negatywnie m.in. na stan ilościowy roztworów glebowych i wód podziemnych. Przeciętnym stanem odznaczały się ponadto geoeosystemy znajdujące się w Polsce północnej (Stacje: Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka i Wigry) oraz strefie wyżynno-górskiej (Stacje: Łysogóry i Beskid Niski). Z kolei najgorszym stanem charakteryzowały się geoeosystemy poddane silnej antropopresji rolniczej i urbanizacyjnej (Stacje: Pojezierze Chełmińskie i Poznań Morasko) oraz zlewnia Kanału Olszowieckiego (Stacja Kampinos). Zlewnia Różanego Strumienia znajduje się w strefie negatywnego oddziaływania miasta Poznania, a zlewnia Strugi Toruńskiej podlega intensywnej presji rolniczej. W porównaniu z poprzednim rokiem, stan geoeologiczny monitorowanych zlewni uległ pogorszeniu. W głównej mierze wpłynęły na to niekorzystne uwarunkowania hydrometeorologiczne, a w ich konsekwencji występowanie suszy meteorologicznej i hydrologicznej (Tab. 37).

9. PODSUMOWANIE STANU GEOEKOSYSTEMÓW POLSKI W 2019 ROKU

W 2019 roku hydrologicznym program ZMŚP realizowano w jedenastu Stacjach Bazowych, których lokalizacja odzwierciedla zróżnicowanie struktury krajobrazowej Polski. Funkcjonowanie monitorowanych 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 geoekosystemów o odmiennych, lokalnych uwarunkowaniach, które decydują o stanie środowiska przyrodniczego: Stacja Wolin (duże znaczenie wpływu Bałtyku na atmosferyczną dostawę ładunku substancji rozpuszczonych, zwłaszcza w postaci aerozoli morskich), Stacja Parsęta, Stacja Puszcza Borecka, Stacja Wigry (względnie niska antropopresja), Stacja Pojezierze Chełmińskie (bardzo duża antropopresja związana z funkcjonowaniem zmeliorowanej zlewni o użytkowaniu rolniczym) i Stacja Poznań-Morasko (silna antropopresja spowodowana położeniem w granicach dużej aglomeracji miejskiej). W strefie nizin środkowopolskich monitorowana jest zlewnia Kanału Olszowieckiego w Stacji Kampinos (wpływ zanieczyszczeń atmosferycznych z Warszawy). Po dwie Stacje Bazowe znajdują się w strefach wyżyn oraz gór średnich. W strefie wyżyn są to: Stacja Łysogóry (oddziaływanie lokalnych i ponadregionalnych emisji przemysłowych) oraz Stacja Roztocze (niska antropopresja). Z kolei w górach średnich znajdują się: Stacja Beskid Niski (ryzyko zanieczyszczeń transgranicznych ze Słowacji) oraz Stacja Karkonosze (bardzo niska antropopresja).

O funkcjonowaniu i stanie środowiska przyrodniczego badanych geoekosystemów ZMŚP decyduje ich położenie w różnych strefach krajobrazowych, usytuowanych w umiarkowanej strefie morfoklimatycznej. 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.

Rok 2019 odznaczał się względnie małym zróżnicowaniem przestrzennym średniej rocznej temperatury powietrza i rocznej sumy opadów atmosferycznych. Warunki termiczne były niekorzystne, gdyż we wszystkich monitorowanych zlewniach rok 2019 był cieplejszy od wartości normalnej. Wyższe temperatury w 2019 roku wpisują się w trend stale wzrastającej średniej rocznej temperatury powietrza. Dla 7 stacji stwierdzono istotny

statystycznie trend wzrostowy temperatury, ponadto w 5 stacjach stwierdzono również istotny statystycznie trend wzrostowy frekwencji występowania dni gorących i upalnych, a w przypadku frekwencji występowania dni mroźnych stwierdzono istotny statystycznie trend spadkowy. Warunki opadowe w 2019 roku również były niekorzystne, dla sześciu stacji rok był suchym (Stacje: Wigry, Pojezierze Chełmińskie, Poznań-Morasko, Kampinos, Roztocze i Karkonosze), a dla pozostałych normalnym (Stacje Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Łysogóry i Beskid Niski). Klasyfikacja ilościowa opadów w 2019 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 geoeosystemów wpływał ładunek zanieczyszczeń dostarczony wraz z mokrą depozycją atmosferyczną. Jakość opadów atmosferycznych w 2019 roku pod względem wskaźnika odczynu i przewodności elektrolitycznej właściwej była bardzo dobra i zbliżona do najlepszych w całym, ponad 20-letnim okresie pomiarowym (1994-2019) lat 2017 i 2018. Przewodność nieznaczna stwierdzono w 3 Stacjach Bazowych: Parsęta, Puszcza Borecka i Wigry. O pogorszeniu jakości opadów atmosferycznych w stosunku do lat poprzednich (2015-2018) pod względem wskaźnika SEC zdecydowało zakwalifikowanie zlewni Wieńca (Łysogóry) do klasy mocno podwyższonej przewodności. W pozostałych stacjach mineralizacja opadów była lekko podwyższona. Odczyn opadów atmosferycznych w 2019 roku w porównaniu z poprzednimi latami uległ znaczącej poprawie. Po raz pierwszy od początku pomiarów, we wszystkich 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. Pomimo małej wydajności opadów, jakość atmosferycznej dostawy wody do geoeosystemów była dobra. W 2019 roku nie stwierdzono bardzo wyraźnej prawidłowości wysokiego stężenia rozpuszczonych jonów i wysokiej mineralizacji opadów pomimo wystąpienia opadów o niskiej wydajności i okresów bezdeszczowych, co może świadczyć o względnie niskiej antropopresji i małej dostawie zanieczyszczeń do atmosfery.

W 2019 roku potwierdzona została tendencja do większego udziału tlenków azotu niż dwutlenku siarki w zakwaszaniu opadów atmosferycznych, którego presja w zakwaszaniu opadów jest najważniejsza od połowy lat 90 XX wieku. Większy udział dwutlenku siarki w zakwaszaniu opadów stwierdzono tylko w Polsce południowej i południowowschodniej (Łysogóry, Roztocze, Beskid Niski i Karkonosze). Jednak dla zlewni Wrzosówki (Karkonosze) i Różanego Strumienia (Poznań) udział obu czynników kwasogennych w zakwaszaniu opadów był niemalże równy. 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 południowej i południowowschodniej większy wpływ w zakwaszeniu opadów mają siarczany, których źródłem jest zwłaszcza spalanie paliw kopalnych.

W związku z trwającym drugi rok okresem z małą wydajnością opadów atmosferycznych, warunki hydrogeologiczne utrzymują się na złym poziomie, w szczególności w Polsce północnozachodniej (Wolin), południowowschodniej (Roztocze, Beskid Niski), jak również w Polsce centralnej (Kampinos), gdzie notowano występowanie płytkich i głębokich niżówek. W całej Polsce, we wszystkich strefach krajobrazowych, wystąpiły również miesiące ze spadkiem retencji, chociaż z mniejszą częstotliwością niż w roku 2018. Jednak o dobrym stanie jakościowym wód podziemnych w zlewniach badawczych ZMŚP świadczy co najmniej zadowalająca klasa jakości wody i dobry stan chemiczny wód podziemnych. Taką sytuację stwierdzono we wszystkich analizowanych warstwach wodonośnych. Zwiększyła się również liczba zlewni zakwalifikowanych do dobrej jakości wód podziemnych (od 2018 roku – Wolin, a w 2019 roku również Parsęta). Pomimo suchego roku 2019, stan chemiczny wód podziemnych roku w odniesieniu do lat wcześniejszych uległ nieznacznemu polepszeniu. Efekty małej wydajności opadów w latach 2018 i 2019 mogą przynieść efekty w jakości wód podziemnych w kolejnych latach.

W oparciu o badane wskaźniki hydrologiczne i fizykochemiczne można stwierdzić, że jakość wód rzecznych pozostaje na tym samym, przeciętnym poziomie od roku 2016. Większość badanych cieków (7) posiadała w 2019 roku jakość wody bardzo dobrą i dobrą (2 cieki górskie: Wrzosówka, i Bystrzanka; 2 cieki wyżynne: Wieniec i Świerszcz oraz 3 cieki nizinne: Lewińska Struga, górna Parsęta i Kanał Olszowiecki). Pozostałe 3 cieki (Czarna Hańcza, Struga Toruńska i Różany Strumień) posiadały stan chemiczny poniżej dobrego (III-V klasa). Na obniżenie jakości wody do klasy poniżej dobrego stanu zadecydowały głównie podwyższone stężenia przewodności wody, stężenia chlorków, wapnia i magnezu. Ponadto w Strudze Toruńskiej na obniżenie jakości wody do klasy poniżej dobrego stanu

zdecydowały również podwyższone wartości stężenia azotu azotanowego, którego przyczyną jest dominacja rolnego użytkowania zlewni i związane z tym nawożenie pól uprawnych. Stan chemiczny poniżej dobrego w Różanym Strumieniu, gdzie kumulują się negatywne wpływy oddziaływania miasta Poznania, może być spowodowany dopływem ścieków i w efekcie podwyższeniem mineralizacji wody i wysokimi stężeniami jonów rozpuszczonych, np. chlorków. O relatywnej poprawie jakości wody może świadczyć, w przeciwieństwie do lat poprzednich, brak zagrożenia wzmożoną eutrofizacją w żadnym monitorowanym cieku w 2019 roku. Ocena jakości wody w monitorowanych 4 jeziorach (Gardno, Czarne, Łękek i Kamionkowskie) pozwoliła na zakwalifikowanie tych wód do najlepszej klasy jakości wody. Podobnie, jak w przypadku cieków, nie stwierdzono zagrożenia badanych jezior eutrofizacją.

W wodach podziemnych i 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 naturalnymi strefami 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 pięćdziesiątych XX wieku, średnie roczne stężenia siarczanów 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. 2020). Ta zależność potwierdza aktualnie większą rolę w kształtowaniu jakości powietrza atmosferycznego przez zanieczyszczenia komunikacyjne niż przemysłowe.

W oparciu o ponad dwudziestoletni okres standaryzowanego monitoringu, realizowanego w ramach programu ZMŚP można stwierdzić, że największe znaczenie na stan, zmienność i przemiany środowiska przyrodniczego geoeosystemów 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 2019 roku w wyżynnej zlewni Wieńca (Stacja Łysogóry), czego przyczyną może być antropopresja.

Zagrożeniem dla funkcjonowania badanych geosystemów są zarówno procesy naturalne (np. ekstremalne zdarzenia hydrometeorologiczne i geomorfologiczne) jak i antropogeniczne związane z dostawą zanieczyszczeń. W 2019 roku nie stwierdzono istotnych zagrożeń w funkcjonowaniu środowiska przyrodniczego badanych zlewni. Wśród naturalnych zjawisk ekstremalnych potencjalnie przekształcających środowisko przyrodnicze badanych geosystemów wyróżnić można występowanie fal upałów oraz suszy meteorologicznej i hydrologicznej w całej Polsce (jedynie poza Karkonoszami). Jednakże fale upałów i okresy bezopadowe nie spowodowały w większości badanych zlewni większych zmian funkcjonowania środowiska przyrodniczego. Efektem tych zdarzeń był m.in. okresowy zanik odpływu fluwialnego w zlewniach: Lewińskiej Strugi, Strugi Toruńskiej, Różanego Strumienia, Kanału Olszowieckiego i Wieńca. Wyjątkowo niekorzystna sytuacja miała również miejsce na Roztoczu, gdzie nie wystąpił brak przepływu w Świerszczu, jednak stany wody były ekstremalnie niskie i dominowały niżówki płytkie, wystąpiła również niżówka głęboka. O ile w 2018 roku (suchym i ciepłym), zasoby wód podziemnych nie uległy większemu obniżeniu, co wiązać można z długim czasem relaksacji, polegającym na odbudowywaniu (podczas wilgotnych lat 2016 i 2017) tych zasobów po równie suchym roku 2015, to już w 2019 roku sytuacja hydrogeologiczna uległa pogorszeniu. Ekstremalne zdarzenia hydrometeorologiczne z roku 2018, podtrzymane w 2019 mogą przynieść ekstremalne efekty w kolejnym 2020 roku. W kontekście wpływu ekstremalnych zjawisk przyrodniczych na funkcjonowanie badanych zlewni, bardzo istotne jest określenie bezwładności systemu oraz ocena stanu środowiska w czasie poprzedzającym występowanie zjawisk ekstremalnych.

Istotne dla zachowania i oceny walorów przyrodniczych geosystemów Polski była realizacja w 2019 roku w Stacjach Bazowych programów biotycznych (struktura i dynamika szaty roślinnej, epifity nadrzewne oraz bioindykacja dotycząca występowania roślinnych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia i hydrobiologii rzek), jak również programów ujmujących zmiany antropogeniczne (zmiany pokrycia terenu i użytkowanie ziemi oraz ocena usług geosystemów). Wartościowanie środowiska przyrodniczego w zlewniach ZMŚP

pozwoili na wypracowanie metodyki wyceny zasobów środowiska przyrodniczego w różnych geoeosystemach Polski oraz określenie potencjału środowiskowego badanych geoeosystemów.

W oparciu o długoletnie rozpoznanie zależności przyczynowo-skutkowych w zlewniach między abiotycznymi i biotycznymi komponentami środowiska przyrodniczego jest bardzo trudne, a wręcz niemożliwe dla tego samego roku badawczego określenie zależności regresyjnej. Przyroda ożywiona (np. porosty, makrofity, struktura i dynamika szaty roślinnej) 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 abiotyczne w dłuższym okresie czasu. Pogorszenie stanu przyrody ożywionej (np. program uszkodzenia drzew i drzewostanów – parametry defoliacja i odbarwienie) może być konsekwencja niekorzystnych uwarunkowań abiotycznych (np. niedobór opadów, zakwaszenie wód opadowych, zanieczyszczenie powietrza) występujących kilka lat wcześniej. Przykładem takiej nie wprost proporcjonalnej i skomplikowanej zależności warunków abiotycznych do biotycznych był 2015 rok, 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 w 2015 roku i zły stan przyrody ożywionej (porosty, makrofity, drzewostany – poza Kampinosem). Taka sytuacja świadczyła o dużej bezwładności, odporności i bardzo dobrej jakości środowiska przyrodniczego w badanych zlewniach. Należy podkreślić, że przemiany biotycznych komponentów środowiska przyrodniczego (np. zasięg przestrzenny gatunków i zbiorowisk roślinnych) mogą wynikać z:

- 1) długookresowego oddziaływania presji wynikającej m.in. ze zmian klimatycznych (np. wzrost średniej rocznej temperatury powietrza może skutkować pogorszeniem zdrowotności i zmianą zasięgu występowania oraz np. „wycofaniem się” gatunków „chłodnolubnych”, np. świerka w Polsce północno-wschodniej). Przykładem zmian klimatycznych, generujących zmiany geoeosystemów leśnych są obserwacje

dotyczące zmian zbiorowisk leśnych w nadmorskiej strefie brzegowej Bałtyku (Tylkowski 2015b), m.in. w zasięgu Stacji Bazowej Wolin. Dla polskiej strefy brzegowej Bałtyku stwierdzono występowanie trendu wzrostu średniej rocznej temperatury powietrza $0,32^{\circ}\text{C}/10$ lat. Skutkiem wzrostu zasobów ciepła, zwłaszcza w sezonie wegetacyjnym, będzie występowanie w ciągu najbliższych 20 lat odpowiednich warunków cieplnych do występowania zbiorowisk leśnych typu *Fagetum* i degradacja zbiorowisk leśnych *Piceetum*. Z kolei może się to przełożyć na 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 pogorszyła się zdrowotność 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 ponad dwudziestoletnie ciągi pomiarowe uzasadnione jest prognozowanie przyszłych zmian środowiska przyrodniczego w badanych zlewniach. W 2017 roku w raportach Stacji Bazowych ZMŚP przedstawione zostało modelowanie zmian funkcjonowania wybranych elementów środowiska przyrodniczego (modelowanie Soil and Water Assessment Tool – SWAT), Ponowne opracowanie modelowania przedstawione zostanie w raportach za rok 2020.

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 (oprócz Pojezierza Chełmińskiego i Poznania-Morasko) 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 oraz pomagają w realizacji programu Natura 2000, który służy ochronie dziedzictwa przyrodniczego Polski zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju.

Należy zwrócić uwagę na edukacyjne i dydaktyczne funkcje realizowanego programu ZMŚP w różnych regionach Polski. Funkcja edukacyjna 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 powstała propozycja wprowadzenia przedmiotów Monitoring środowiska przyrodniczego oraz Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego do programu studiów wyższych. Inicjatywa ta jest z powodzeniem realizowana, co pomaga w przygotowaniu specjalistów w zakresie monitoringu środowiska przyrodniczego.

Szczegółowe, kompleksowe opracowania stanu i przemian oraz ukazanie związków przyczynowo-skutkowych w funkcjonowaniu środowiska przyrodniczego w badanych geoekosystemach ZMŚP w 2019 roku na tle wielolecia przedstawiono w raportach Stacji Bazowych ZMŚP, które stanowią załącznik do niniejszego opracowania.

10. 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., Chmiel J., Marcinkowski M., Prządka Z., Skotak K., Syrzycki M., Typiak-Nowak D., 2020: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Puszcza Borecka w 2019 roku. Warszawa, maszynopis
- EEA (European Environment Agency), 2006: CORINE Land Cover. Online: <http://www.eea.europa.eu/>
- 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
- Jóźwiak M., Jóźwiak M.A., Kozłowski R., Szwed M., 2020: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Łysogóry w 2019 roku. Kielce, maszynopis
- Kaczorowska Z., 1962: Opady w Polsce w przekroju wieloletnim. *Prace Geogr. IG PAN* (33): 1-102
- Kejna M., Hildebrandt K., Kartanas E., Pius B., Rutkowski L., Sobota I., Solarczyk A., Sulik S., Uscka-Kowalkowska J., Wojtczak H., 2020: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Pojezierze Chełmińskie w 2019 roku. Toruń, maszynopis
- Kijowska-Strugała M., Bochenek W., Ptaszek E., 2020: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Beskid Niski w 2019 roku. Szymbark, maszynopis
- Kolander R., 1999: Stan geosystemów Polski w 1998 roku. http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2013/11/raport_1998.pdf
- Kondracki J., 2000: *Geografia Regionalna Polski*, Wydawnictwo Naukowe PWN
- Kostrzewski A., 1993: Geosystem obszarów nizinnych. *Koncepcja metodologiczna*. [W:] A. Kostrzewski (red.), *Geosystem obszarów nizinnych*, Polska Akademia Nauk, Kom. Nauk. Prez. PAN „Człowiek i Środowisko”, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław: 11-17
- Kostrzewski A., 1995: Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego – cele, założenia i zadania. [W:] A. Kostrzewski (red.), *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego*. *Propozycje programowe*, *Bibl. Monit. Środ.*, Warszawa: 7-22

- Kostrzewski A., 2003: Obieg wody i jego wpływ na powstanie i funkcjonowanie struktur krajobrazowych strefy młodoglacjalnej (Polska północno-zachodnia, Pomorze Zachodnie). [W:] A. Kostrzewski, J. Szpikowski (red.), Funkcjonowanie geosystemów zlewni rzecznych 3: 17-20
- Kostrzewski A., Majewski M. (red.), 2018: Stan i przemiany środowiska przyrodniczego geosystemów Polski w latach 1994-2015 w oparciu o realizację programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- Kostrzewski A., 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
- Krakowski K., Dobrowolski M., Przewoźnik L., Rachwańska P., Stępniewska M., 2020: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Karkonosze w 2019 roku. Jelenia Góra, maszynopis
- Kruszyk R., 2003: Stan geosystemów Polski w 2002 roku. http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2013/11/raport_2002.pdf
- Kruszyk R., 2004: Stan geosystemów Polski w roku 2003. http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2013/11/raport_2003.pdf
- Kruszyk R., 2005: Stan geosystemów Polski w roku 2004. http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2013/11/raport_2004.pdf
- Kruszyk R., 2006: Stan geosystemów Polski w roku 2005. http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2013/11/raport_2005.pdf
- Kruszyk R., 2009: Raport o stanie geosystemów Polski w roku 2008. http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2013/11/raport_2008.pdf
- Kruszyk R., 2010: Stan geosystemów Polski w roku 2009. http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2013/11/raport_2009.pdf
- Krzysztofiak L., Danilczyk M., Krzysztofiak A., Mackiewicz A., Romański M., 2020: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Wigry w 2019 roku. Krzywe, maszynopis
- Kundzewicz Z.W., 2011: Zmiany klimatu, ich przyczyny i skutki – obserwacje i projekcje. *Landform Analysis* (15): 39-49
- Lorenc H., 1998: Ocena stopnia realizacji programu “obserwacje meteorologiczne i badania klimatyczne w systemie zintegrowanego monitoringu środowiska” oraz synteza uzyskanych wyników badań za okres 1994-1997. [W:] A. Kostrzewski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie i tendencje rozwoju geosystemów Polski. IX Sympozjum ZMŚP, Bibl. Monit. Środ., Warszawa: 113-119

- 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.
- Majewski M., Kostrzewski A., 2019: Stan geoekosystemów Polski w roku 2018. http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2016/11/Raport_2018.pdf
- Major M., 2007: Stan geoekosystemów Polski w roku 2006. http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2013/11/raport_2006.pdf
- Major M., 2008: Stan geoekosystemów Polski w roku 2007. http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2013/11/raport_2007.pdf
- Major M., Celka Z., Chmiel J., Chudzińska M., Kolendowicz L., Kruszyk R., Majewski M., Marciniak M., Półrolniczak M., Okońska M., Zięba M., Wolny F., Czuchaj A., 2020: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Poznań-Morasko w 2019 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://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2013/11/raport_1999.pdf
- Mazurek M., Zwoliński Z., 2001: Stan geoekosystemów Polski w roku 2000. http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2013/11/raport_2000.pdf
- Mazurek M., Zwoliński Z., 2002: Stan geoekosystemów Polski w roku 2001. http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2013/11/raport_2001.pdf
- Michalska G.M., Szpikowski J., 2000: Obieg wody w geoekosystemie zlewni górnej Parsęty w roku hydrologicznym 2005. [W:] Funkcjonowanie i monitoring geoekosystemów z uwzględnieniem lokalnych problemów ekologicznych. Ossolineum, Wrocław. Kom. Nauk. Prez. PAN „Człowiek i środowisko”, Z. Nauk., 25: 87-104
- Miętus M., Wibig J., 2011: Klimat. Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo. Zmiany klimatu i ich wpływ na środowisko naturalne Polski oraz określenie ich skutków ekonomicznych. IMGW Warszawa-Gdynia-Kraków
- Mizgajski A., Stępniewska M., 2012: Ecosystem services assessment for Poland – challenges and possible solutions. *Ekonomia i Środowisko* 2 (42): 54-73
- Olszewski A., Andrzejewska A., 2020: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Kampinos w 2019 roku. Leszno k. Warszawy – Izabelin, maszynopis
- Rozporządzenie Ministra Środowiska 2002: Z dnia 23 grudnia 2002 r. w sprawie kryteriów wyznaczania wód wrażliwych na zanieczyszczenie związkami azotu ze źródeł rolniczych. Dziennik Ustaw Nr 241, poz. 2093
- Rozporządzenie Ministra Środowiska 2012: Z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu, Dziennik Ustaw 2012, poz. 1031
- Rozporządzenie Ministra Środowiska 2015: Z dnia 21 grudnia 2015 r. w sprawie klasyfikacji zwykłych wód podziemnych dla potrzeb monitoringu środowiska. Dziennik Ustaw 2016, poz. 85

- Rozporządzenie Ministra Środowiska 2016: Z dnia 21 lipca 2016 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych. Dziennik Ustaw 2014, poz. 1482
- 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
- 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., Rawiak A., Smoła M., 2020: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Roztocze w 2019 roku. Zwierzyniec, maszynopis
- Stępniewska M., 2019: Ocena usług geoekosystemów. Sprawozdanie z realizacji III etapu umowy nr 19/2018/F pt. „Realizacja programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego – nadzór merytoryczny oraz prowadzenie pomiarów w latach 2018-2020”. Poznań, maszynopis.
- Szoszkiewicz K., Gebler D. 2012: Polska wersja systemu oceny stanu hydromorfologicznego rzek River Habitat Survey – nowe zastosowania w praktyce. Gospodarka Wodna 4: 141-146
- Szoszkiewicz K., Gebler D., Jusik S., 2019: Hydrobiologia rzek – makrofity i ocena hydromorfologiczna koryta rzecznego. Sprawozdanie z realizacji III etapu umowy nr 19/2018/F pt. „Realizacja programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego – nadzór merytoryczny oraz prowadzenie pomiarów w latach 2018-2020”. Poznań, maszynopis
- Szoszkiewicz K., Zbierska J., Jusik S., Zgoła T., 2010: Makrofitowa Metoda Oceny Rzek. Podręcznik metodyczny do oceny i klasyfikacji stanu ekologicznego wód płynących w oparciu o rośliny wodne. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań
- Szpikowska G., 2004: Jakość i rola opadów atmosferycznych w systemie denudacyjnym zlewni młodoglacjalnej (Chwalimski Potok, górna Parsęta). [W:] M. Kejna, J. Uscka (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Funkcjonowanie i monitoring geoekosystemów w warunkach narastającej antropopresji, Bibl. Monit. Środ.: 167-176
- Szpikowska G., 2011: Uwarunkowania i zmienność chemizmu wód opadowych, podziemnych i powierzchniowych w zlewni Chwalimskiego Potoku (górna Parsęta). [W:] A. Kostrzewski, M. Samołyk (red.), Funkcjonowanie geoekosystemów w warunkach zmian użytkowania terenu i narastającej antropopresji. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Vol. XXVIII, Biała Góra: 173-186
- Szpikowska G., Tylkowski J., 2006: Denudation balance of the Upper Parsęta catchment in the years 2000-2004. Quaestiones Geographicae 25A: 75-82
- Szpikowski J., 2011: Stan geoekosystemów Polski w roku 2010 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (z wykorzystaniem wybranych geoindykatorów). http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2013/11/raport_2010b.pdf
- Szpikowski J., 2012: Stan geoekosystemów Polski w roku 2011 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (z wykorzystaniem wybranych geoindykatorów). http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2013/11/raport_2011.pdf
- Szpikowski J., Borysiak J., Celka Z., Chmiel J., Domańska M., Kostrzewski A., Kruszyk R., Majewski M., Szpikowska G., 2020: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Parsęta w 2019 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. GDOS 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 geosystemów Polski w roku 2012 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (z wykorzystaniem wybranych geoindykatorów). http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2013/11/raport_2012.pdf
- Tylkowski J., 2014: Stan geosystemów Polski w roku 2013 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2014/12/raport_2013.pdf
- Tylkowski J., 2015a: Stan geosystemów Polski w roku 2014 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2015/12/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 geosystemów Polski w roku 2015 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2016/11/raport_2015.pdf
- Tylkowski J., Czyryca P., Kostrzewski A., Samołyk M., Winowski M., 2020: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Wolin w 2019 roku. Biała Góra, maszynopis
- Tylkowski J., Kostrzewski A., 2017: Stan geosystemów Polski w roku 2016 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2016/11/raport_2016.pdf
- Tylkowski J., Kostrzewski A., 2018: Stan geosystemów Polski w roku 2016 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2016/11/raport_2017.pdf
- Zwoliński Z., 1997: Stan geosystemów Polski w roku hydrologicznym 1996. http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2013/11/raport_1996.pdf
- Zwoliński Z., 1998: Geoindykatory w badaniach współczesnej dynamiki geosystemów. [W:] A. Kostrzewski (red.), Zintegrowany monitoring środowiska przyrodniczego, Funkcjonowanie i tendencje rozwoju geosystemów 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, (Kondracki 2000, zmienione)	11
Ryc. 3. Lokalizacja Stacji Bazowych ZMŚP w Parkach Narodowych Polski	17
Ryc. 4. Lokalizacja Stacji Bazowych ZMŚP na tle Obszarów Natura 2000 w Polsce	18
Ryc. 5. Pokrycie zlewni Stacji Bazowych ZMŚP przez Obszary Natura 2000	22
Ryc. 6. Średnie roczne temperatury powietrza w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2019 roku hydrologicznym na tle wielolecia	37
Ryc. 7. Istotnie statystycznie trendy wzrostu temperatury powietrza w Stacjach Bazowych ZMŚP – Wolin, Parsęta, Puszcza Borecka, Pojezierze Chełmińskie, Kampinos, Łysogóry i Beskid Niski	38
Ryc. 8. Sumy roczne opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2019 roku hydrologicznym na tle wielolecia	39

Ryc. 9. Przebieg miesięczny temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2019 roku na tle wielolecia	41
Ryc. 10. Przebieg zmian liczby dni gorących ($T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$) w latach 1994-2019 w Stacjach Bazowych ZMŚP	43
Ryc. 11. Przebieg zmian liczby dni upalnych ($T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$) w latach 1994-2019 w Stacjach Bazowych ZMŚP	43
Ryc. 12. Przebieg zmian liczby dni mroźnych ($T_{\text{sr}} < 0^{\circ}\text{C}$) w latach 1994-2019 w Stacjach Bazowych ZMŚP	44
Ryc. 13. Przebieg zmian liczby dni bardzo mroźnych ($T_{\min} < 10^{\circ}\text{C}$) w latach 1994-2019 w Stacjach Bazowych ZMŚP	44
Ryc. 14. Zmienność czasowa współczynników miesięcznych przepływu w roku hydrologicznym 2019 na tle zmienności czasowej wartości współczynników miesięcznych przepływu z wielolecia	61
Ryc. 15. Klasyfikacja pH i SEC opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2019 roku	66
Ryc. 16. Zmienność czasowa SEC opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2019 roku hydrologicznym na tle wielolecia	67
Ryc. 17. Istotne statystycznie trendy spadku SEC w opadach atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP – Parsęta, Puszcza Borecka, Pojezierze Chełmińskie i Kampinos	68
Ryc. 18. Zmienność czasowa kwasowości opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2019 roku hydrologicznym na tle wielolecia	69
Ryc. 19. Istotne statystycznie trendy wzrostu odczynu (spadku zakwaszenia) opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP – Parsęta, Puszcza Borecka, Wigry, Kampinos i Beskid Niski	70
Ryc. 20. Zmiany wskaźnika czynników kwasogennych w zakwaszaniu wód opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP w wieloleciu 1994-2019	72
Ryc. 21. Deficyt odpływu wody i bilans substancji rozpuszczonych w zlewniach ZMŚP w latach 2015-2019	88
Ryc. 22. Przebieg termicznych pór roku w zlewniach badawczych ZMŚP w 2019 roku	93
Ryc. 23. Czas trwania termicznych pór roku w zlewniach badawczych ZMŚP w 2019 roku	93
Ryc. 24. Zmienność czasu trwania okresu wegetacyjnego w Stacjach Bazowych ZMŚP dysponujących przynajmniej 5-letnim okresem pomiarowym	95
Ryc. 25. Średnie miesięczne stężenia NO_2 w 2019 roku w zlewniach badawczych ZMŚP	97
Ryc. 26. Średnie miesięczne stężenia SO_2 w 2019 roku w zlewniach badawczych ZMŚP	97

Spis tabel

Tab. 1. Charakterystyka położenia zlewni reprezentatywnych ZMŚP w strefach krajobrazowych i dominującej formy pokrycia terenu (Kostrzewski i in. 2014, zmienione)	10
Tab. 2. Charakterystyka fizycznogeograficzna zlewni reprezentatywnych ZMŚP w 2019 roku	12
Tab. 3. Podstawowy program pomiarowy realizowany przez Stacje Bazowe ZMŚP w 2019 roku	24
Tab. 4. Programy badawczo-pomiarowe ZMŚP zrealizowane w Stacjach Bazowych ZMŚP przez Ekspertów ZMŚP w 2019 roku	24
Tab. 5. Zakres programów i parametrów pomiarowych ZMŚP wykonanych w Stacjach Bazowych w 2019 roku	25
Tab. 6. Programy specjalistyczne realizowane w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2019 roku	34
Tab. 7. Średnia temperatura powietrza i suma opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2019 roku	36
Tab. 8. Liczba dni charakterystycznych temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2019 roku	46
Tab. 9. Klasyfikacja opadowa dla roku (Kaczorowska 1962, zmienione)	47

Tab. 10. Roczna klasyfikacja opadowa dla Stacji Bazowych ZMŚP	48
Tab. 11. Klasyfikacja termiczna roku wg Lorenc (1998)	49
Tab. 12. Roczna klasyfikacja termiczna dla Stacji Bazowych ZMŚP	50
Tab. 13. Klasyfikacja termiczno-opadowa dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2019 roku	50
Tab. 14. Wartości maksymalne i minimalne temperatur w roku hydrologicznym 2019 w Stacjach Bazowych ZMŚP	51
Tab. 15. Wskaźnik miesięcznych zmian retencji RM dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2019 roku hydrologicznym	54
Tab. 16. Wskaźnik zagrożenia niżówką hydrogeologiczną kn dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2019 roku hydrologicznym	55
Tab. 17. Miesięczne średnie wartości współczynnika odpływu [-] i odpływu jednostkowego oraz ekstremalne dobowe odpływy jednostkowe [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$] w 2019 roku hydrologicznym w Stacjach Bazowych ZMŚP	56
Tab. 18. Miesięczne wysokości warstwy opadu i odpływu [mm] oraz skróconego bilansu wodnego [mm] w 2019 roku hydrologicznym w zlewniach ZMŚP	63
Tab. 19. Klasyfikacja przewodności elektrolitycznej wód opadowych (wg Jansena i in. 1988)	65
Tab. 20. Klasyfikacja odczynu wód opadowych (wg Jansena i in. 1988)	65
Tab. 21. Średnie stężenie substancji rozpuszczonych w wodach opadowych w zlewniach ZMŚP w 2019 roku	73
Tab. 22. Klasy jakości wody i stan chemiczny wód podziemnych w zlewniach ZMŚP w 2019 roku wg wybranych elementów fizykochemicznych	76
Tab. 23. Średnie stężenie substancji rozpuszczonych w wodach rzecznych w zlewniach ZMŚP w 2019 roku	78
Tab. 24. Jakość wód płynących w 2019 roku wg wybranych elementów fizykochemicznych (Rozporządzenie Ministra Środowiska, z dnia 21 lipca 2016 r.)	81
Tab. 25. Jakość wód stojących w 2019 roku wg wybranych elementów fizykochemicznych (Rozporządzenie Ministra Środowiska 2016)	82
Tab. 26. Wskaźniki eutrofizacji rzek w Stacjach ZMŚP w 2019 roku	83
Tab. 27. Wskaźniki eutrofizacji jezior w Stacjach ZMŚP w 2019 roku	84
Tab. 28. Bilans jonów denudacyjnych i biogenicznych w zlewniach badawczych ZMŚP w 2019 roku	87
Tab. 29. Sezon wegetacyjny w zlewniach badawczych ZMŚP w 2019 roku	94
Tab. 30. Zanieczyszczenie powietrza - średnie roczne stężenie SO_2 i NO_2 [$\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$] w zlewniach badawczych ZMŚP w 2019 roku	96
Tab. 31. Średnia defoliacja w zlewniach ZMŚP w 2019 roku hydrologicznym	99
Tab. 32. Charakterystyka składu gatunków starych lasów w zlewniach ZMŚP w 2016 i 2019 roku	100
Tab. 33. Występowanie roślinnych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia w zlewniach ZMŚP w latach 2016-2019 roku	101
Tab. 34. Wartości wskaźnika MIR, RHS i stan geoekologiczny koryt rzecznych w zlewniach ZMŚP (2019)	104
Tab. 35. Klasy pokrycia terenu i użytkowania ziemi na obszarze zlewni badawczych Stacji Bazowych ZMŚP w roku 2019	106
Tab. 36. Potencjał środowiskowy w zlewniach ZMŚP na podstawie programu oceny usług geoeosystemów (2019)	109
Tab. 37. Stan geoekologiczny zlewni badawczych ZMŚP w 2019 roku (na podstawie programów o rocznym i trzyletnim interwale czasowym)	111