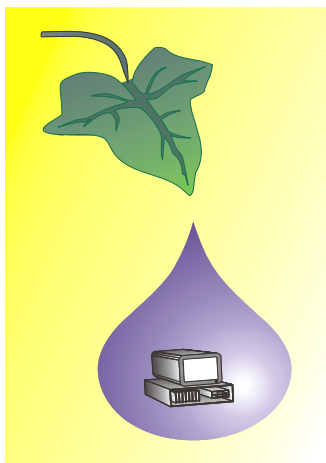




Dofinansowano ze środków
Narodowego Funduszu Ochrony
Środowiska i Gospodarki Wodnej

Sprawozdanie z realizacji VI etapu umowy nr 18/2015/F
pt. „Realizacja programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego
- nadzór merytoryczny oraz prowadzenie badań w latach 2015 – 2017”,
zawartej pomiędzy
Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska w Warszawie
a
Uniwersytetem im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Zadanie nr 2

Stan geoekosystemów Polski w 2017 roku

Biała Góra - Poznań

2018

Jacek Tylkowski

Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu

Instytut Geoekologii i Geoinformacji, Zakład Monitoringu Środowiska Przyrodniczego

Stacja Monitoringu Środowiska Przyrodniczego UAM w Białej Górze

Stacja Bazowa ZMŚP Wolin

jatyl@amu.edu.pl

Andrzej Kostrzewski

Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu

Centrum Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego

anko@amu.edu.pl

Stan geoekosystemów Polski w 2017 roku

na podstawie badań

Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego

Biała Góra - Poznań 2018

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie	4
2. Zlewnie badawcze ZMŚP	7
3. Zlewnie badawcze ZMŚP a obszary szczególnie cenne przyrodniczo: Parki Narodowe i Natura 2000	14
4. Program badawczo-pomiarowy Stacji Bazowych ZMŚP	20
5. Geoindykatory obiegu wody w geoeekosystemach ZMŚP	28
5.1. Warunki pogodowe	28
5.2. Wody podziemne	41
5.3. Wody powierzchniowe	44
5.4. Skrócony bilans wodny	49
6. Geoindykatory jakości wody w zlewniach ZMŚP	50
6.1. Opady atmosferyczne	51
6.2. Wody podziemne	61
6.3. Wody powierzchniowe	62
6.4. Bilans jonów denudacyjnych i biogennych	69
7. Wpływ uwarunkowań abiotycznych na przyrodę ożywioną	73
7.1. Termiczne pory roku	73
7.2. Sezon wegetacyjny	73
7.3. Zanieczyszczenie powietrza	78
7.4. Uszkodzenie drzew i drzewostanów	79
7.5. Bioindykacja - gatunki inwazyjne obcego pochodzenia – rośliny	80
7.6. Lichenoindykacja - metale ciężkie i siarka w porostach	81
7.7. Hydrobiologia rzek – makrofity i hydromorfologiczna ocena koryt rzecznych	83
7.8. Struktura i dynamika szaty roślinnej	85
7.9. Zmiany pokrycia terenu i użytkowanie ziemi	86
8. Stan geoeekologiczny i potencjał środowiska przyrodniczego zlewni ZMŚP	86
8.1. Potencjał środowiska przyrodniczego	87
8.2. Stan geoeekologiczny	89
9. Modelowanie zmian bilansu wodnego i biogeochemicznego zlewni ZMŚP	91
10. Podsumowanie stanu geoeekosystemów Polski w 2017 roku	98
11. Literatura	104

1. WPROWADZENIE

Opracowanie zostało wykonane zgodnie z umową 18/2015/F p.t. „Realizacja programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego – nadzór merytoryczny oraz prowadzenie badań w latach 2015-2017”. Umowa została zawarta w dniu 21 maja 2015 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 p.t. „Opracowanie corocznych sprawozdań o stanie geoekosystemów Polski”. W pracy przedstawiono stan geoekosystemów Polski w 2017 roku hydrologicznym, z odniesieniem do wieloletniego (1994-2016) okresu badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (ZMŚP). Program badawczo-pomiarowy ZMŚP w 2017 roku realizowano w jedenastu Stacjach Bazowych (SB ZMŚP): Wolin, Storkowo, Puszcza Borecka, Wigry, Konieczynka, Różany Strumień, Kampinos, Święty Krzyż, Roztocze, Szymbark i Karkonosze. Podstawę opracowania stanowiły merytoryczne raporty ze Stacji ZMŚP za 2017 rok hydrologiczny (od 1 listopada 2016 roku do 31 października 2017 roku), które analizowały funkcjonowanie geoekosystemów (zlewni) reprezentatywnych w wybranych strefach krajobrazowych Polski (tzn. Bochenek i in. 2018, Jóźwiak i in. 2018, Kejna i in. 2018, Krakowski i in. 2018, Krzysztofiak i in. 2018, Major i in. 2018, Olszewski i in. 2018, Skotak i in. 2018, Stachyra i in. 2018, Szpikowski i in. 2018, Tylkowski i in. 2018). W opracowaniu wykorzystano także dane zgromadzone w Centralnej Bazie Danych ZMŚP za lata hydrologiczne 1994-2017.

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. W corocznych raportach Stacji Bazowych umieszczono informacje o stanie

środowiska badanych geoekosystemów, rodzajach zagrożeń dla funkcjonowania środowiska przyrodniczego badanych zlewni oraz propozycje działań, które pozwolą zachować ich walory i zasoby przyrodnicze. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego, w odróżnieniu od monitoringów branżowych, rozszerza stan rozpoznania funkcjonowania środowiska przyrodniczego o związki przyczynowo-skutkowe, skalę przemian i kierunki rozwoju środowiska geograficznego wybranych geoekosystemów 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 badaniom poddano również wybrane biotyczne elementy geoekosystemu, które spełniają rolę biowskaźników stanu środowiska. Monitorowane elementy abiotyczne dotyczące aspektów ilościowych i jakościowych obiegu wody spełniają rolę geoindykatorów stanu środowiska (Szpikowski 2012; Tylkowski 2015a).

Program ZMŚP merytorycznie nawiązuje do ICP Integrated Monitoring, 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 tego europejskiego programu.

Podstawowym celem niniejszego opracowania jest syntetyczne przedstawienie informacji o stanie środowiska wybranych geoekosystemów Polski w 2017 roku na tle wielolecia 1994-2016. Prowadzony w wytypowanych zlewniach reprezentatywnych monitoring naukowo-badawczy dotyczył głównie dwóch aspektów:

- 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,
 - horyzontalnego, związanego z atmosferyczną dostawą wody i substancji rozpuszczonych do badanej zlewni oraz późniejszym ich odprowadzaniem przez transport fluwialny poza badaną zlewnię.
- bioindykacji wybranych elementów przyrody ożywionej, które są czułe na zmiany bilansu energii, 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, 2014, 2015, 2016; Tylkowski, Kostrzewski 2017). 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 regułę, że obieg wody i rozpuszczonej w niej materii stanowi główny czynnik zmian środowiska przyrodniczego w umiarkowanej strefie morfoklimatycznej. Dlatego programy badawcze ZMŚP dostosowane są do 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 (w odniesieniu m.in. do uwarunkowań hydrometeorologicznych: rozkładu czasowego opadów i odpływu rzeczno, występowania susz oraz opadów rozlewnych i nawałnych, identyfikacji epizodów i okresów występowania wezbrań i niżówek w wodach powierzchniowych i podziemnych). Dostawa wody do badanych geoekosystemów jest regionalnie zróżnicowana i nawiązuje do położenia poszczególnych zlewni w 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 geoekosystemów Polski (Kruszyk 2003, 2004, 2005, 2006, 2009, 2010, Major 2007, 2008, Szpikowski 2011, 2012, Tylkowski 2013, 2014, 2015, 2016, 2017). Początkowe opracowania (Zwoliński 1997, Kolander 1999, Kruszyk 2003, Mazurek, Zwoliński 2000, 2001, 2002) prezentowały głównie wyniki uzyskane przez Stacje Bazowe w ramach realizacji poszczególnych programów badawczych a w mniejszym stopniu ukazywały 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. Przedstawiony poniżej raport za 2017 rok, podobnie jak sprawozdania za lata 2011-2016 został sporządzony w oparciu o wybrane geowskaźniki ilościowe i jakościowe obiegu wody wprowadzone przez Szpikowskiego (2011) i uzupełnione przez Tylkowskiego (2016). Ponadto w opracowaniu wskazano trendy zmian w środowisku przyrodniczym badanych zlewni w ostatnim dwudziestolecu, ze szczególnym uwzględnieniem zdarzeń ekstremalnych, np. w 2017 roku. Wskazano 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 sporządzenia kierunków rozwoju badanych jednostek przestrzennych, 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 na 11) położonych jest w jej granicach.

Aktualny zasób informacji i danych ZMŚP stwarza możliwości aktualnej oceny stanu środowiska ale i predykcji jego rozwoju. Centralna Baza Danych ZMŚP zawiera około 1,4 mln rekordów przedstawiających rzeczywiste, terenowe dane z okresu 1994-2017. 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 tzw. „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 jest reprezentatywna dla danego regionu geograficznego zlewnia rzeczna lub jeziorna. W zlewni i jej otulinie zlokalizowane są testowe powierzchnie badawcze i stanowiska pomiarowe. W 2017 roku komplementarne badania terenowe i analitykę laboratoryjną prowadzono wg standaryzowanych metod na 11 Stacjach ZMŚP (ryc. 1, ryc. 2, tab. 1, tab. 2).

Lokalizacja Stacji Bazowych ZMŚP w Polsce uwzględnia zróżnicowanie występowania w Polsce stref fizycznogeograficznych (Kondracki 2000) i krajobrazowych (Mizgajski, Stępniewska 2012, Kostrzewski i in. 2014) 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: Storkowo, Puszcza Borecka, Wigry, Konieczynka i Różany Strumień). Po dwie stacje znajdują się w strefie wyżyn (Stacje Bazowe: Święty Krzyż i Roztocze) i gór średnich (Stacje Bazowe: Szymbark 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 w zlewni Świerszcza i Wrzosówki (zdecydowanie leśna) i Jeziora Gardno (zdecydowanie leśna i średnio nienaturalna). Zdecydowanie nienaturalny i średnio zalesiony typ pokrycia terenu występuje w zlewni Kanału Olszowieckiego. Natomiast w zlewni Wieńca i Bystrzanki dominuje pokrycie terenu w formie zdecydowanie rolniczej i średnio

nienaturalnej. Największym stopniem antropogenicznej przemiany pokrycia terenu cechują się zlewnie Strugi Toruńskiej oraz Czarnej Hańczy, które zakwalifikowano jako zdecydowanie 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
Wolin	Jezioro Gardno	Morze Bałtyckie	zdecydowanie leśna i średnio nienaturalna
Storkowo	Parsęta	Pojezierza	zróżnicowana
Puszcza Borecka	Jezioro Łękuk	Pojezierza	zróżnicowana
Wigry	Czarna Hańcza	Pojezierza	zdecydowanie rolnicza
Koniczynka	Struga Toruńska	Pojezierza	zdecydowanie rolnicza
Różany Strumień	Różany Strumień	Pojezierza	zróżnicowana
Kampinos	Olszowiecki Kanał	Niziny	zdecydowanie nienaturalna i średnio leśna
Święty Krzyż	Wieniec	Wyżyny	zdecydowanie rolnicza i średnio nienaturalna
Roztocze	Świerszcz	Wyżyny	zdecydowanie leśna
Szymbark	Bystrzanka	Góry średnie	zdecydowanie rolnicza i średnio nienaturalna
Karkonosze	Wrzosówka	Góry średnie	zdecydowanie leśna

Badane zlewnie w systemie ZMŚP posiadają zróżnicowaną wielkość, o powierzchni mniejszej niż 100 km². Do największych geoekosystemów należą: zlewnia górnej Parsęty (74,0 km²), Świerszcz (46,5 km²) i Struga Toruńska (35,2 km²). Natomiast najmniejsze zlewnie w sieci ZMŚP to Wieniec (1,3 km²) i Jezioro Gardno (2,4 km²). Lokalizacja Stacji Bazowych ZMŚP uwzględnia zróżnicowanie struktury krajobrazowej kraju, a wytypowane zlewnie badawcze można uznać za reprezentatywne dla danego regionu geograficznego (ryc. 2, tab. 2).



Ryc. 2. Lokalizacja Stacji Bazowych Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w 2017 roku w makroregionach fizycznogeograficznych Polski, (Kondracki 2000, zmienione)

WOLIN - Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Poznań; STORKOWO - Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Poznań; PUSZCZA BORECKA - Instytut Ochrony Środowiska PIB, Warszawa; WIGRY - Wigierski Park Narodowy, Krzywe; KONICZYNKA - Uniwersytet M. Kopernika, Toruń; RÓŻANY STRUMIEŃ - Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Poznań; KAMPINOS - Kampinoski Park Narodowy, Izabelin; ŚWIĘTY KRZYŻ - Uniwersytet J. Kochanowskiego, Kielce; ROZTOCZE - Roztoczański Park Narodowy, Zwierzyniec; SZYMBARK - Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Kraków; KARKONOSZE - Karkonoski Park Narodowy, Jelenia Góra

W aktualnym rozmieszczeniu przestrzennym Stacji Bazowych ZMŚP można wyróżnić dwa transekty południkowe, które ukazują równoleżnikowy układ głównych stref krajobrazowych Polski:

1. transekt zachodni: strefa młodoglacjalna Niżu Polskiego (Stacje Bazowe: Wolin, Storkowo, Różany Strumień), strefa górska (Stacja Bazowa Karkonosze),
2. transekt wschodni: strefa młodoglacjalna Niżu Polskiego (Stacje Bazowe Wigry i Puszcza Borecka), strefa staroglacjalna Niżu Polskiego (Stacja Bazowa Kampinos), strefa wyżynna (Stacje Bazowe: Roztocze i Święty Krzyż) oraz strefa górska (Stacja Bazowa Szymbark).

W strefie młodoglacjalnej Nizy Polskiego można wyznaczyć transekt równoleżnikowy, przebiegający przez Stacje Bazowe: Wolin, Storkowo, Koniczynka, Puszcza Borecka i Wigry.

Tab. 2. Charakterystyka fizycznogeograficzna zlewni reprezentatywnych ZMŚP w 2017 roku

Zlewnia	Powierzchnia zlewni [km ²]	Zlewnia/Dorzecze	Mezoregion fizycznogeograficzny	Makroregion fizycznogeograficzny
Jez. Gardno	2,4	Morze Bałtyckie	Uznam i Wolin	Pobrzeże Szczecińskie
Parsęta	74,4	Parsęta	Pojezierze Drawskie	Pojezierze Zachodniopomorskie
Jez. Łękek	13,3	Węgorapa/Pregoła	Kraina Wielkich Jezior	Pojezierze Mazurskie
Czarna Hańcza	7,4	Niemen	Równina Augustowska	Pojezierze Litewskie
Struga Toruńska	35,2	Wisła	Pojezierze Chełmińskie	Pojezierze Chełmińsko-Dobrzyńskie
Różany Strumień	7,7	Warta/Odra	Pojezierze Poznańskie/ Poznański Przełom Warty	Pojezierze Wielkopolskie
Kanał Olszowiecki	20,2	Łąsica/Wisła	Kotlina Warszawska	Nizina Środkowo-Mazowiecka
Wieniec	1,3	Kamienna/Wisła	Góry Świętokrzyskie	Wyżyna Kielecko-Sandomierska
Świerszcz	46,5	Wieprz/Wisła	Roztocze Zachodnie/ Roztocze Środkowe	Roztocze
Bystrzanka	13,0	Ropa/Wisła	Beskid Niski / Pogórze Ciężkowickie Doły Jasielsko-Sanockie	Beskid Środkowy / Pogórze Środkowobeskidzkie
Wrzosówka	11,5	Kamienna/Odra	Karkonosze	Sudety Zachodnie

W strefie młodoglacjalnej Nizy Polskiego położone są następujące zlewnie ZMŚP: Jeziora Gardno (SB Wolin), górnej Parsęty (SB Storkowo), Jeziora Łękek (SB Puszcza Borecka), Czarnej Hańczy (SB Wigry), Strugi Toruńskiej (SB Koniczynka) i Różanego Strumienia (SB Różany Strumień). Pierwsze cztery spośród wymienionych zlewni są w niewielkim stopniu przekształcone antropogenicznie. Ostatnie dwie zlewnie są poddane intensywnej antropopresji (Koniczynka – zlewnia rolnicza, Różany Strumień – zlewnia miejska).

Zlewnia Jeziora Gardno (SB Wolin) reprezentuje geoekosystem nadmorski, położony na wyspie Wolin, na obszarze Wolińskiego Parku Narodowego. Cechą wyróżniającą badaną zlewnię jest jej nadmorskie położenie w strefie klimatu umiarkowanego, w zasięgu rzeźby terenu o charakterze młodoglacjalnym, gdzie występują znaczne różnice wysokości i duże 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 zlewni ZMŚP Jeziora Gardno jako zlewnię reprezentatywną dla podobnych jednostek przestrzennych położonych w nadmorskiej strefie młodoglacjalnej Polski.

Zlewnia górnej Parsęty będąca obiektem badań SB w Storkowie, położona jest w obrębie Pomorza Środkowego, w mezoregionie Pojezierza Drawskiego. Można ją uznać za reprezentatywną dla obszarów młodoglacjalnych umiarkowanej strefy klimatycznej i będącą jeszcze obszarem stosunkowo małych antropogenicznych przemian środowiska przyrodniczego.

Szczególną uwagę w północnym pasie pojezierzy zwraca SB Puszcza Borecka, gdzie występuje większość podstawowych zespołów leśnych typowych dla północno-wschodniej Polski. Na tym obszarze brak większych lokalnych źródeł zanieczyszczeń. Prowadzone badania jakości powietrza i wód docierających do podłoża zlewni Jeziora Łękek dostarczają informacji na temat dostawy i depozycji składników będących efektem transportu transgranicznego oraz ich wpływu na funkcjonowanie lokalnych ekosystemów leśnych i jeziornych.

Zlewnia badawcza SB Wigry zajmuje obszar należący do dorzecza Czarnej Hańczy. Krajobraz zlewni określają utwory i formy glacialne oraz fluwioglacjalne z okresu recesji lądolodu fazy pomorskiej. Obszar ten ma najbardziej surowe 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 na dnie podmokłej doliny. Tereny wzdłuż rzeki zajmuje kompleks torfowisk niskich i przejściowych, z których wiele zachowało swój pierwotny charakter.

Zlewnia Strugi Toruńskiej SB Koniczynka reprezentuje młodoglacjalny geoekosystem przekształcony rolniczo. Zlewnia jest położona w strefie podmiejskiej Torunia i podlega coraz większej presji ze strony rozbudowującego się miasta oraz rozwoju sieci transportowej. Zlewnia jest silnie zagrożona 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 wysokotowarowa produkcja rolnicza. Cały obszar jest prawie bezleśny i silnie zmeliorowany. Zlewnia Strugi Toruńskiej jest reprezentatywna dla krajobrazów pojeziernych ostatniego zlodowacenia bałtyckiego (Wisły) z dominacją rolniczego użytkowania terenu. Jej indywidualność wynika z intensywnej antropopresji, braku lasów i dominacji rolniczego użytkowania terenu.

Zlewnia Rózanego Strumienia jest pierwszą jednostką przestrzenną ZMŚP zlokalizowaną w obrębie dużej aglomeracji miejskiej. Położenie obszaru badań w granicach miasta Poznania pozwala na uzyskiwanie danych charakteryzujących skalę i tempo przemian zlewni rzecznych w wyniku presji urbanizacyjnej. Zlewnia Rózanego Strumienia jest zatem przykładem obszaru poddawanego procesowi silnej antropopresji. Postępujący proces przekształcenia naturalnej zlewni w zlewnię o cechach typowych dla obszarów zurbanizowanych polega na wkraczaniu na jej teren budownictwa mieszkaniowego oraz związanej z tym infrastruktury komunalnej i komunikacyjnej.

Krajobraz starogłacjalny Polski centralnej reprezentuje zlewnia Kanału Olszowieckiego (SB Kampinos), położona w Puszczy Kampinoskiej. Zlewnia zajęta jest przez geoekosystem bagienno-łukowy w różnych fazach naturalnej sukcesji. Geoekosystem znajduje się pod wpływem zanieczyszczeń atmosferycznych z Warszawy oraz zanieczyszczeń pochodzenia rolniczego z Równiny Łowicko-Błońskiej.

SB Święty Krzyż 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 klimatyczny, zdeterminowany głównie rzeźbą Gór Świętokrzyskich powoduje, że panują tu warunki dużej wilgotności powietrza, wysokich na ogół sum rocznych opadów oraz stosunkowo długich okresów z małą prędkością wiatrów i ciszami atmosferycznymi. Powyższe uwarunkowania stwarzają możliwość częstego i długotrwałego bezpośredniego oddziaływania mas powietrza atmosferycznego nasyconego emisjami przemysłowymi i komunikacyjnymi na hylo-, pedo- i hydrosferę.

Stacja Bazowa Roztocze realizuje badania w wyżynnej zlewni Świerszcza, która położona jest w mezoregionach Roztocza Środkowego i Roztocza Zachodniego. Rzeka Świerszcz jest źródleśnym ciekim, który bierze początek w obszarze mokradeł, w systemie borów bagiennych oraz torfowisk wysokich o ombrofilnym charakterze gospodarki wodnej. Rzeka na przeważającej długości biegu ma naturalny charakter i przecina stare drzewostany olchowe, sosnowe i jodłowe.

Stacja Bazowa Szymbark, zlokalizowana w zlewni Bystrzanki, reprezentuje geoekosystem Karpat Fliszowych, który narażony jest na zanieczyszczenia transgraniczne ze Słowacji i Małopolski. Organizowany monitoring w Stacji Szymbark uwzględnia specyfikę wynikającą z piętrowości występowania i natężenia procesów geomorfologicznych w górach, m.in. ruchów osuwiskowych i procesów erozji wodnej gleb.

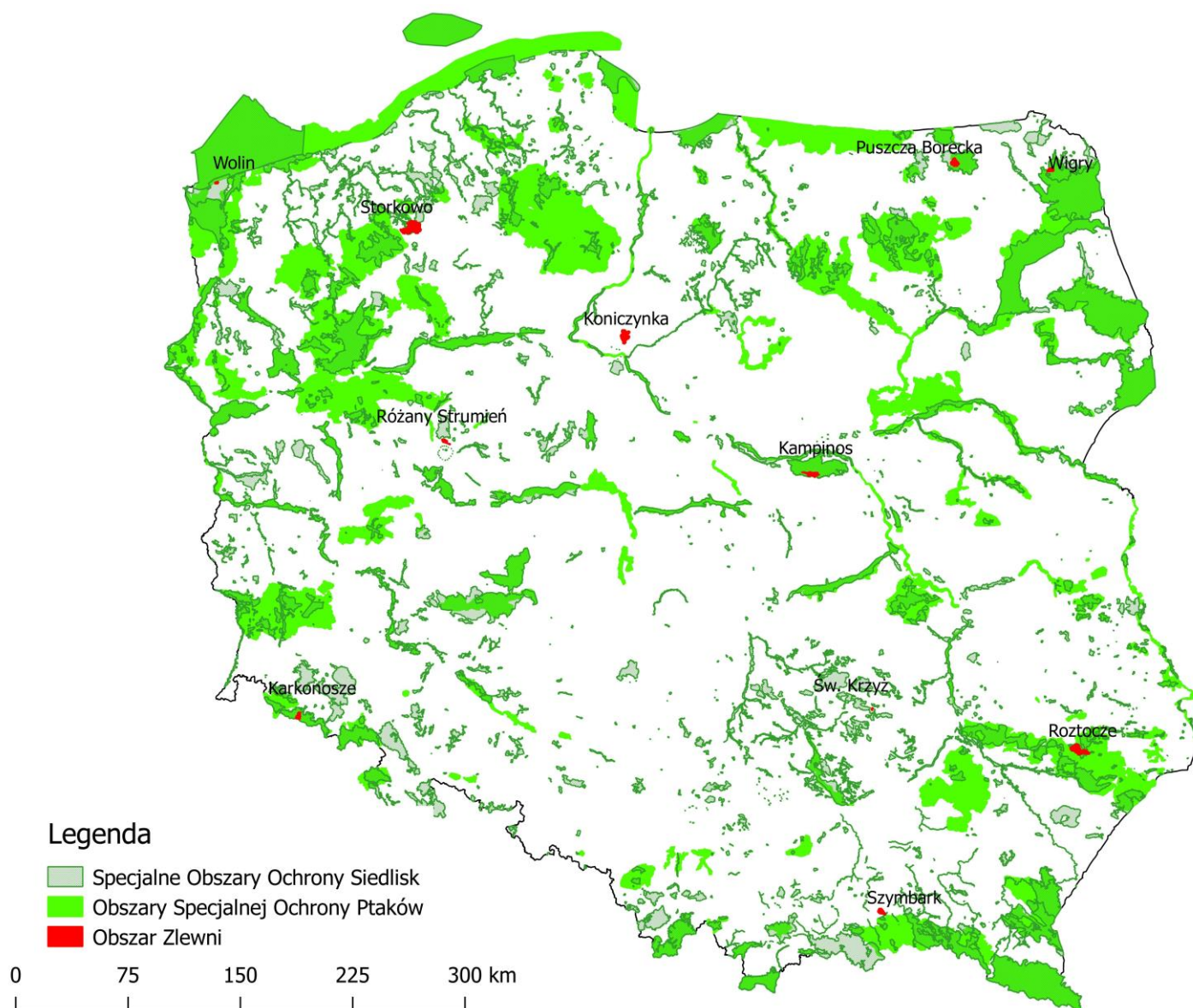
Stacja Bazowa Karkonosze położona w zlewni Wrzosówki reprezentuje krajobraz gór średnich. W zlewni występuje duża różnorodność ekosystemów, siedlisk i zbiorowisk roślinnych, charakteryzujących się typową dla obszarów górskich piętrowością. Piętro regła dolnego porośnięte jest lasami o strukturze siedliskowej 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.

3. ZLEWNIE BADAWCZE ZMŚP A OBSZARY SZCZEGÓLNIENIE CENNE PRZYRODNICZO: PARKI NARODOWE I 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 innych zadaniach dotyczących m. in. ochrony wartościowych siedlisk, zachowania dobrych warunków dla ochrony fauny i flory m. in. dziko żyjących ptaków (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

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

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). Ponadto zlewnia znajduje się w Wolińskim Parku Narodowym.

Około 35% powierzchni zlewni górnej Parsęty Stacji Bazowej Storkowo wchodzi w skład Obszaru Natura 2000 *Dorzecze Parsęty* (PLH320007) i *Jeziora Szczecineckie* (PLH 320009), (ryc. 5).

Zlewnia jeziora Łękuk monitorowana przez Stację Bazową Puszcza Borecka w około 80% położona jest w granicach obszaru Natura 2000 *Puszcza Borecka* (PLH280006), (ryc. 5).

Zlewnia Czarnej Hańczy, objęta monitoringiem Stacji Bazowej Wigry, wchodzi w około 80% w skład obszaru Natura 2000 *Ostoja Wigierska* (PLH200004), (ryc. 5). Ponadto zlewnia znajduje się w Wigierskim Parku Narodowym.

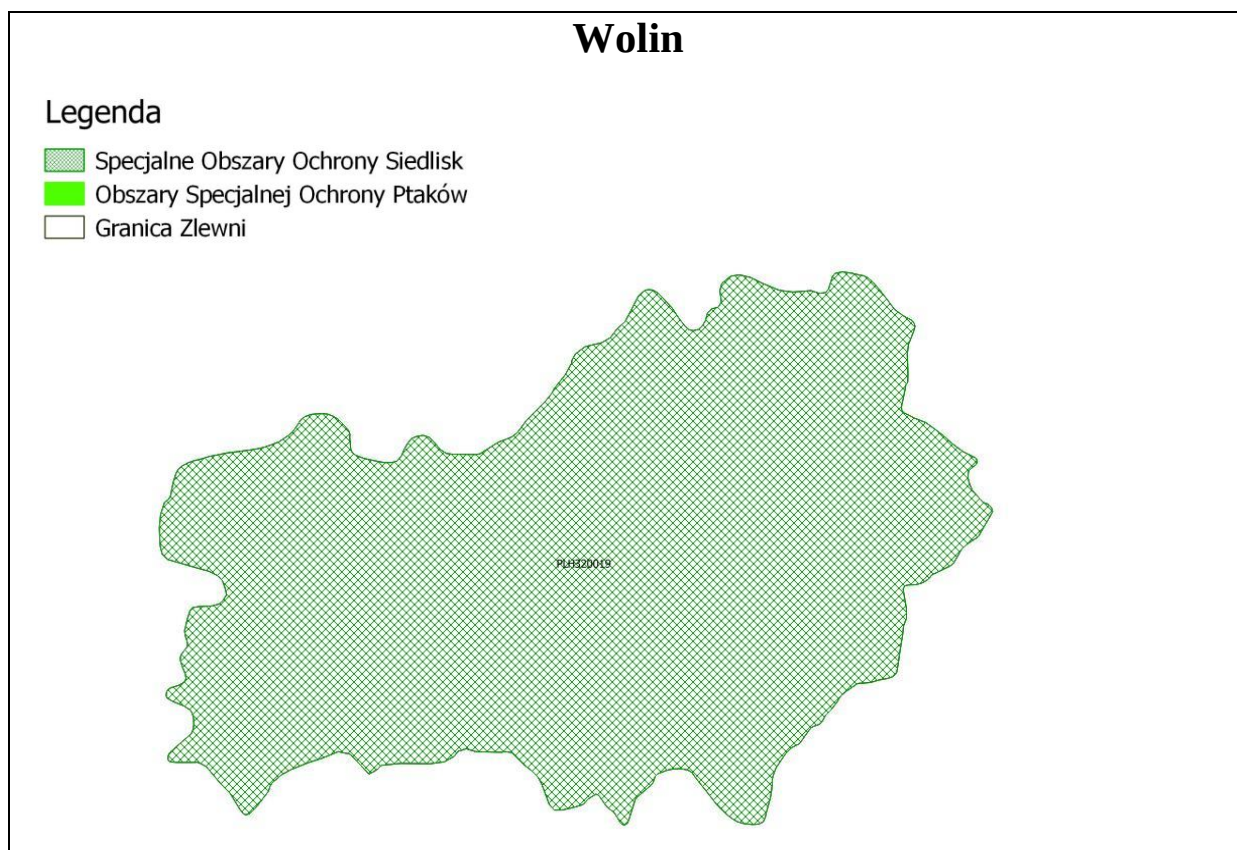
Zlewnia Kanału Olszowieckiego Stacji Bazowej Kampinos w około 85% położona jest na terenie obszaru Natura 2000 *Puszcza Kampinoska* (PLC140001) oraz w Kampinoskim Parku Narodowym (ryc. 5).

Około 75% zlewni badawczej Stacji Bazowej Święty Krzyż leży w granicach obszaru Natura 2000 *Łysogóry* (PLH260002) oraz na terenie Świętokrzyskiego Parku Narodowego (ryc. 5).

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 zawiera się w granicach otuliny parku narodowego. W całości zlewnia Świerszcza znajduje się na obszarze specjalnej ochrony ptaków Natura 2000 *Roztocze* PLB060012 (ryc. 5).

Zlewnia Wrzosówki Stacji Bazowej Karkonosze położona jest w Karkonoskim Parku Narodowym i jego otulinie oraz na obszarach Natura 2000: *Karkonosze* PLH020006 i *Karkonosze* PLB020007 (ryc. 5).

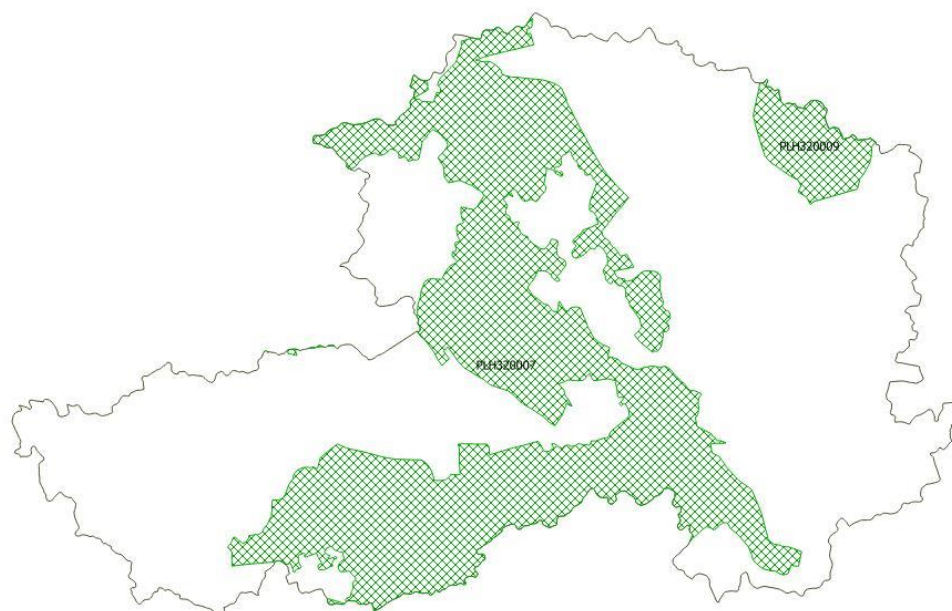
W granicach zlewni Bystrzanki, Stacja Szymbark, znajduje się bardzo mały fragment obszaru Natura 2000 *Wisłoka z dopływami* PLH 180052.



Storkowo

Legenda

-  Specjalne Obszary Ochrony Siedlisk
-  Obszary Specjalnej Ochrony Ptaków
-  Granica Zlewni



Puszcza Borecka

Legenda

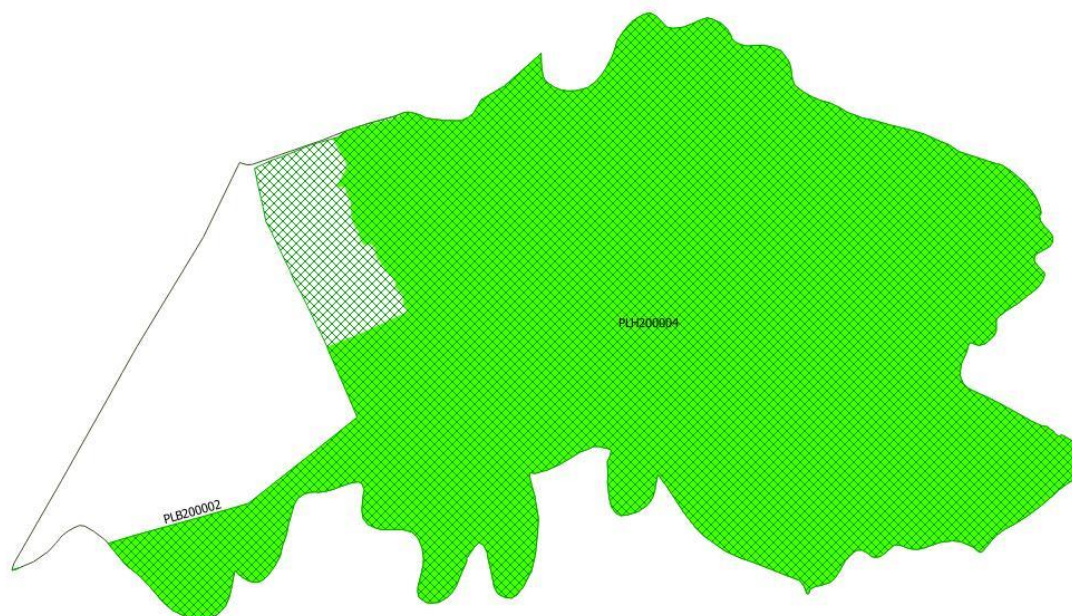
-  Specjalne Obszary Ochrony Siedlisk
-  Obszary Specjalnej Ochrony Ptaków
-  Granica Zlewni



Wigry

Legenda

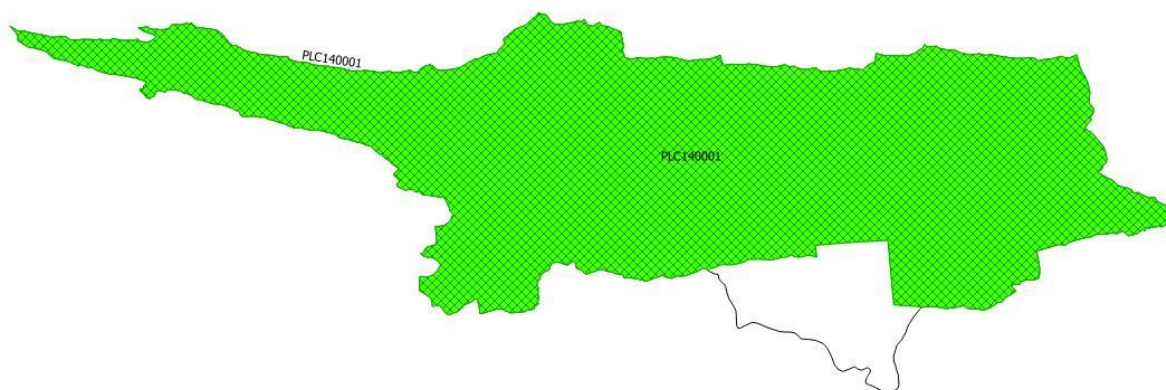
-  Specjalne Obszary Ochrony Siedlisk
-  Obszary Specjalnej Ochrony Ptaków
-  Granica Zlewni



Kampinos

Legenda

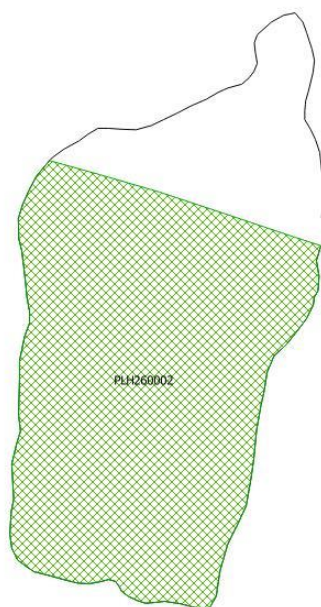
-  Specjalne Obszary Ochrony Siedlisk
-  Obszary Specjalnej Ochrony Ptaków
-  Granica Zlewni



Święty Krzyż

Legenda

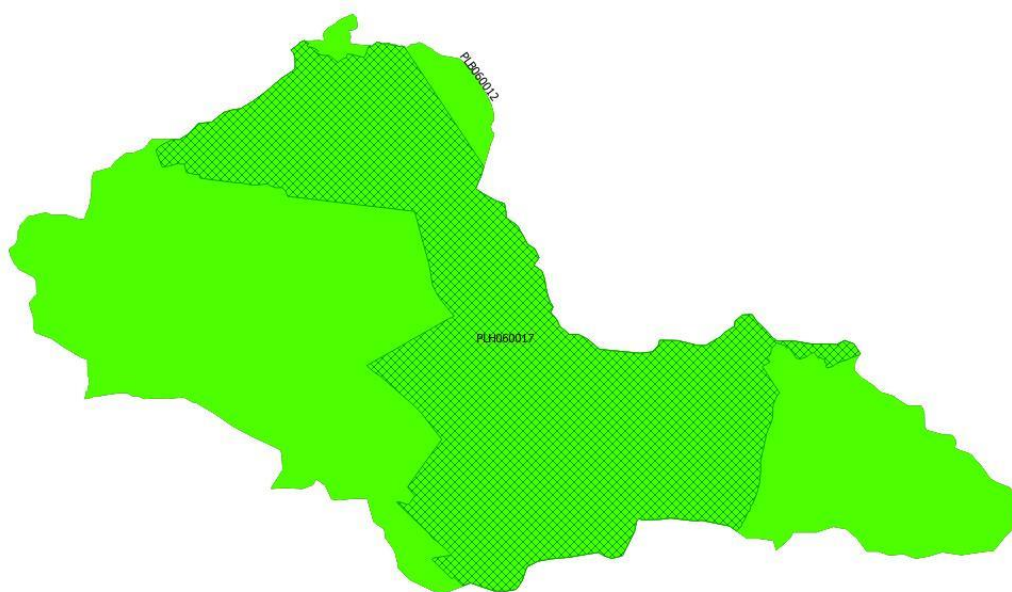
-  Specjalne Obszary Ochrony Siedlisk
-  Obszary Specjalnej Ochrony Ptaków
-  Granica Zlewni

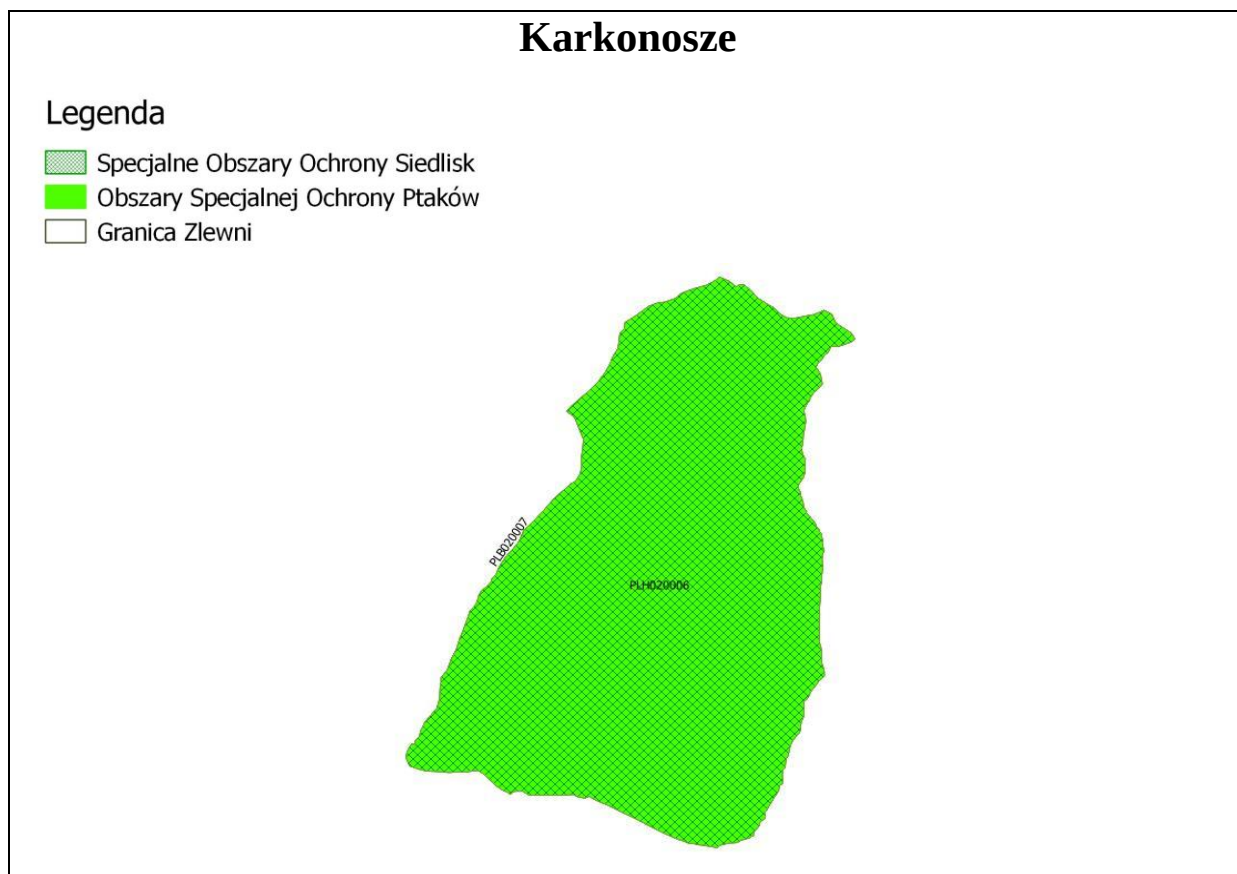


Roztocze

Legenda

-  Specjalne Obszary Ochrony Siedlisk
-  Obszary Specjalnej Ochrony Ptaków
-  Granica Zlewni





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. 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 2017 roku Stacje Bazowe ZMŚP zrealizowały pełen zakres programów pomiarowych ZMŚP (tab. 3). Niektóre programy wykonywane były we współpracy z jednostkami zewnętrznymi np. program zanieczyszczenia powietrza z Wojewódzkimi Inspektoratami Ochrony Środowiska (np. zachodniopomorski, lubelski).

Niektóre Stacje Bazowe nie realizowały pełnego zakresu programowego ze względu na brak komponentów środowiska przyrodniczego w badanej zlewni. Stacja Bazowa Koniczynka ze względu na brak zwartej powierzchni leśnej w zlewni Strugi Toruńskiej nie wykonywała programów chemizmu opadu podkoronowego, chemizmu spływu po pniach, opadu organicznego oraz uszkodzenia drzew i drzewostanów. Program chemizmu spływu po pniach wykonywany był obligatoryjnie jedynie na powierzchniach badawczych z dominacją

drzewostanu liściastego, tzn. przez Stacje ZMŚP: Wolin, Puszcza Borecka, Święty Krzyż, Roztocze i Szymbark. Program wody powierzchniowe jeziora wykonywany był w zlewniach zawierających jeziora - tylko w Stacjach położonych w strefie młodoglacjalnej Polski: Wolin, Storkowo, Puszcza Borecka i Koniczynka. W Stacji Puszcza Borecka ze względu na brak odpowiedniego cieku nie wykonywano programu wody powierzchniowe rzeki.

Tab. 3. Podstawowy program pomiarowy realizowany przez Stacje Bazowe ZMŚP w 2017 roku

Program pomiarowy	Wolin	Storkowo	Puszcza Borecka	Wigry	Koniczynka	Różany Strumień	Kampinos	Święty Krzyż	Roztocze	Szymbark	Karkonosze
Meteorologia A1											
Zanieczyszczenie powietrza B1											
Chemizm opadów atmosferycznych C1											
Chemizm opadu podkoronowego C2											
Chemizm spływu po pniach 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 zespołami specjalistycznymi, np. WIOŚ, IOŚ					nie zrealizowany – awaria, brak sprzętu lub inne przyczyny					

W tabeli 4 przedstawiono programy i parametry pomiarowe zrealizowane w 2017 roku przez Stacje ZMŚP, zarówno w ramach zakresu obligatoryjnego jak i rozszerzonego. Zrealizowano 13 programów ZMŚP, wśród których badano 132 parametry podstawowe i 58 parametrów rozszerzonych.

Tab. 4. Zakres programów i parametrów pomiarowych ZMŚP wykonanych w Stacjach Bazowych w 2017 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 (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 dobową	
	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	
	natężenie promieniowania całkowitego – suma dobową	SOL_T_S	pomiar ciągły/suma dobową ze średnich godzinnych	
	uśłonecznienie	SOL_P	pomiar ciągły/suma dobową	
	Zakres rozszerzony			
	czas trwania opadów	RR_P	rejestracja ciągła	Puszcza Borecka

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, Koniczynka, Kampinos, Święty Krzyż, Roztocze, Szymbark	
	azot w dwutlenku azotu N-NO ₂ (metoda manualna lub automatyczna)	NDON		Puszcza Borecka	
	ozon O ₃	O3			Puszcza Borecka, Kampinos, Święty Krzyż, Roztocze,
	azot azotanowy [HNO ₃ (g)+NO ₃ (a)]	NO3N_T			Puszcza Borecka, Koniczynka, Kampinos,
	azot amonowy [NH ₃ (g)+NH ₄ (a)]	NH4N_T			
	dwutlenek węgla CO ₂	CO2			
	siarka siarczanowa S-SO ₄	SO4S			
	pył zawieszony	PM10			
	CHEMIZM OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH C1	Zakres obligatoryjny			
przewodność elektrolityczna właściwa (SEC)		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			
OPAD PODKORONOWY C2	Zakres obligatoryjny				
	opad podkoronowy	RR_TF	12/rok	Wszystkie Stacje	
	przewodność elektrolityczna właściwa (SEC)	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			

Stan geoekosystemów Polski w 2017 roku

	wapń Ca	CA		Puszcza Borecka		
	magnez Mg	MG				
	Zakres rozszerzony					
	fosfor ogólny P _{ogól.}	PTOT	12/rok z próbek tygodniowych			
	mangan Mn	MN				
	żelazo Fe	FE				
	glin Al	AL				
SPŁYW PO PNIACH C3	Zakres obligatoryjny			Obligatoryjnie tylko dla drzewostanu liściastego. Wykonano: Wolin, Puszcza Borecka, Święty Krzyż, Roztocze, Szymbark		
	spływ po pniach	RR_SF	12/rok			
	przewodność elektrolityczna właściwa (SEC)	COND	12/rok z próbek tygodniowych			
	odczyn (pH)	PH				
	siarka siarczanowa S-SO4	SO4S				
	azot azotanowy N-NO3	NO3N				
	azot amonowy N-NH4	NH4N				
	chlorki Cl	CL				
	sód Na	NA				
	potas K	K				
	wapń Ca	CA				
	magnez Mg	MG				
	Zakres rozszerzony			Puszcza Borecka		
	fosfor ogólny P _{ogól.}	PTOT	12/rok z próbek tygodniowych			
	mangan Mn	MN				
	żelazo Fe	FE				
	glin Al	AL				
	CHEMIZM ROZTWORÓW GLEBOWYCH F1	Zakres obligatoryjny			Wszystkie Stacje	
		przewodność elektrolityczna właściwa (SEC)	COND	1/miesiąc		
odczyn (pH)		PH				
siarka siarczanowa S-SO4		SO4S				
azot azotanowy N-NO3		NO3N				
azot amonowy N-NH4		NH4N				
fosfor ogólny P _{ogól.}		PTOT				
chlorki Cl		CL				
wodorowęglany (pH > 4,5)		HCO3				
wapń Ca		CA				
magnez Mg		MG				
sód Na		NA				
potas K		K				
glin Al		AL				
Zakres rozszerzony			Puszcza Borecka			
żelazo Fe		FE				
mangan Mn		MN				
WODY PODZIEMNE F2		Zakres obligatoryjny			pomiar automatyczny lub 1/miesiąc	Wszystkie Stacje
		poziom wód gruntowych lub wydajność źródła	WL SPRING_D			
	temperatura wody	TEMP	1/kwartał			
	odczyn pH	PH				
	przewodność elektrolityczna właściwa (SEC)	COND				
	wodorowęglany (jeżeli pH > 4,5)	HCO3				
	wapń Ca	CA				
	magnez Mg	MG				
	sód Na	NA				
	potas K	K				
	siarka siarczanowa S-SO4	SO4S				
	azot azotanowy N-NO3	NO3N				

Stan geoekosystemów Polski w 2017 roku

	azot amonowy N-NH4	NH4N		
	fosfor ogólny Pogól.	PTOT		
	chlorki Cl	CL		
	tlen rozpuszczony O2	O2		
	glin Al	AL		
	BZT5	BZT5		
	Zakres rozszerzony			
	krzemionka SiO2	SIO2	1/kwartał	Storkowo, Puszcza Borecka
	rozpuszczony węgiel organiczny RWO	DOC		Puszcza Borecka
	mangan Mn	MN		
	żelazo Fe	FE		
	kadm Cd	CD		
	miedź Cu	CU		
	ołów Pb	PB		
	cynk Zn	ZN		
	nikiel Ni	NI		
	arsen As	AS		
	chrom Cr	CR		
OPAD ORGANICZNY G2	Zakres obligatoryjny			
	opad organiczny (masa sucha)	LDEP_D_f	12/rok	Wszystkie Stacje —oprócz Koniczynki (brak powierzchni leśnej)
	całkowity węgiel organiczny Corg	TOC	1 rok z próbek miesięcznych	
	azot ogólny Nogól.	NTOT		
	fosfor ogólny Pogól.	PTOT		
	potas K	K		
	Zakres rozszerzony			
	siarka ogólna Sogól.	STOT	1 rok z próbek miesięcznych	Puszcza Borecka, Kampinos, Roztocze, Szymbark
	wapń Ca	CA		Puszcza Borecka, Roztocze, Szymbark
	magnez Mg	MG		
	sód Na	NA		Święty Krzyż
	mangan Mn	MN		
	cynk Zn	ZN		
	bor B	B		
	miedź Cu	CU		
	molibden Mo	MO		
	ołów Pb	PB		
	kadm Cd	CD		
WODY POWIERCHNIOWE RZEKI H1	Zakres obligatoryjny			
	poziom wody	WL	ciągła rejestracja	Wszystkie Stacje — oprócz Puszczy Boreckiej (brak cieku)
	zjawiska lodowe		obserwacja	
	zarastanie koryta			
	przepływ obliczony na podstawie aktualnej krzywej przepływu	Q_E	1/doba	
	temperatura wody	TEMP	1/miesiąc	
	przewodność elektrolityczna (SEC)	COND		
	odczyn pH	PH		
	wodorowęglany (jeżeli pH > 4,5)	HCO3		
	sód Na	NA		
	potas K	K		
	wapń Ca	CA		

	magnez Mg	MG		
	azot azotanowy N-NO3	NO3N		
	azot amonowy N-NH4	NH4N		
	siarka siarczanowa S-SO4	SO4S		
	chlorki Cl	CL		
	fosfor ogólny Pogól.	PTOT		
	tlen rozpuszczony O2	O2D		
	glin Al	AL		
	BZT5	BZT5		
	zawiesina	SUS		
	Zakres rozszerzony			
krzemionka SiO2	SIO2	1/miesiąc	Storkowo	
fosfor fosforanowy P-PO4	PO4P			
mangan Mn	MN			
żelazo Fe	FE			
WODY POWIERZCHNIOWE JEZIORA H2	Zakres obligatoryjny			
	poziom wody	WL	1/miesiąc	Wolin, Storkowo, Puszcza Borecka, Koniczynka
	temperatura wody	TEMP	1/kwartał	
	przewodność elektrolityczna (SEC)	COND		
	odczyn pH	PH		
	wodorowęglany (jeżeli pH > 4,5)	HCO3		
	sód Na	NA		
	potas K	K		
	wapń Ca	CA		
	magnez Mg	MG		
	azot azotanowy N-NO3	NO3N		
	azot amonowy N-NH4	NH4N		
	siarka siarczanowa S-SO4	SO4S		
	chlorki	CL		
	fosfor ogólny Pogól.	PTOT		
	fosfor fosforanowy PO4P	PO4P		
	tlen rozpuszczony O2	O2D		
	BZT5	BZT5		
	glin Al	AL		
	Zakres rozszerzony			
	zawiesina	SUS	1/kwartał	Storkowo, Puszcza Borecka
	krzemionka SiO2	SIO2		
	mangan Mn	MN		
	żelazo Fe	FE		
	fosfor fosforanowy PO4P	PO4P		Puszcza Borecka
	rozpuszczony węgiel organiczny RWO	DOC		
	kadm Cd	CD		
	miedź Cu	CU		
	ołów Pb	PB		
	cynk Zn	ZN		
	nikiel Ni	NI		

GATUNKI INWAZYJNE OBCEGO POCHODZENIA – ROŚLINY J3	Zakres obligatoryjny			
	liczba gatunków	NSPEC	1/rok	Wszystkie Stacje
	liczebność osobników juwenilnych (siewek)	NUM_J		
	liczebność osobników dorosłych	NUM_M		
USZKODZENIA DRZEW I DRZEWOSTANÓW K1	Zakres obligatoryjny			
	defoliacja	DEFO	1/rok	Wszystkie Stacje (oprócz Koniczynki – brak powierzchni leśnej)
	odbarwienie	DISC		
	pierśnica (średnica na wys. 1,3 m) pnia	DBH	1/5 lat	
EPIFITY NADRZEWNE M1	Zakres obligatoryjny			
	powierzchnia plechy	COVE_SPE C	1/rok	Wszystkie Stacje
	zdrowotność plechy	HEALTH_L		
	liczba osobników na pniu			

W 2017 roku na Stacjach Bazowych wykonywane były zadania specjalistyczne przez Ekspertów ZMŚP, które dotyczyły określenia stanu środowiska przyrodniczego, głównie w odniesieniu do programów biotycznych realizowanych przeważnie 1 raz na 3 lata (tab. 4).

Tab. 4. Programy badawczo-pomiarowe ZMŚP zrealizowane w Stacjach Bazowych ZMŚP przez Ekspertów ZMŚP w 2017 roku

Program pomiarowy	Wolin	Storkowo	Puszcza Borecka	Wigry	Koniczynka	Różany Strumień	Kampinos	Święty Krzyż	Roztocze	Szymbark	Karkonosze
Metale ciężkie i siarka w porostach D1											
Gleby E1											
Hydrobiologia rzek – makrofity i ocena hydromorfologiczna koryta rzecznego I1											
Ocena usług geoekosystemów R1											
	zrealizowany przez Eksperta ZMŚP			nie wykonywany w 2017 roku – obligatoryjnie do realizacji w kolejnych latach							

W 2017 roku w Stacjach Bazowych dokonano modelowania zmian bilansu wodnego w oparciu o model SWAT. Głównym celem było ustawienie, dopasowanie parametrów modelu teoretycznego do danych rzeczywistych. Dokonano kalibracji i walidacji modelu w celu określenia przyszłych scenariuszy zmian środowiska przyrodniczego badanych zlewni. Określono prognozę warunków wodnych w zlewniach ZMŚP, np. odpływu fluwialnego do 2020 roku.

Ponadto Stacje Bazowe realizowały w 2017 roku programy specjalistyczne, których zakres wynikał ze specyfiki położenia zlewni, ich indywidualności przyrodniczej i warunków fizycznogeograficznych:

- morfodynamika wybrzeża klifowego (SB Wolin),
- erozja wodna gleb (SB Storkowo),
- zanieczyszczenia atmosfery metalami ciężkimi i WWA (SB Puszcza Borecka),
- zmiany zasobów wodnych systemu rzeczno-jeziornego Czarna Hańcza, zmiany poziomu wód gruntowych w podmokłych ekosystemach leśnych i ich wpływ na zdrowotność drzewostanów (SB Wigry),
- monitoring fauny glebowej w agroekosystemach, monitoring populacji lęgowych dymówki, bilans promieniowania (SB Koniczynka),
- monitoring migracji zanieczyszczeń w wodach podziemnych (SB Różany Strumień),
- monitoring zimujących nietoperzy i bociana białego (Stacja Bazowa Kampinos),
- funkcjonowanie geoekosystemu w warunkach alkalicznej imisji (SB Święty Krzyż),
- monitoring flagowych gatunków ptaków, monitoring lęgowych sów leśnych, monitoring rzadkich dzięciołów, monitoring pospolitych ptaków lęgowych (SB Roztocze),
- erozja wodna gleb, rozbryzg (SB Szymbark),
- właściwości fizyczne i chemizm pokrywy śnieżnej (SB Karkonosze).

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, bilans wodny. Powyższe wskaźniki ilościowe zasobów wodnych odnoszą się do 2017 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,
- ilość 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, która charakteryzuje się w regionach północno-zachodnich cechami oceanizmu (zwłaszcza Stacje Wolin i Storkowo) a w regionach południowo-wschodnich cechami kontynentalizmu (głównie Stacje Roztocze oraz Szymbark), (tab. 5). O zmienności przestrzennej warunków termicznych świadczyć może również spadek średniej rocznej temperatury powietrza w północnej strefie młodoglacjalnej Nizy Polskiego, z zachodu na wschód, od wartości 9,5°C w Wolinie, poprzez 8,5°C w Storkowie i 7,7°C w Puszczy Boreckiej do 7,5°C w Wigrach (2009-2017). W powyższym transekcie równoleżnikowym bardzo dobrze zaznacza się wpływ oceanizmu (Stacje Wolin i Storkowo) oraz kontynentalizmu (Stacje Puszcza Borecka, Wigry), które kształtują termiczne właściwości klimatu strefy młodoglacjalnej Polski. Współczynnik kontynentalizmu wg Gorczyńskiego w 2017 roku wynosił od 20% w Stacji Bazowej Wolin do 26% w Stacji Bazowej Wigry. Bardziej wyraźny wzrost wskaźnika kontynentalizmu Gorczyńskiego stwierdzono w układzie południkowym, gdzie w 2017 roku jego wartość wynosiła od 20% w Stacji Bazowej Wolin do 36% w Stacji Bazowej Szymbark. Wzrost kontynentalizmu klimatu w Polsce północnej nie wykazuje wyraźnej zmienności (głównie spadku) rocznej sumy opadów w kierunku wschodnim. Średnia roczna suma opadów (1995-2017) w strefie młodoglacjalnej wynosiła od 759 mm w Storkowie do 771 mm w Puszczy Boreckiej. Natomiast stwierdzono wyraźne zmniejszenie się ilości opadów w transekcie południkowym Nizy Polskiego (1995-2017), np. od Stacji Bazowej Storkowo (759 mm) do Stacji Bazowej Kampinos (665 mm). W Stacjach Bazowych położonych dalej na południe wyższe opady są efektem ich położenia na wyżej wyniesionych obszarach wyżynnych, a zwłaszcza górskich (np. Stacja Szymbark 955 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: Święty Krzyż w Górach Świętokrzyskich, Szymbark w Beskidzie Niskim, Karkonosze w Sudetach) czy odległością od dużych zbiorników wodnych (np. nadmorskie położenie Stacji Wolin, bliskie sąsiedztwo dużych jezior Stacji Puszcza Borecka i Wigry).

Tab. 5. Średnia temperatura powietrza i suma opadów atmosferycznych dla Stacji Bazowych ZMŚP

Stacja ZMŚP (Okres pomiarowy - wielolecie)	Średnia temperatura powietrza		Suma opadów atmosferycznych	
	[°C]		[mm]	
	2017 r.	wielolecie	2017 r.	wielolecie
Wolin (2009-2016)	9,6	9,3	669,3	618,2
Storkowo (1987-2016)	8,2	7,8	982,4	691,8
Puszcza Borecka (1994-2016)	7,4	7,2	951,5	678,6
Wigry (2002-2016)	7,2	8,1	710,6	597,6
Koniczynka (1994-2016)	8,5	8,6	727,2	543,1
Różany Strumień (2016)	9,3	10,2	741,4	652,0
Kampinos (1994-2016)	8,6	8,7	742,2	566,8
Święty Krzyż (2005-2016)	7,6	7,7	829,8	730,8
Roztocze (2012-2016)	8,0	8,5	668,6	730,8
Szymbark (1994-2016)	8,8	8,6	1037,4	867,2
Karkonosze (2016)	7,2	8,3	1001,4	1049,3

W zlewniach badawczych ZMŚP 2017 rok był zróżnicowany pod względem termicznym. W strefie młodoglacjalnej Polski północnej (Wolin, Storkowo, Puszcza Borecka) oraz w strefie górskiej Polski południowo-wschodniej (Szymbark) 2017 rok był cieplejszy od wielolecia. Wyraźnie chłodniej było w Polsce wschodniej (Wigry, Roztocze). Natomiast w Polsce centralnej średnia roczna temperatura powietrza była zbliżona do wielolecia (Koniczynka, Kampinos i Święty Krzyż). W 2017 roku szczególnie wysoka średnia roczna temperatura powietrza występowała w północno-zachodniej Polsce (ponad 9°C w Stacjach Wolin i Różany Strumień). Względnie wysoką średnią roczną temperaturę powietrza ponad 8,5°C stwierdzono także w Koniczyńce, Kampinosie i Symbarku. Natomiast zwłaszcza w Stacji Wigry i Roztocze średnia roczna temperatura powietrza w 2017 roku była wyraźnie niższa na tle wielolecia. W rozkładzie przestrzennym zaznaczył się wpływ uwarunkowań lokalnych związanych ze specyfiką położenia zlewni i ich użytkowania. Na wysoką wartość średniej temperatury powietrza w Różanym Strumieniu wpłynęło bliskie sąsiedztwo aglomeracji miasta Poznania, gdzie występuje tzw. miejska wyspa ciepła. Natomiast na Wolinie o podwyższonej temperaturze powietrza zdecydowały przede wszystkim warunki

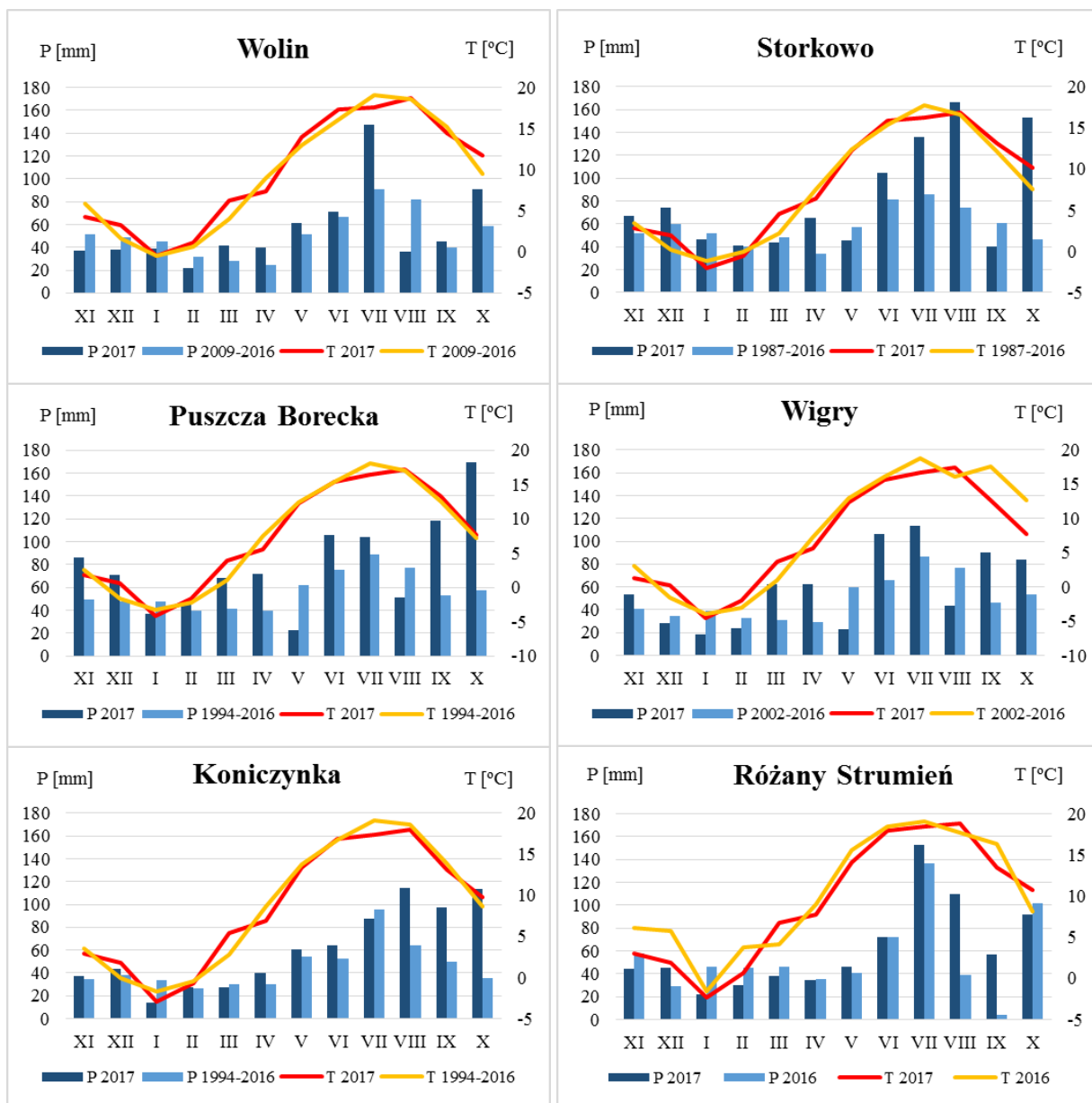
pogodowe o znaczeniu ponad regionalnym – łagodzące kontrasty termiczne oddziaływanie Morza Bałtyckiego (zwłaszcza niska frekwencja dni mroźnych na Wolinie).

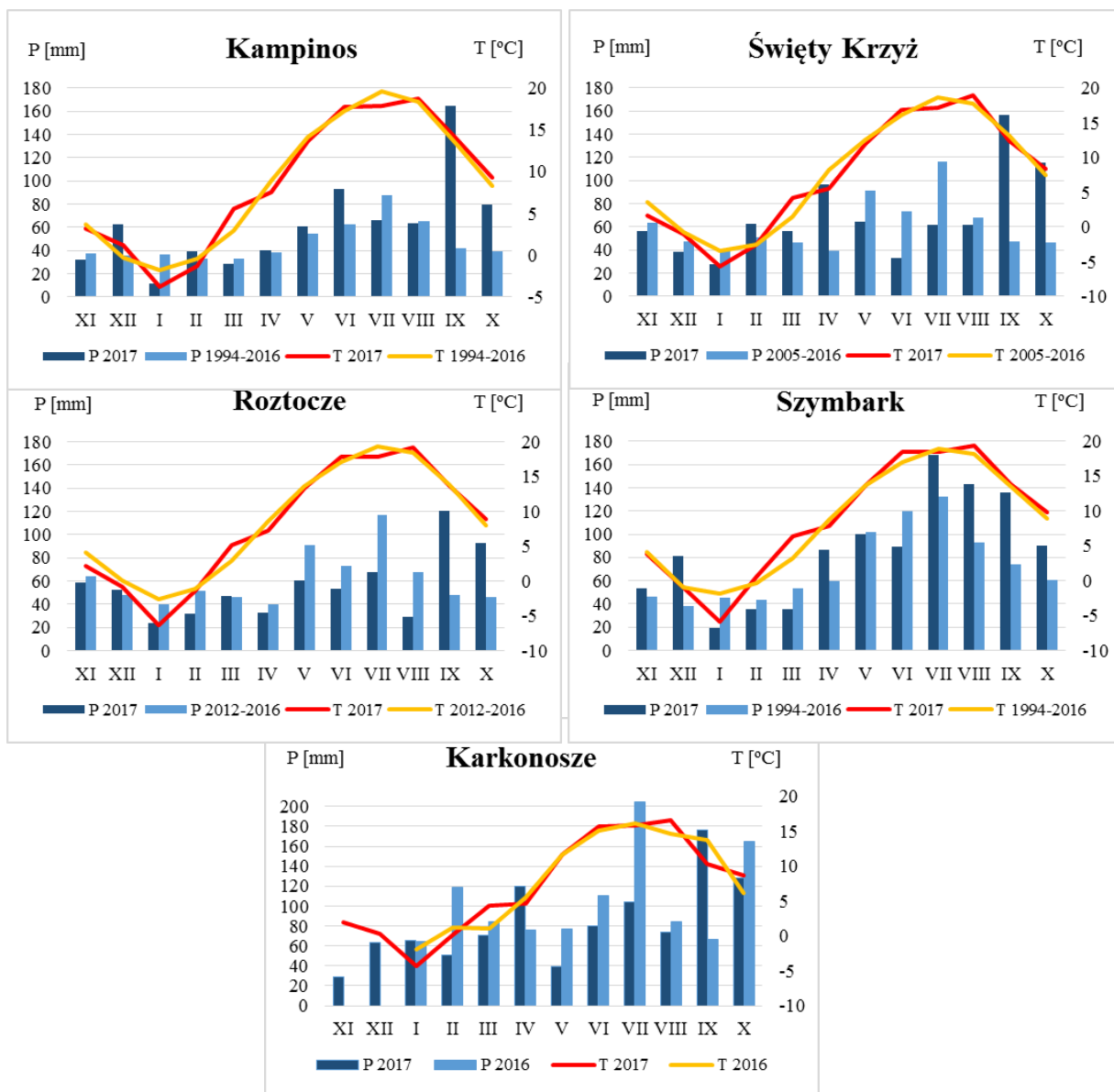
W większości badanych zlewni 2017 rok był zdecydowanie bardziej wilgotny niż wartości średnie z wielolecia (tab. 5). W zlewniach ZMŚP w 2017 roku korzystnie kształtowały się warunki opadowe. Szczególnie wysoka roczna suma opadów wystąpiła w Szymbarku (1037,4 mm), Karkonoszach (1001,0 mm), Storkowie (982,4 mm) i Puszczy Boreckiej (951,5 mm). Natomiast niższą sumę opadów atmosferycznych w 2017 roku od wartości przeciętnych zanotowano tylko w zlewni wyżynnej na Rostoku (668,6 mm).

W 2017 roku Stacja Wolin wyróżniała się wśród Stacji ZMŚP najwyższą średnią roczną temperaturą powietrza (9,6°C) i względnie niską sumą opadów atmosferycznych (669,3 mm). Potencjalnie w Polsce północno-zachodniej, w nadmorskim pasie krajobrazowym warunki były najmniej korzystne dla odbudowy zasobów wodnych. Podobna sytuacja występowała w Polsce południowo-wschodniej, w strefie wyżyn, na Stacji Rostocze (8,0°C i 668,6 mm). Natomiast względnie najlepsze warunki termiczno-opadowe dla retencji wody były w zlewniach ZMŚP położonych w strefie gór średnich (Szymbark i Karkonosze), gdzie średnia roczna temperatura powietrza była poniżej $\leq 9^{\circ}\text{C}$ a opady roczne bardzo wysokie (>1000 mm).

Uwarunkowania termiczno-opadowe, decydujące o odbudowie zasobów wodnych oraz możliwości rozwoju roślinności, wykazują względnie sprzyjający rozkład miesięczny w 2017 roku (ryc. 6). Przebieg miesięczny średniej temperatury powietrza w 2017 roku generalnie był zbliżony z rozkładem dla wielolecia. Miesięczny rozkład temperatury w 2017 roku przejawiał się typowym występowaniem termicznych pór roku i sezonu wegetacyjnego. Sezon wegetacyjny rozpoczął się w marcu lub na początku kwietnia i trwał do końca roku hydrologicznego. Do normalnego miesięcznego rozkładu temperatury powietrza w 2017 roku na tle wielolecia szczególnie dobrze „dopasowane” były geoeosystemy położone w strefie młodoglacjalnej nizinnej. Natomiast nieznacznie większe różnice stwierdzono w zlewniach położonych w strefie wyżynnej i górskiej, kiedy notowano niższe wartości temperatury w okresie zimowym, zwłaszcza w styczniu. Dla sfery biotycznej początkowy okres wegetacji (III-V) był bardzo korzystny, gdyż w tym czasie temperatura powietrza a zwłaszcza opady atmosferyczne były wyższe niż przeciętnie w wieloleciu. Generalnie rozkład miesięcznych warunków termiczno-opadowych sprzyjał rozwojowi roślinności i odbudowie zasobów wód powierzchniowych i podziemnych. Występująca nadwyżka opadów zasilala wody podziemne i przełożyła się w większości badanych geoeosystemów na wzrost stanów wód podziemnych. Wydatne opady w ciągu roku, a zwłaszcza w okresie letnim (lipiec, sierpień)

generowały wzrost poziomu wód powierzchniowych oraz krótkie wezbrania na ciekach (np. Parsęta w Storkowie, Bystrzanka w Szymbarku). Rozkład miesięczny opadów w 2017 roku na tle wielolecia cechował się większym zróżnicowaniem przestrzennym niż warunki termiczne. Generalnie przez większość miesięcy w roku notowano wyższe opady, zwłaszcza w półroczu ciepłym. W półroczu chłodnym, głównie od stycznia do marca opady były niższe od wartości z wielolecia. Nie wystąpiła wyraźna regionalizacja przestrzenna w Polsce dla miesięcznej atmosferycznej dostawy wody do zlewni.





Ryc. 6. Przebieg miesięczny temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2017 roku na tle wielolecia

Ilość dni charakterystycznych pod względem termiczno-wilgotnościowym

Na dynamikę obiegu wody w zlewniach ZMŚP w znacznym stopniu wpływają uwarunkowania meteorologiczne, ujęte m.in. w postaci ilości dni charakterystycznych pod względem termiczno-wilgotnościowym (tab. 6).

W 2017 roku występowało zróżnicowanie ilości dni charakterystycznych pod względem termicznym. W badanych geoekosystemach stwierdzono znacznie więcej zdarzeń z pogodą mroźną (średnio 45 dni) niż upalną (średnio 5 dni), co jest sytuacją bardzo korzystną, gdyż spowolniony jest wtedy obieg wody, a ograniczona ewapotranspiracja generuje wzrost retencji wody. Na Niżu Polskim występowało najmniej dni ekstremalnych (łącznie upalnych i mroźnych), średnio 37 (od 10 dni na Pobrzeżu Szczecińskim w Stacji Wolin do 58 dni na

Pojezierzu Litewskim w Stacji Wigry). Wśród ekstremów termicznych na Niżu Polskim zdecydowanie więcej było dni mroźnych (średnio 34 dni) niż dni upalnych (średnio 3 dni). Najwięcej dni mroźnych na Niżu Polskim występowało w Polsce północno-wschodniej, na Stacjach Puszcza Borecka (48 dni) i Wigry (56 dni). Strefa młodoglacjalna charakteryzowała się znikomym występowaniem dni upalnych (do 3 dni). Natomiast dni upalnych najwięcej było w strefie staroglacjalnej Niżu Polskiego, w Kampinosie (12 dni). Najwięcej dni mroźnych i upalnych występowało w strefie wyżynnej, średnio 94 dni, od 81 dni na Roztoczu do 104 dni w Górach Świętokrzyskich. W tej strefie notowano także zdecydowaną przewagę występowania dni mroźnych (67 dni Stacja Roztocze i 102 dni Stacja Święty Krzyż) nad dniami upalnymi (5 dni w Stacji Święty Krzyż i 14 dni w Stacji Roztocze). Strefa górską charakteryzowała się pośrednim występowaniem dni upalnych i mroźnych (średnio 57 dni, od 46 dni w Karkonoszach do 61 dni w Beskidzie Niskim – Stacja Szymbark). W górach również notowano przewagę występowania dni mroźnych (45-47 dni) nad dniami upalnymi (tylko 1 dzień w Stacji Karkonosze i 14 dni w Stacji Szymbark). W 2017 roku występowanie ekstremów termicznych charakteryzowało się wyraźnym układem przestrzennym, gdzie najbardziej sprzyjające „łagodne” warunki występowały w strefie nizinnej, na około 2/3 powierzchni kraju, w jego części północnej i środkowej. Natomiast najbardziej „ostre” warunki termiczne występowały w strefie południowo-wschodniej, wyżynnej. Z kolei pośrednie warunki termiczne stwierdzono w południowej, górskiej części Polski.

Frekwencja dobowej wydajności opadów wykazała w 2017 roku występowanie zróżnicowania przestrzennego, nawiązujące do struktury krajobrazowej Polski. Najwięcej dni z opadem ($\geq 0,1$ mm) występowało w strefie górskiej i nizinnej ~191 dni. Na Niżu Polskim zakres zmienności ilości dni z opadem wynosił od 176 dni w Wigrach do 212 w Puszczy Boreckiej. Te stacje położone są w bardzo bliskim sąsiedztwie (~70 km) ale różnica ilości dni z opadem wynosiła ponad miesiąc, co potwierdza regułę niejednorodności przestrzennej opadów w Polsce. W górach zdecydowanie więcej opadów występowało w Karkonoszach (212 dni) niż w Beskidzie Niskim (167 dni). Najmniej sprzyjające warunki opadowe występowały w strefie wyżynnej, gdzie średnio zanotowano 158 dni z opadem, od 145 dni na Świętym Krzyżu do 170 dni na Roztoczu. Odnośnie opadów o dużej wydajności (≥ 10 mm) najwięcej takich zdarzeń odnotowano w górach (średnio 28 dni) a najmniej na nizinach (średnio 20 dni). Jednakże różnice między regionalne nie były bardzo znaczące. Większe różnice stwierdzono w największej powierzchniowo strefie Niżu Polskiego, gdzie występował układ równoleżnikowy frekwencji najbardziej wydajnych opadów: mała ilość zdarzeń (14 dni) w regionie Pobrzeży Południowobałtyckich (Stacja Wolin), duża ilość

zdarzeń (22 dni) w regionie Pojezierzy Południowobałtyckich (Stacje: Storkowo, Konieczynka, Różany Strumień) i Pojezierzy Wschodniobałtyckich (Puszcza Borecka, Wigry) i ponownie mała ilość zdarzeń (16 dni) w regionie Nizin Środkowopolskich (Stacja Kampinos). Wyższa frekwencja wydajnych opadów atmosferycznych jest korzystna dla odbudowy zasobów wodnych, gdyż znaczna ilość wody nie jest „tracona” na ewapotranspirację. Pewne zagrożenie może wynikać z przyspieszonego obiegu wody przy ekstremalnie intensywnych opadach (dominacja spływu powierzchniowego i odpływu fluwialnego nad infiltracją i retencją wody w zlewni). Jednakże w 2017 roku wyjątkowo ekstremalnych opadów dobowych nie stwierdzono (max 55 mm na Stacji Szymbark). Odnosnie maksymalnego opadu dobowego nie stwierdzono znaczących różnic między badanymi regionami (max od 38 do 55 mm). O względnie dobrych warunkach pluwiometrycznych w 2017 roku świadczy znacznie wyższa niż w roku poprzednim frekwencja opadów powyżej 10 mm. Natomiast warunki śnieżne, podobnie jak w roku ubiegłym, odgrywały marginalną rolę w retencji wody w badanych zlewniach, co z kolei nie było czynnikiem sprzyjającym retencji wody. Pokrywa śnieżna zalegała od 20 dni w Stacji Różany Strumień do 99 dni w Karkonoszach, ale miała małą maksymalną miąższość - od zaledwie 3 cm w Stacji Różany Strumień do 41 cm w Karkonoszach.

Analiza rocznych wartości temperatury powietrza i opadów atmosferycznych oraz występowania charakterystycznych dni termiczno-opadowych wykazała potencjalnie najlepsze warunki dla strefy nizinnej i górskiej a najmniej sprzyjające dla strefy wyżynnej Polski. Generalnie warunki termiczno-opadowe w 2017 roku dla całego kraju można uznać za korzystne dla odbudowy zasobów wodnych i funkcjonowania przyrody ożywionej.

Tendencje zmian warunków cieplnych i wilgotnościowych w badanych zlewniach są nieistotne statystycznie ale można zauważyć prawidłowość wzrostu średniej rocznej temperatury powietrza (+) we wszystkich badanych zlewniach 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).

Tab. 6. Ilość dni charakterystycznych temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2017 roku

Element pogody	Stacja Bazowa ZMŚP										
	Wolin	Storkowo	Puszcza Borecka	Wigry	Koniczynka	Różany Strumień	Kampinos	Święty Krzyż	Roztocze	Szymbark	Karkonosze
Bardzo upalne T _{max} >35°C	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
Upalne T _{max} >30°C	0	0	1	2	2	3	11	5	13	14	1
Gorące T _{max} >25°C	20	16	15	20	26	40	36	22	46	68	17
Przymrozkowe T _{min} <0°C	55	102	114	129	92	93	98	109	127	109	114
Mroźne T _{sr} <0°C	10	23	39	40	27	22	27	81	45	26	36
Bardzo mroźne T _{min} <-10°C	0	6	9	16	6	4	10	21	22	21	9
Opad ≥0,1 mm	182	200	212	176	180	198	192	145	170	167	217
Opad ≥1,0 mm	111	140	156	136	119	108	121	112	116	123	145
Opad ≥10,0 mm	14	29	32	12	18	20	16	26	18	25	30
Max opad dobowy [mm]	40	46	24	54	32	29	48	38	25	55	48
Dni z pokrywą śnieżną	43	47	65	74	29	20	53	40	95	75	99
Średnia grubość pokrywy śnieżnej [cm]	14	6	11	16	4	3	6	20	28	18	41

Klasyfikacja termiczno-opadowa

Klasyfikacja termiczno-opadowa pozwala zaklasyfikować interwały czasowe (roczne i miesięczne) pod względem klimatycznych warunków dostawy i dalszego krążenia wody w zlewni (Szpikowski 2012, Tylkowski 2015a). Do ilościowego określenia rocznych właściwości klimatycznych zastosowano powszechnie stosowaną klasyfikację termiczną Lorenc (1998) oraz klasyfikację opadową Kaczorowskiej (1962). Klasyfikacja termiczno-opadowa ustala warunki meteorologiczne na poziomie relacji stosunków opadowych do warunków termicznych. Może być stosowana zarówno dla roku pomiarowego jak i dla okresów krótszych, np. miesięcznych. W opracowaniu dokonano klasyfikacji termiczno-opadowej w odniesieniu do lat hydrologicznych.

Opadową klasyfikację wyznaczono w oparciu o roczną sumę opadów atmosferycznych (p), u której leżą podstawy metodyki opracowanej przez Kaczorowską (1962). 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. 7).

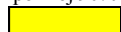
Tab. 7. Klasyfikacja opadowa dla roku (Kaczorowska 1962, zmienione)

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	$p \geq 110\% p_{\text{norm}}$

Tab. 8. Roczna klasyfikacja opadowa dla Stacji Bazowych ZMŚP

Rok	Wolin	Storkowo	Puszcza Borecka	Wigry	Koniczynka	Różany Strumień	Kampinos	Święty Krzyż	Roztocze	Symbark
1994										
1995										
1996										
1997										
1998										
1999										
2000										
2001										
2002										
2003										
2004										
2005										
2006										
2007										
2008										
2009										
2010										
2011										
2012										
2013										
2014										
2015										
2016										
2017										

poniżej 90%



suchy

90-110%



normalny

powyżej 110%



wilgotny

Klasyfikacja opadowa potwierdza dużą zmienność czasową i niejednorodność przestrzenną warunków opadowych w analizowanym okresie (tab. 8). Bardziej suchy okres przypadł na lata 2003-2006 (poza Wigrami i Symbarkiem). 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 roku występuje korzystna faza wzrostu atmosferycznej dostawy wody. W 2017 roku na wszystkich stacjach (poza Roztoczem) stwierdzono wyższą od przeciętnej roczną sumę

opadów atmosferycznych ($>110\%$ wartości normalnej). Klasyfikacja opadów w 2017 roku odzwierciedla sprzyjające warunki do retencji wody w zlewniach i odbudowy zasobów wodnych, które jeszcze trwały po wyjątkowo suchym 2015 roku (tab. 8).

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, (tab. 5). Dla temperatury powietrza zastosowano podział na 11 klas, który określa zmienność średniej rocznej temperatury powietrza (t_z) w stosunku do wartości odchylenia standardowego dla średniej rocznej temperatury z wielolecia (T), (tab. 9).

Tab. 9. Klasyfikacja termiczna roku wg Lorenc (1998)

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

Klasyfikacja termiczna przedstawia zmienność czasową i przestrzenną średniej rocznej temperatury powietrza (tab. 10). Znaczne różnice termiczne na 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 wyjątkowe skumulowanie lat ciepłych wystąpiło w okresach 2007-2009 i 2014-2016. W 2017 roku dla większości badanych geoeosystemów zakończony został okres o podwyższonej termice. Dla trzech geoeosystemów okres cieplejszy trwał nadal. Dotyczy to Polski północno zachodniej (Wolin i Storkowo) oraz południowo-wschodniej (Szymbark). W analizowanym roku było bardzo duże zróżnicowanie przestrzenne warunków termicznych. W czterech Stacjach był to rok normalny: Wigry, Konieczynka, Kampinos i Święty Krzyż. Dla dwóch

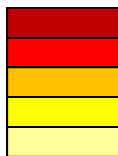
Stacji, Puszczy Boreckiej i Szymbarku ostatni rok był chłodniejszy a dla pozostałych czterech cieplejszy.

Na właściwości cieplne w 2017 roku w badanych zlewniach ZMŚP nie mały większego wpływu uwarunkowania lokalne, związane m. in. z wysokością położenia zlewni i jej odległością od dużych zbiorników wodnych. W kontekście zachowania zasobów wodnych w 2017 roku dość niekorzystna sytuacja termiczna występowała w Wolinie, gdzie był to rok ciepły. W strefie nadmorskiej wyższe parowanie ograniczało możliwości retencji wody.

Tab. 10. Roczna klasyfikacja termiczna dla Stacji Bazowych ZMŚP

Rok	Wolin	Storkowo	Puszcza Borecka	Wigry	Koniczynka	Różany Strumień	Kampinos	Święty Krzyż	Roztocze	Szymbark
1994										
1995										
1996										
1997										
1998										
1999										
2000										
2001										
2002										
2003										
2004										
2005										
2006										
2007										
2008										
2009										
2010										
2011										
2012										
2013										
2014										
2015										
2016										
2017										

ekstremalnie ciepły
anomalnie ciepły
bardzo ciepły
ciepły
lekko ciepły



normalny



lekko chłodny

chłodny

bardzo chłodny

anomalnie chłodny

ekstremalnie chłodny



Klasyfikacja termiczno-opadowa w 2017 dla wszystkich Stacji Bazowych ZMŚP wskazuje na potencjalnie korzystną sytuację do retencji wody w zlewniach ZMŚP, co przejawiało się zahamowaniem spadku a nawet wzrostem zasobów wód powierzchniowych i podziemnych. Bardzo korzystna sytuacja do odnowy zasobów wodnych występowała prawie w całym kraju, gdzie na stacjach notowano podwyższoną sumę opadów atmosferycznych a warunki termiczne były normalne lub lekko ciepłe i lekko chłodne. Przeciętna sytuacja pod względem odbudowy zasobów wodnych była w strefie nadmorskiej, gdzie dla Stacji Wolin rok 2017 był wilgotny ale ciepły.

Tab. 11. Klasyfikacja termiczno-opadowa dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2017 roku

2017 rok	Wolin	Storkowo	Puszcza Borecka	Wigry	Koniczynka	Różany Strumień	Kampinos	Święty Krzyż	Roztocze	Szymbark
Klasyfikacja termiczna	ciepły	lekko ciepły	lekko chłodny	normalny	normalny	lekko ciepły	normalny	normalny	lekko chłodny	lekko ciepły
Klasyfikacja opadowa	wilgotny	wilgotny	wilgotny	wilgotny	wilgotny	wilgotny	wilgotny	wilgotny	normalny	wilgotny
Sytuacja dla ochrony i odnowy zasobów wodnych	przeciętna	korzystna	korzystna	korzystna	korzystna	korzystna	korzystna	korzystna	korzystna	korzystna

Zdarzenia ekstremalne

Zróznicowanie przestrzenne wskaźnika oceanizmu i kontynentalizmu klimatu Polski oraz wyniesienie nad poziomem morza znajdują swoje odzwierciedlenie w mniejszych kontrastach termicznych w regionach NW niż w SE. W 2017 roku wartości ekstremalne temperatury powietrza były najmniejsze w nadmorskiej Stacji Wolin i wynosiły od -7,8°C do 30,0°C (amplituda 37,8°C). Największe ekstrema termiczne występowały w wyżynnej Stacji Roztocze od -24,8°C do 35,7°C (amplituda 60,5°C).

W 2017 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. Również maksymalne dobowe sumy opadów atmosferycznych nie były wyjątkowe (< 60 mm). Istotnym zdarzeniem meteorologicznym ograniczającym obieg wody i powodującym obniżanie poziomu wód powierzchniowych była susza meteorologiczna, kiedy opady nie występują przez co najmniej 15 dni. Takie zdarzenia wystąpiły 6 razy w SE Polsce na Roztoczu i tylko 1 raz w NE Polsce w Puszczy Boreckiej i Wigrach. W pozostałych regionach suszy meteorologicznej nie stwierdzono. Do innych zjawisk ekstremalnych ograniczających zasoby i obieg wody była fala upałów, którą odnotowano tylko 1 raz w Kampinosie i na Roztoczu. Poza tym na stacjach Święty Krzyż i Szymbark stwierdzono występowanie bardzo silnego wiatru, z średnią prędkością 10-minutowa > 15 m/s odpowiednio dla 40 i 6 dni.

W 2017 roku w sieci Stacji Bazowych ZMŚP nie stwierdzono szczególnie częstego występowania następujących zdarzeń ekstremalnych: silnych mrozów; późnego lub wczesnego występowania przymrozków; gwałtownych bądź długotrwałych opadów; długiego zalegania, gwałtownego przyrostu bądź wytapiania pokrywy śnieżnej; gwałtownych, niszczących burz i gradobicia; trąb powietrznych; długotrwałego utrzymywania się mgły.

Można uznać, że w 2017 roku hydrologicznym do najbardziej uciążliwych zjawisk ekstremalnych należały epizodycznie występujące lokalne susze i silne mrozy (Polska SE).

Jednakże 2017 rok w porównaniu z rokiem ubiegłym miał znacznie mniej ekstremalnych zdarzeń pogodowych zakłócających obieg wody.

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 R_M określono w oparciu o zależność:

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

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

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

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

W 2017 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 (Storkowo i Wigry) lub wzrost retencji (Wolin). Natomiast bardzo duże zróżnicowanie zmian retencji występowało w Polsce środkowej i południowej, zwłaszcza na stacjach Kampinos, Roztocze, Szymbark i Karkonosze. W układzie miesięcznym najlepsze warunki do retencji wody były w sezonie jesiennym (od listopada do grudnia 2016 roku i od września do października 2017 roku). Natomiast niekorzystne warunki dla retencji wody, nawet jej spadek, zanotowano w okresie

letnim (od maja do sierpnia 2017 roku) i w porze zimowej (styczeń 2017 roku). Pogorszenie retencji wód podziemnych w półroczu ciepłym wynikało ze zwiększonej ewapotranspiracji, ograniczającej infiltrację wody opadowej do wód podziemnych. Natomiast pogorszenie warunków retencyjnych w styczniu 2017 roku wynikało z przemarznięcia przypowierzchniowej warstwy gruntu i w konsekwencji ograniczonego zasilania wód podziemnych. W ujęciu regionalnym najlepsze warunki dla retencji wód podziemnych występowały w strefie młodoglacjalnej Nizy Polskiego, względnie gorsze warunki retencji występowały na południe od tej strefy.

Tab. 12. Wskaźnik miesięcznych zmian retencji R_m dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2017 roku hydrologicznym

Stacja ZMŚP	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Wolin												
Storkowo												
Puszcza Borecka												
Wigry												
Koniczynka												
Różany Strumień												
Kampinos												
Święty Krzyż												
Roztocze												
Szymbark												
Karkonosze												

spadek retencji
 retencja bez zmian
 wzrost retencji
 analiza niemożliwa z przyczyn metodycznych (źródło - niemożliwe określenie stanu wody)

Generalnie przebieg wskaźnika retencji wód podziemnych potwierdza dobry stan ilościowy wód podziemnych badanych zlewni w 2017 roku (tab. 12), czego przejawem była niska możliwość wystąpienia zagrożenia w postaci niżówki hydrogeologicznej (tab. 13).

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:

$$k_n = 1 - G/SNGw_{(1994-2017)}$$

gdzie: G – stan aktualny, określany jako głębokość położenia zwierciadła wody, przyjmowany umownie jako pierwszy pomiar w rozpatrywanym miesiącu; $SNGw_{(1994-2017)}$ – 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 2017 roku hydrologicznym uśrednione wartości wskaźnika zagrożenia niżówką hydrogeologiczną wykazują mniejsze zróżnicowanie czasowo-przestrzenne niż wskaźnik miesięcznych zmian retencji. W rozkładzie przestrzennym można wyróżnić strefę pobrzeża Bałtyku, gdzie występowała w okresie letnim płytką i głęboką niżówka (Stacja Bazowa Wolin). O relatywnie największym zagrożeniu występowania niżówki hydrogeologicznej w strefie nizin nadmorskich zdecydowały najbardziej niekorzystne wśród Stacji ZMŚP warunki termiczno-opadowe, które nie powodowały znaczącego wzrostu stanu wód podziemnych. Jednakże zagrożenie wystąpienia płytkiej niżówki występowało w większości stacji położonych w strefie pojezierzy (oprócz Storkowa) oraz w strefie wyżyn i gór. Poza Wolinem płytką niżówka występowała sporadycznie we wrześniu na Rostoczu i w styczniu w Szymbarku. W porównaniu z poprzednim rokiem warunki hydrogeologiczne uległy poprawie, gdyż notowano zdecydowanie mniej przypadków wystąpienia niżówek. Przyczyną poprawy zasobów wód podziemnych (tab. 13) były wydajne opady atmosferyczne oraz korzystne warunki termiczne (m.in. brak fal upałów).

Tab. 13. Wskaźnik zagrożenia niżówką hydrogeologiczną k_n dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2017 roku hydrologicznym

Stacja ZMŚP	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Wolin												
Storkowo												
Puszcza Borecka												
Wigry												
Koniczynka												
Różany Strumień												
Kampinos												
Święty Krzyż												
Rostocze												
Szymbark												
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. Przykładowo, w Stacji Wolin w 2017 roku wskaźnik miesięcznych zmian retencji R_m przedstawiał pozytywną prawidłowość wzrostu retencji. Jednakże analiza wskaźnika zagrożenia niżówką hydrogeologiczną k_n ukazuje w półroczu ciepłym występowanie płytkiej i głębokiej niżówki. Taki dysonans wynika 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. Zatem na Wolinie pomimo wzrostu retencji wód podziemnych w 2017 roku to poziom wód podziemnych był znacznie niższy w miesiącach letnich w odniesieniu do średniego z minimalnych rocznych stanów wód podziemnych dla tych miesięcy. Wzrost poziomu wód podziemnych jest procesem długotrwałym, gdzie wydajne opady w danym roku hydrologicznym spowodować mogą poprawę zasobów wody w warstwach wodonośnych dopiero w kolejnych latach.

Lepsze niż w poprzednim roku warunki alimentacji wód podziemnych w 2017 roku nie doprowadziły do pogłębienia ich drenażu przez systemy rzeczne i jeziorne. Zasilanie opadowe wykorzystywane było głównie do retencji wód podziemnych i w mniejszym stopniu miało swoje odzwierciedlenie we wzroście zasobów wód powierzchniowych.

5.3. Wody powierzchniowe

Reakcja badanych geoeosystemów w postaci zasilania opadowego i podziemnego widoczna była w 2017 roku w wodach powierzchniowych, zwłaszcza w wodach rzecznych, które stanowią strefę odprowadzania wody z badanych zlewni. Miarą reakcji zlewni na dynamikę obiegu wody mogą być geoindykatory hydrologiczne w postaci współczynnika odpływu i wskaźnika odpływu jednostkowego (tab. 14) oraz współczynnika miesięcznego przepływu (ryc. 13).

Tab. 14. Miesięczne średnie wartości współczynnika odpływu [-] i odpływu jednostkowego oraz ekstremalne dobowe odpływy jednostkowe [$\text{dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$] w 2017 roku hydrologicznym w Stacjach Bazowych ZMŚP

Stacja (Rzeka)	Współczynnik odpływu	Średni miesięczny odpływ jednostkowy	Maksymalny dobowy odpływ jednostkowy	Minimalny dobowy odpływ jednostkowy
	-	[$\text{dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$]		
Wolin (Lewińska Struga)	0,16	3,0	8,0	1,0
Storkowo (Parsęta)	0,33	10,3	40,6	3,6
Wigry (Czarna Hańcza)	0,30	6,7	10,6	3,5
Koniczynka (Struga Toruńska)	0,13	3,5	4,9	0,4
Różany Strumień (Różany Strumień)	0,09	2,2	10,9	0,3
Kampinos (Kanał Olszowiecki)	0,05	1,1	8,1	0,0
Święty Krzyż (Wieniec)	0,01	0,53	1,9	0,0
Roztocze (Świerszcz)	0,09	1,8	3,1	1,2
Karkonosze (Wrzosówka)	0,40	13,1	215,9	0,8
Szymbark (Bystrzanka)	0,50	16,0	147,0	1,7

Współczynnik odpływu

Współczynnik odpływu (α) jest ilorazem warstwy odpływu (O) do warstwy opadu (P). Wyrażany jest w % 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 badanych zlewniach ZMŚP w 2017 roku średni współczynnik odpływu przyjmował wartości od 0,01 we Wieńcu w Górach Świętokrzyskich, 0,05 w Kanale Olszowieckim, 0,09 w Różanym Strumieniu do wartości najwyższych 0,40 we Wrzosówce i 0,50 w Bystrzance. Zlewnie Niżu Polskiego charakteryzują się spowolnionym obiegiem wody i długim krążeniem wody od strefy alimentacji do strefy drenażu. W tych zlewniach zaledwie kilkakrotnie % (Kanał Olszowiecki, Różany Strumień, Struga Toruńska, Lewińska Struga) a maksymalnie 30-33% (Parsęta, Czarna Hańcza) wody opadowej odpłynęło systemem fluwialnym poza zlewnię. W tych ciekach 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). Odmienna sytuacja występowała w ciekach górskich (Bystrzanka i Wrzosówka), gdzie udział wód opadowych w wodach rzecznych wynosił nawet 50%. W tych zlewniach migracja wody opadowej do koryta rzecznej jest szybka i krótka. Jakość wód opadowych w zlewniach górskich może znacząco wpływać na jakość wody w rzekach. W zlewniach górskich reakcja odpływu rzecznej na opad atmosferyczny jest szybsza i bardziej wyraźna niż w zlewniach nizinnych, czy wyżynnych. W zlewniach górskich nie następuje tak znaczna kumulacja zanieczyszczeń jak w zlewniach nizinnych, ale następuje ich szybkie odprowadzanie systemem fluwialnym.

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

Na wyższy współczynnik odpływu wody w 2017 roku w odniesieniu do roku ubiegłego wpłynęły uwarunkowania hydrometeorologiczne związane z początkiem uzupełniania zasobów wód podziemnych (retencji) już w 2016 roku (rok 2016 był wilgotny lub normalny pod względem opadowym, natomiast 2015 rok był wyjątkowo suchy) i dalszym uzupełnianiem zasobów warstw wodonośnych w 2017 roku, co powodowało podniesienie ich stanu oraz później zwiększony drenaż wód podziemnych przez system koryt rzecznych. Poza

tym w 2017 roku notowano wysoką sumę roczną opadów atmosferycznych i znaczną frekwencję wydajnych opadów (>10 mm), które generować mogły spływ powierzchniowy i bezpośrednie zasilanie cieków.

Wskaźnik odpływu jednostkowego

Odpływ jednostkowy q jest miarą odpływu ze zlewni, opisującą odpływ wody w jednostce czasu z jednostki powierzchni zlewni i wyrażaną w $\text{dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$. Obliczenia odpływu jednostkowego dokonuje się z uwzględnieniem średniego przepływu w danym okresie (doba, miesiąc, rok) na podstawie formuły: $q=1000Q/A$ [$\text{dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$], gdzie: Q – średni przepływ w zadanym przedziale czasu (np. doba, miesiąc, rok) [dm^3s^{-1}], A – powierzchnia zlewni [km^2].

W badanych zlewniach ZMŚP w 2017 roku średni miesięczny wskaźnik odpływu jednostkowego (tab. 14, ryc. 14) przyjmował wartości niskie wartości $<5 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$ prawie we wszystkich zlewniach nizinnych i wyżynnych (oprócz Czarnej Hańczy i Parsęty). Natomiast wysoki odpływ jednostkowy $>10 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$ występował w zlewniach górskich (Wrzosówka i Bystrzanka). Wyjątkowo wysoki odpływ jednostkowy w 2017 roku w Parsęcie ($10,3 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$) spowodowany był bardzo wysoką roczną sumą opadów (prawie 1000 mm) i letnimi wezbraniem wód rzecznych, generowanymi przez intensywne opady atmosferyczne.

O względnie niskim odpływie jednostkowym w 2017 roku (pomimo roku wilgotnego) w zlewniach nizinnych i górskich decydowały zarówno 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 rzecznej. Ponadto Lewińska Struga w profilu badawczym ma długość 3 km, z czego jedynie 0,6 km cieku jest poza jeziorami. Zatem ten system rzeczno-jeziorny charakteryzuje się dużą bezwładnością hydrologiczną, która przejawia się słabą reakcją na ekstremalne zasilanie opadowe lub roztopowe. Natomiast 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 a większość wód opadowych perkoluje do głębszych warstw wodonośnych nie mających kontaktu hydraulicznego z ciekami) jak i spowodowane działalnością człowieka (wykorzystywanie wód rzecznych do celów gospodarczych w przydomowych zbiornikach). Natomiast antropopresja w zlewni Konieczynki (Pojezierze Chełmińskie) przejawia się zaburzeniem odpływu rzecznej wskutek działalności rolniczej,

gdzie wody rzeczne wykorzystywane są do nawadniania pól uprawnych. Z kolei na małą dynamikę odpływu wód Kanału Olszowieckiego (Puszcza Kampinoska) oraz niekiedy zanik odpływu fluwialnego w okresie letnim wpłynęły czynniki naturalne związane z funkcjonowaniem kaskadowego systemu tam bobrowych oraz uzupełnianie zasobów wód podziemnych.

Natomiast wysoki odpływ jednostkowy i duża dynamika wezbrań w rzekach górskich w Bystrzance (Beskid Niski) i Wrzosówce (Karkonosze) wynika z małej powierzchniowo strefy alimentacji i szybkiego obiegu wody, dużych spadków terenu generujących spływ powierzchniowy oraz z dużej sumy opadów w 2017 roku (>1000 mm) i znacznej frekwencji wydajnych opadów o dobowej sumie >10 mm (25-30 przypadków).

Współczynnik miesięcznego przepływu

Podstawą oceny ustroju rzecznego w zlewni jest analiza zmienności przepływu w cyklu rocznym z uwzględnieniem danych z wielolecia. Wykorzystuje się w tym celu średnie miesięczne wartości przepływu z wielolecia oraz średnie roczne wartości odpływu z wielolecia. Wartości miesięcznych współczynników przepływu obliczane są w sytuacji dysponowania przynajmniej pięcioletnim ciągiem obserwacji hydrologicznych. Mogą być one wyrażane jako liczba niemianowana lub w %. 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, n – liczba lat w wieloleciu. Wartość współczynnika przekraczająca 1 oznacza miesiąc z występującymi wezbraniami i przepływami powyżej wartości średniej rocznej. Wartość poniżej 1 oznacza miesiąc występowania przepływów niższych od średniej.

Współczynnik miesięcznych przepływów w 2017 roku hydrologicznym był bardzo zróżnicowany w poszczególnych zlewniach (ryc. 7). Generalnie w 2017 roku miesięczne przepływy w większości zlewni ZMŚP nawiązywały do tendencji wieloletniej. Najbardziej typowy był przepływ ze zlewni nizinnych, młodogłacjalnych (np. Czarnej Hańczy i Lewińskiej Strugi) oraz wyżynnych (np. Świerszcz). W Parsęcie i Strudze Toruńskiej wskutek wydajnych opadów atmosferycznych zaznaczyła się zwiększona intensywność przepływu w ostatnim kwartale roku hydrologicznego (VIII-X). Natomiast współczynnik miesięcznego przepływu w zlewniach górskich nie nawiązywał do tendencji wieloletniej (np. Bystrzanka), gdyż był bardzo zmienny w ciągu roku. Wzmożony przepływ notowano zwłaszcza w miesiącach intensywnego zasilania opadowego (latem) i opadowo-roztopowego (zimą).

Natomiast obniżony przepływ występował głównie od kwietnia do czerwca, kiedy nie występowały roztopy śnieżne i wydajne opady atmosferyczne.



Ryc. 7. Zmienność czasowa współczynników miesięcznych przepływu w roku hydrologicznym 2017 na tle zmienności czasowej wartości współczynników miesięcznych przepływu z wielolecia

Relatywnie wysokie opady w 2017 roku nie przełożyły się na wyraźne zwiększenie przepływu rzecznej, ale na uzupełnienie zasobów wód podziemnych po poprzednim okresie

ograniczonej retencji wody (zwłaszcza w 2015 roku). Przez większość miesięcy 2017 roku przepływ w ciekach był niższy od wartości średnich z wielolecia. Jednakże niekiedy występowały zdecydowanie wyższe przepływy miesięczne np., we wrześniu i październiku w Parsęcie i Strudze Toruńskiej (efekt wzrostu zasilania opadowego i gruntowego po deszczowym lecie) czy w grudniu, lutym, maju i sierpniu w Bystrzance (efekt wzmożonego zasilania opadowego i roztopowego), (ryc. 7).

5.4. Skrócony bilans wodny

Jednym ze sposobów określenia bilansu wodnego w danym przedziale czasu (np. miesiąc, rok, wielolecie) jest porównanie ilości wody jaka dostaje się do zlewni z opadami atmosferycznymi oraz ilością 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 (ewapotranspiracja).

W niniejszym opracowaniu skrócony bilans wody 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 geoekosystemach 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 2017 roku wykorzystano parametry: P - średnia roczna wysokość opadu obszarowego [mm], H - średnia roczna wielkość odpływu powierzchniowego roku [mm], S - średnia roczna wysokość strat bilansowych (parowanie, odpływ podziemny i zmiany retencji), tzw. deficyt odpływu [mm].

Analiza uproszczonego bilansu wodnego dla 2017 roku wykazała korzystną sytuację hydrometeorologiczną do retencji wody w całej Polsce. W odróżnieniu do roku poprzedniego nie stwierdzono bardzo wyraźnych różnic regionalnych w zakresie możliwości retencji wody. Względnie największa retencja w 2017 roku wystąpiła w strefie wyżynnej (średni deficyt odpływu wody wynosił około 700 mm), nieznacznie mniejsza retencja wystąpiła w strefie

nizinnej (średni deficyt odpływu wody wynosił około 600 mm) a najmniejsza na obszarach górskich (średni deficyt odpływu wody wynosił około 550 mm).

Tab. 15. Miesięczne wysokości warstwy opadu i odpływu [mm] oraz skróconego bilansu wodnego [mm] w 2017 roku hydrologicznym w zlewniach ZMŚP

Stacja (zlewnia)	P Opad atmosferyczny	H _{pow} Odpływ powierzchniowy	S Deficyt odpływu P-H _{pow}
	[mm]		
Wolin (Lewińska Struga)	669,3	107,9	561,4
Storkowo (Paręta)	982,4	326,2	656,2
Wigry (Czarna Hańcza)	710,6	210,5	500,1
Koniczynka (Struga Toruńska)	727,2	90,7	636,5
Różany Strumień (Różany Strumień)	741,4	67,8	673,6
Kampinos (Kanał Olszowiecki)	742,2	36,0	706,2
Święty Krzyż (Wieniec)	829,8	6,4	823,4
Roztocze (Świerszcz)	668,6	57,9	610,7
Szymbark (Bystrzanka)	1037,5	410,3	627,2
Karkonosze (Wrzosówka)	1001,4	540,0	461,4

Reasumując warunki hydrometeorologiczne (przeciętne warunki termiczne, bardzo dobre warunki opadowe) i korzystne właściwości odpływu fluwialnego sprzyjały odbudowie zasobów wodnych. W wyniku występowania przeciętnego roku pod względem temperatury powietrza to straty wody na parowanie terenowe nie były wysokie - rzędu 300-350 mm rocznie (Awłasiewicz 1953). Wystąpiła zatem bardzo korzystna sytuacja do retencji wodnej w badanych geoekosystemach, co miało swoje odzwierciedlenie w dobrej jakości wód krążących w zlewniach i sprzyjających warunków życiowych dla roślin i zwierząt.

6. GEOINDYKATORY JAKOŚCI WODY W ZLEWNIACH ZMŚP

Przedstawione poniżej geowskaźniki zostały zaproponowane przez Szpikowskiego (2012) oraz zostały uwzględnione m. in w ostatnim opracowaniu stanu geoskosystemów Polski w 2016 roku (Tylkowski, Kostrzewski 2017).

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

pozwała na określenie właściwości obiegu materii w zlewniach ZMŚP - za pomocą bilansu denudacyjnego.

W opracowaniu opisano geowskaźniki charakteryzujących 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 eutrofizacji 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-przestrzennym oddziaływaniem czynników naturalnych oraz zanieczyszczeń antropogenicznych.

Klasyfikacja pH/SEC opadów atmosferycznych

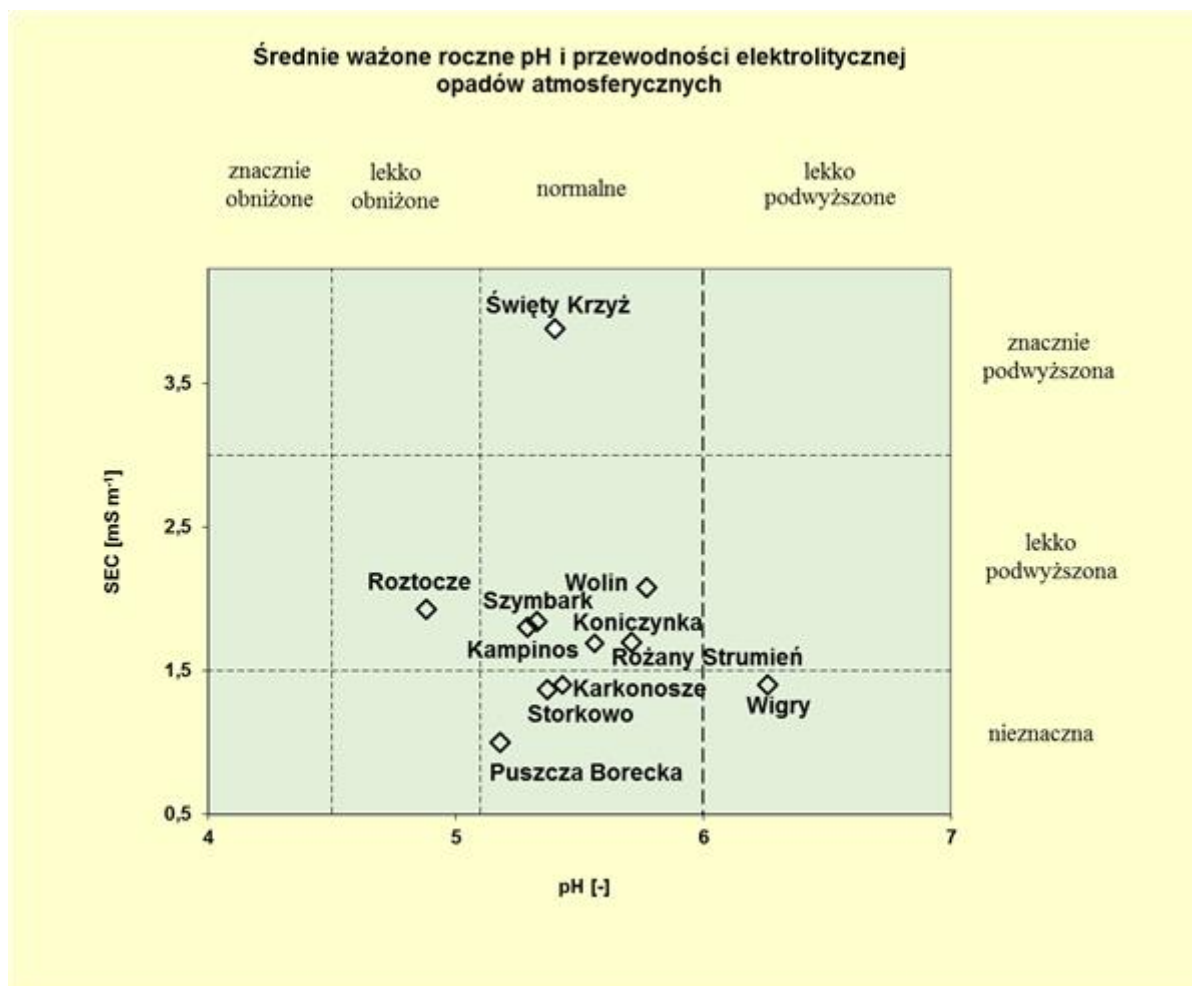
Wskaźnik ten został określony na podstawie tzw. klasyfikacji austriackiej jakości opadów atmosferycznych (Jansen i in. 1988). Ze względu na jego dużą przydatność do oceny odczynu i przewodności elektrolitycznej opadów atmosferycznych został wprowadzony do obligatoryjnego stosowania w sprawozdaniach ze 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. 16). W odniesieniu do odczynu wody opadowej klasyfikacja pH/SEC opadów atmosferycznych zawiera 5 klas jakościowych (tab. 17), (Szpikowski 2012). Wskaźnik klasyfikacji pH/SEC opadów atmosferycznych w 2017 roku przedstawiono na rycinie 15.

Tab. 16. Klasyfikacja przewodności elektrolitycznej wód opadowych (wg Jansena i in. 1988)

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

Tab. 17. Klasyfikacja odczynu wód opadowych (wg Jansena i in. 1988)

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



Ryc. 8. Klasyfikacja pH i SEC opadów atmosferycznych w Stacja Bazowych ZMŚP w 2017 roku

Wskaźnik klasyfikacji SEC opadów atmosferycznych w 2017 roku hydrologicznym w zakresie średniej ważonej przewodności elektrolitycznej (ryc. 8) charakteryzował się następującymi właściwościami:

- przewodność nieznacznie podwyższona – stwierdzono w 4 Stacjach: Storkowo, Puszcza Borecka, Wigry i Karkonosze,
- przewodność lekko podwyższona – stwierdzono w 6 Stacjach: Wolin, Koniczynka, Różany Strumień, Kampinos, Roztocze i Szymbark,
- przewodność znacznie podwyższona - stwierdzono tylko w 1 Stacji: Święty Krzyż.

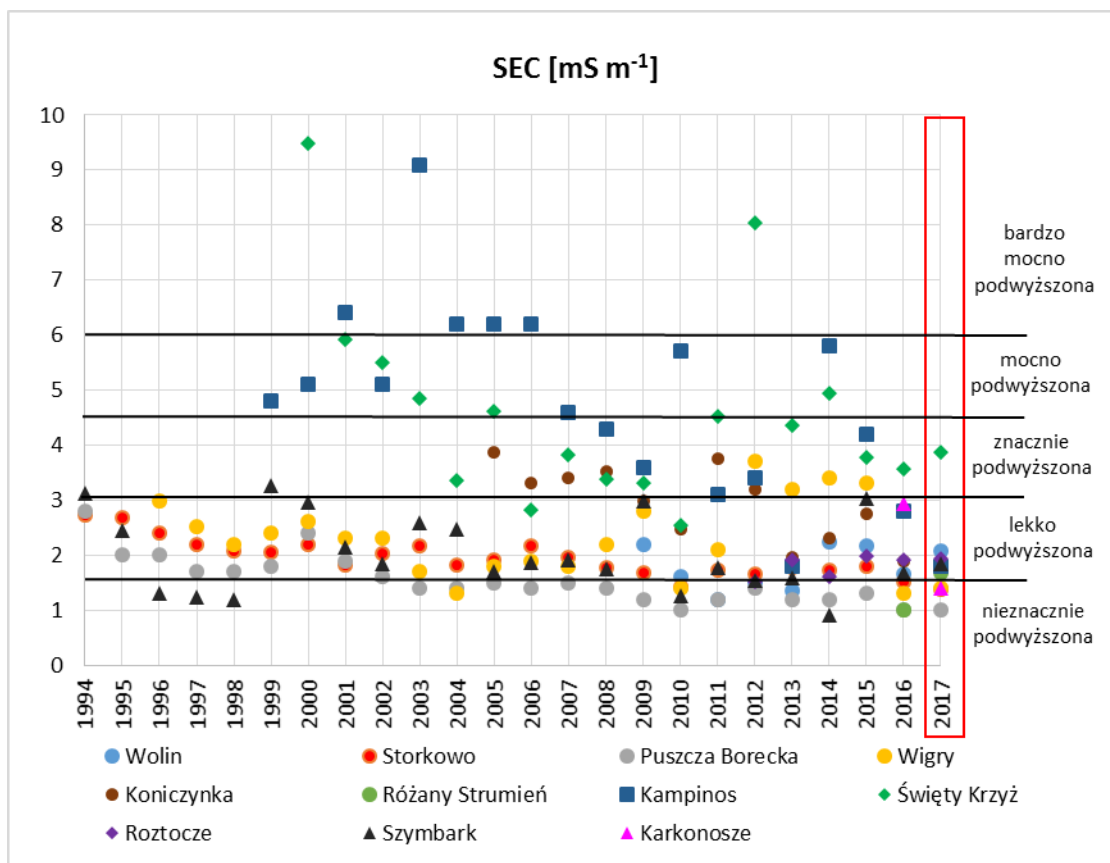
Jakość opadów atmosferycznych w 2017 roku pod względem wskaźnika SEC w porównaniu z ubiegłym rokiem uległa poprawie, gdyż do klasy o nieznacznej przewodności zakwalifikowano stację w Storkowie. Tylko w 1 zlewni stwierdzono przewodność znacznie podwyższoną (stacja Święty Krzyż). W pozostałych 6 stacjach mineralizacja opadów była lekko podwyższona (ryc. 9).

Klasyfikacja odczynu opadów atmosferycznych w 2017 roku hydrologicznym (ryc. 8) charakteryzowała się następującymi właściwościami:

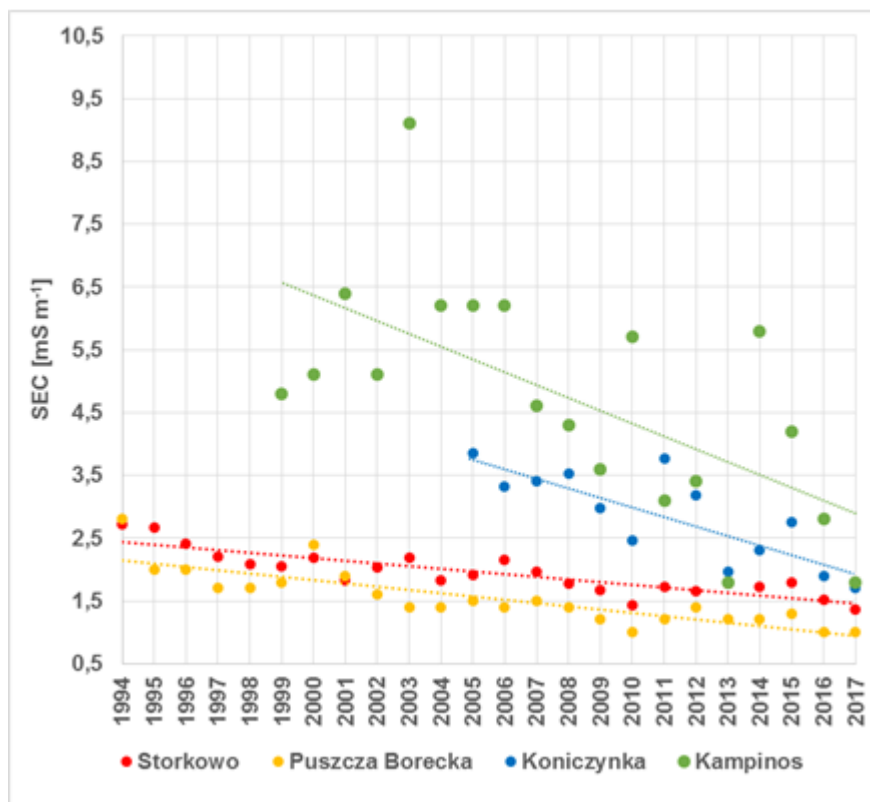
- pH lekko obniżone – stwierdzono tylko w 1 Stacji: Roztocze,
- pH normalne – stwierdzono w 9 Stacjach: Wolin, Storkowo, Puszcza Borecka, Koniczynka, Różany Strumień, Kampinos, Święty Krzyż, Szymbark i Karkonosze,
- pH lekko podwyższone – stwierdzono tylko w 1 Stacji: Wigry.

Odczyn opadów atmosferycznych w 2017 roku w porównaniu z poprzednim rokiem uległ wyraźnej poprawie (ryc. 11). Aż w 9 Stacjach opady zaliczono do klasy normalnej a tylko w 2 odczyn opadów atmosferycznych zakwalifikowano do klas przyległych: lekko obniżonej i lekko podwyższonej. Odczyn opadów poprawił się w Karkonoszach i Świętym Krzyżu, w pozostałych Stacjach nie uległ zmianie.

Analiza ponad 20 lat badań jakości opadów w zlewniach ZMŚP wykazała ich najlepszą jakość w 2017 roku.



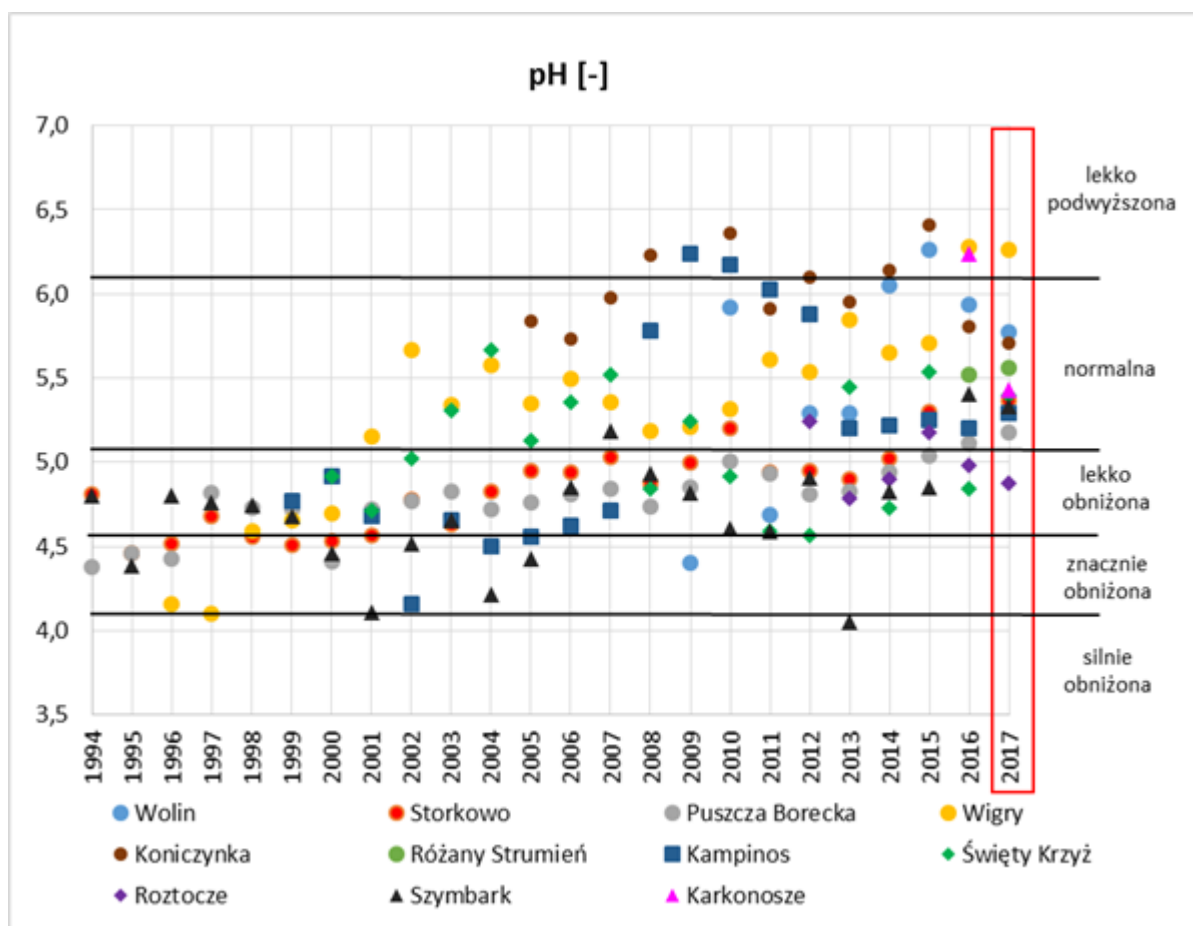
Ryc. 9. Zmienność czasowa SEC opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2017 roku hydrologicznym na tle wielolecia



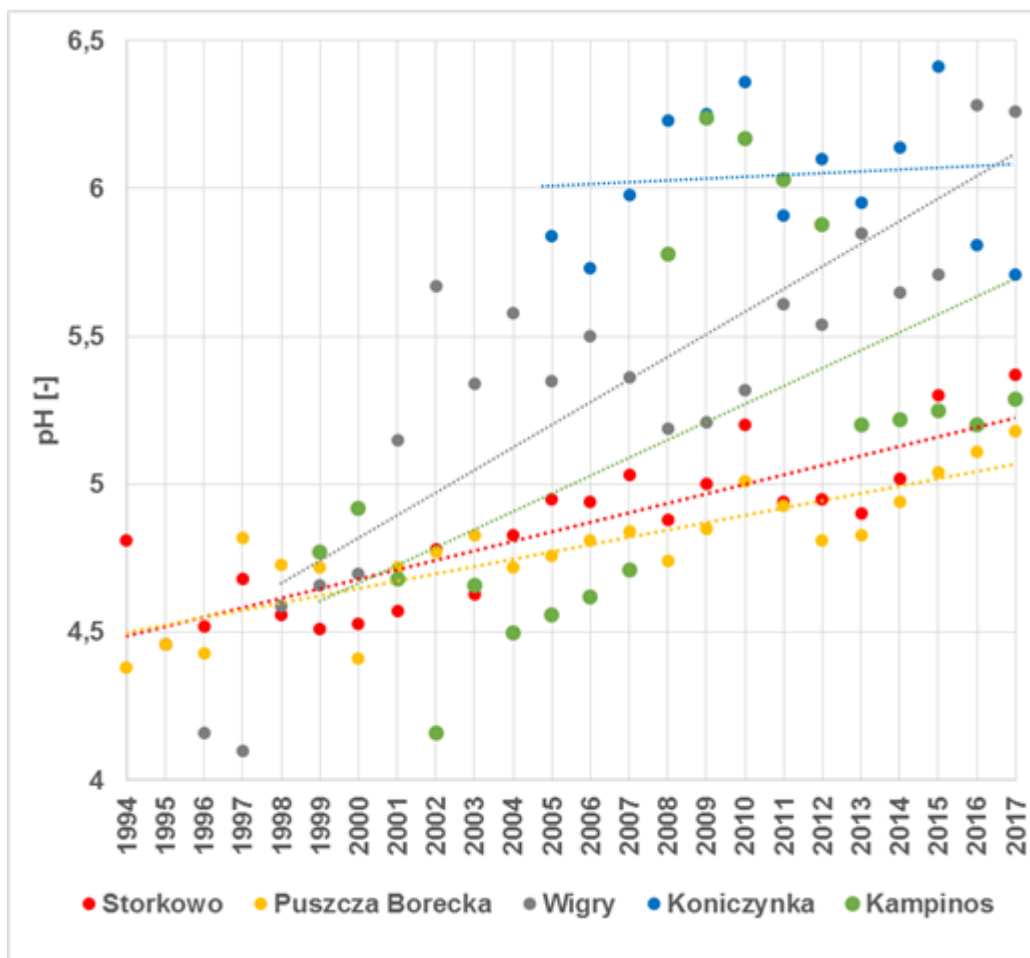
Ryc. 10. Istotne statystycznie trendy spadku SEC w opadach atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP – Storkowo, Puszcza Borecka, Koniczynka i Kampinos

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 ($p < 0,05$, test Mann-Kendalla) odnotowano dla 4 Stacji posiadających długie serie pomiarowe, tj. dla Storkowa, Puszczy Boreckiej, Koniczynki i Kampinosu. Trend 10. letni spadku SEC wynosi od 0,41 mS/m w Storkowie do 2,18 mS/m w Kampinosie (ryc. 10).

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 ($p < 0,05$, test Mann-Kendalla) odnotowano dla 5 Stacji Bazowej: Storkowo, Puszcza Borecka, Wigry, Koniczynka i Kampinos. Trend 10. letni spadku kwasowości wynosi od 0,09 pH w Koniczyńce do 0,84 pH w Kampinosie (ryc. 12).



Ryc. 11. Zmienność czasowa kwasowości opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2017 roku hydrologicznym na tle wielolecia



Ryc. 12. Istotne statystycznie trendy wzrostu odczynu (spadku zakwaszenia) opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP – Storkowo, Puszcza Borecka, Wigry, Koniczynka i Kampinos

Cechą charakterystyczną zmienności odczynu opadów w Polsce w ostatnich dwóch dekadach był znaczny spadek kwasowości opadów atmosferycznych, np. w Stacjach Storkowo, Puszcza Borecka i Wigry odczyn opadów z poziomu charakterystycznego dla wód znacznie zakwaszonych utrzymywał się do lat dziewięćdziesiątych XX wieku (ryc. 11). W XXI wieku odczyn wzrósł do lekko obniżonego lub normalnego. Pod względem czasowo-przestrzennym największy progres odczynu opadów odnotowano w Stacji Kampinos, na co m. in. wpłynęła poprawa jakości powietrza atmosferycznego w aglomeracji warszawskiej. Natomiast nie można stwierdzić istotnie statystycznej tendencji zmiany odczynu opadów na stacjach wyżynnych i górskich, na Świętym Krzyżu i w Szymbarku (ryc. 11, ryc. 12).

Należy podkreślić, że w 2017 roku jakość atmosferycznej dostawy wody do badanych zlewni była bardzo dobra. W 2017 roku opady miały raczej niską mineralizację i wysoki odczyn. Mała koncentracja substancji rozpuszczonych i niska kwasowość opadów w 2017 roku w Polsce wynikała z wydajnych opadów oraz świadczy o względnie niskiej antropopresji i małej dostawie zanieczyszczeń do atmosfery.

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_2 , wartości powyżej 1 wskazują na dominację NO_x w zakwaszaniu, natomiast wartość 1 dotyczy równoważnego udziału SO_2 i NO_x w zakwaszaniu wód opadowych (Szpikowska 2011).

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

WCK – wskaźnik czynników kwasogennych w zakwaszaniu opadów; SJ NO_3^- stężenie jonów NO_3^- [meq dm^{-3}]; SJ SO_4^{2-} stężenie jonów SO_4^{2-} [meq dm^{-3}].

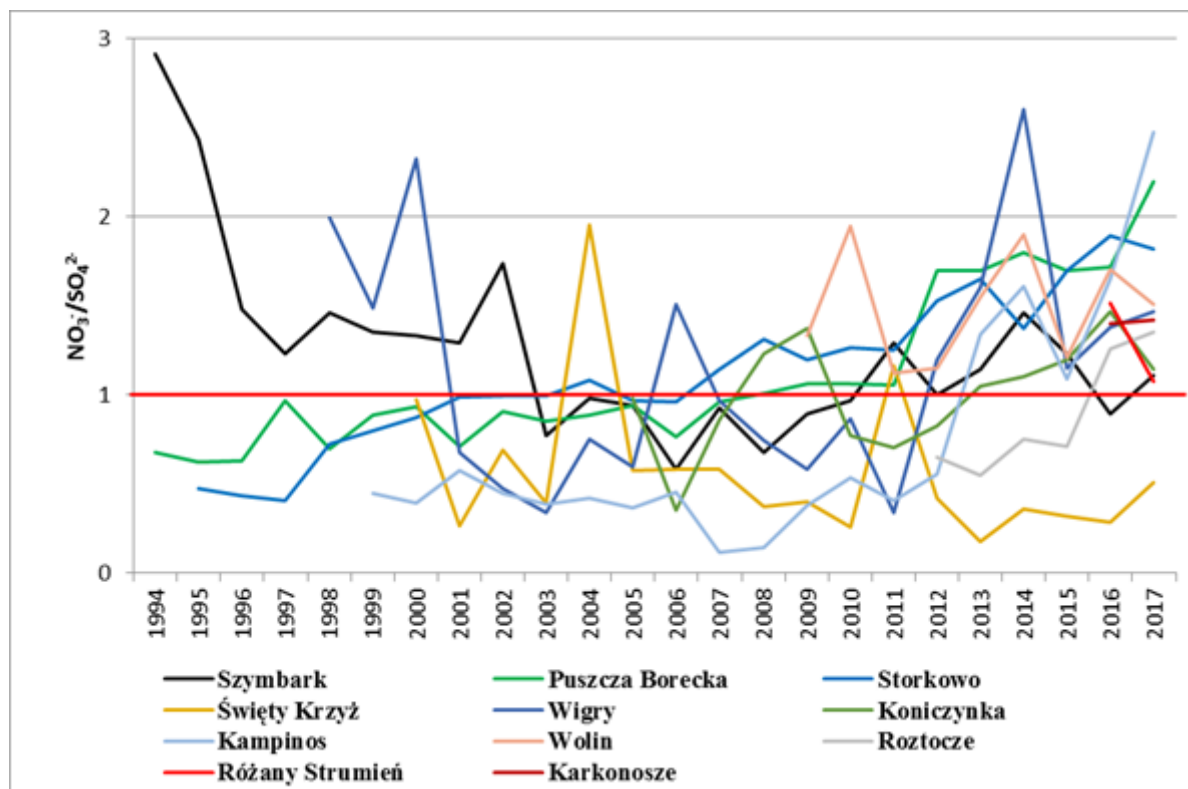
Zmiany zachodzące w chemizmie wód opadowych, podziemnych i powierzchniowych upoważniają do wykorzystywania tego wskaźnika kwasogenego ujmującego relację stężenia jonów azotanowych do jonów siarczanowych. Obecność tych jonów może wskazywać na zmiany zachodzące m.in. w jakości powietrza oraz opadów atmosferycznych, co wywiera wpływ na jakość wody w kolejnych etapów 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 1994-2017 (ryc. 13):

- przewagę roli NO_3 nad SO_2 w ostatnim pięcioleciu, co świadczy o aktualnie większym wpływie zanieczyszczeń komunikacyjnych w zakwaszaniu opadów,
- wcześniej na zakwaszenie opadów większy wpływ wywierały zanieczyszczenia ze spalania paliw kopalnych (m.in. wskutek ogrzewania obiektów w sezonie zimowym),
- zdecydowanie większy w 2017 roku udział NO_3 w zakwaszaniu opadów, który stwierdzono aż na 10 Stacjach: Wolin, Storkowo, Puszcza Borecka, Wigry, Konieczynka, Kampinos, Różany Strumień, Roztocze i Karkonosze,
- większy w 2017 roku udział SO_2 w zakwaszaniu opadów stwierdzono tylko w 1 Stacji: Święty Krzyż.

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. 13. Zmiany wskaźnika czynników kwasogennych w zakwaszaniu wód opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP

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 nie zanieczyszczonej wodzie opadowej stężenie chlorków i sodu jest stosunkowo małe (poniżej 5 mg 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 Storkowo, Puszcza Borecka, Koniczynka). Najniższe stężenia jonów Cl^- i Na^+ powinny być w opadach w Stacjach położonych najdalej od strefy nadmorskiej (strefa wyżyn polskich - Stacje Roztocze, Święty Krzyż oraz strefa gór średnich - Stacje Szymbark i Karkonosze).

Przestrzenne zróżnicowanie stężenia chlorków i sodu w wodach opadowych w 2017 roku można rozpatrywać dla 2 transektów południkowych:

- transekt zachodni obejmuje strefy: nadmorska (Wolin) → pojezierzy (Storkowo, Różany Strumień) → gór średnich (Karkonosze),
- transekt wschodni obejmuje strefy: pojezierzy (Wigry) → nizin (Kampinos) → wyżyn (Święty Krzyż, Roztocze) → gór średnich (Szymbark).

Gradient stężenia chlorków i sodu wyznaczono także w transekcje „równoleżnikowym”, w strefie młodoglacjalnej Niżu Polskiego (Stacje ZMŚP: Wolin → Storkowo → Puszcza Borecka → Wigry). W transektach „południkowych” i „równoleżnikowym” stężenie jonów chlorkowych i sodowych powinno ulegać redukcji w miarę oddalania się od wybrzeża Bałtyku (tab. 18).

Tab. 18 Średnie tężenie substancji rozpuszczonych w wodach opadowych w zlewniach ZMŚP w 2017 roku

Stacja	Strefa krajobrazowa	S-SO ₄	N-NO ₃	N-NH ₄	Cl	Na	K	Mg	Ca
		mg dm ⁻³							
Wolin	nadmorska	0,37	0,38	0,76	1,03	0,80	0,39	0,13	0,57
Storkowo	pojezierzy	0,21	0,26	0,41	0,84	0,52	0,08	0,08	0,55
Puszcza Borecka		0,25	0,33	0,43	0,58	0,22	0,06	0,04	0,12
Wigry		0,30	0,30	0,43	0,40	0,15	0,06	0,04	0,17
Koniczynka		0,36	0,28	0,47	0,77	0,25	0,37	0,13	0,79
Różany Strumień		0,60	0,44	0,82	0,97	0,63	0,30	0,13	0,88
Kampinos	nizin	0,39	0,56	0,59	0,41	0,12	0,05	0,05	0,23
Święty Krzyż	wyżyn	1,47	0,51	1,33	2,27	0,92	0,93	0,32	1,87
Roztocze		0,66	0,61	0,5	0,60	0,22	0,26	0,06	2,12
Szymbark	gór średnich	0,90	0,68	0,46	0,98	0,82	0,37	0,21	1,71
Karkonosze		0,32	0,31	0,51	0,34	0,12	0,05	0,03	0,13

W 2017 roku 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 1,03 i 0,80 mg dm⁻³). W miarę oddalania się od strefy nadmorskiej stężenie tych jonów malało i wynosiło: strefa pojezierzy (Storkowo, Puszcza Borecka, Wigry, Koniczynka i Różany Strumień) Cl 0,71 i Na 0,35 mg dm⁻³ i strefa nizin (Kampinos) Cl 0,41 i Na 0,12 mg dm⁻³. W transekcje równoleżnikowym strefy młodoglacjalnej Niżu Polskiego występował spadek stężenia zarówno chlorków jak i sodu w opadach – odpowiednio od 1,03 mg Cl dm⁻³ i 0,85 mg Na dm⁻³

w Wolinie, poprzez 0,84 mg Cl dm⁻³ i 0,52 mg Na dm⁻³ w Storkowie oraz 0,58 mg Cl dm⁻³ i 0,22 mg Na dm⁻³ w Puszczy Boreckiej do 0,40 mg Cl dm⁻³ i 0,15 mg Na dm⁻³ Wigrach.

Natomiast średnie stężenia jonów chlorkowych i sodowych w strefie wyżynnej (1,44 mg Cl dm⁻³ i 0,57 mg Na dm⁻³) i górskiej (0,66 mg Cl dm⁻³ i 0,47 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 na Stacji w Świętym Krzyżu. Taka sytuacja może świadczyć o antropogenicznym zanieczyszczeniu opadów atmosferycznych.

W zachodnim transekcie południkowym stwierdzono wyraźny spadek stężenia jonów sodowych i chlorkowych, od pasa nadmorskiego (Wolin Cl 1,03 mg dm⁻³ Na 0,80 mg dm⁻³), poprzez pas pojezierzy (Storkowo Cl 0,84 mg dm⁻³ Na 0,52 mg dm⁻³, Różany Strumień Cl 0,97 mg dm⁻³ Na 0,63 mg dm⁻³) do pasa gór średnich (Karkonosze Cl 0,34 mg dm⁻³ Na 0,12 mg dm⁻³). Normalna tendencja spadku stężenia jonów chlorkowych i sodowych w kierunku południowym została zakłócona w Różanym Strumieniu, gdzie opady atmosferyczne miały zbliżone stężenie Cl i Na z występującymi nad wybrzeżem Bałtyku. Przyczyną takiej sytuacji było zanieczyszczenie opadów atmosferycznych w zlewni Różanego Strumienia wskutek negatywnego oddziaływania aglomeracji Poznania.

We wschodnim transekcie południkowym tendencja spadku stężenia jonów chlorkowych i sodowych została zaburzona w pasie wyżyn (Święty Krzyż Cl 2,27 mg dm⁻³, Na 0,92 mg dm⁻³ i Roztocze Cl 0,60 mg dm⁻³ Na 0,22 mg dm⁻³) i gór średnich (Szymbark Cl 0,98 mg dm⁻³ Na 0,82 mg dm⁻³). W strefie nizin (Kampinos Cl 0,41 mg dm⁻³ Na 0,12 mg dm⁻³) i pojezierzy (Wigry Cl 0,40 mg dm⁻³ Na 0,15 mg dm⁻³) stężenia tych jonów były niższe. 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 zwłaszcza napływają z kierunku zachodniego, z przemysłowego regionu Górnego Śląska.

Należy jednakże podkreślić, że stężenia chlorków i sodu w całej Polsce były dość niskie. Nawet w strefie wyżynnej (Święty Krzyż i Roztocze) stężenia tych jonów mieściły się w granicach „klasy normalnej” (poniżej 5 mg dm⁻³).

Analiza średniego stężenia substancji rozpuszczonych w wodach opadowych w 2017 roku wykazała pewne różnice przestrzenne (tab. 18). 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), Storkowo (9), Puszcza Borecka (21), Wigry (23), Koniczynka (40), Różany Strumień (62), Kampinos (65), Święty Krzyż (103), Rostocze (127), Szymbark (157), Karkonosze (90).

W opracowaniu określono jakość 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 2017 roku wody podziemne w wszystkich jednolitych częściach wód występujących w zlewniach podziemnych ZMŚP posiadały dobry stan chemiczny (tab. 19). 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 wyżynnych (Święty Krzyż i Rostocze) oraz w zlewni górskiej (Karkonosze), ale 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. 19. Klasy jakości wody i stan chemiczny wód podziemnych w zlewniach ZMŚP w 2017 roku wg wybranych elementów fizykochemicznych

Stacja ZMŚP	Odczyn	PEW	Ca	Na	Mg	K	PO4	HCO3	Cl	SO4	NO3	NH4	Klasa jakości wody	Stan chemiczny
	[pH]	[mS/ m]	mg/l											
Wolin	I	I	II	I	I	I	III	I	I	I	I	II	zadowalająca	dobry
Storkowo	I	I	II	I	I	I	I	I	I	I	III	I	zadowalająca	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	I	I	zadowalająca	dobry
Koniczynka	I	I	I	I	I	I	I	II	I	I	I	I	dobra	dobry
Różany Strumień	I	II	III	I	I	I	I	III	II	II	I	I	zadowalająca	dobry
Kampinos	I	II	III	I	I	I	I	III	II	I	I	I	zadowalająca	dobry
Święty Krzyż	IV	I	II	I	I	I	I	I	I	I	I	I	dobra	dobry
Roztocze	IV	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	bardzo dobra	dobry
Szymbark	I	I	II	I	I	I	II	II	I	I	II	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 (poza Koniczynką – klasa dobra) posiadały zadowalającą klasę jakości wód podziemnych. Lepsza jakość wód podziemnych występowała w zlewniach wyżynnych (dobra – Święty Krzyż, bardzo dobra – Roztocze) oraz górskich (dobra – Szymbark, bardzo dobra – Karkonosze). W porównaniu z poprzednim rokiem zwłaszcza wody podziemne w Koniczynie i Wolinie poprawiły swoją jakość, gdyż zakwalifikowano je do dobrego stanu chemicznego.

6.3. Wody powierzchniowe

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

W 2017 roku monitoring fluwialnego odpływu wody i substancji rozpuszczonych prowadzono w 10 rzekach. Jedynie dla odpływu z Jeziora Łękuk (Puszcza Borecka) niemożliwe było prowadzenie tego zadania ze względu na zakłócenia odpływu wody w cieku spowodowane działalnością bobrów. Działalność bobrów zakłócała także wprostproporcjonalną zależność odpływu rzeczego do zasilania opadowego w Stacjach Wolin i Kampinos. Taka sytuacja stanowi przykład naturalnej działalności biogenicznej, która w bardzo istotnym stopniu zaburza reżim hydrologiczny cieków i odpływ materii fluwialnej.

Odpływ fluwialny stanowi podstawową drogę odprowadzania substancji rozpuszczonych. W odpływie rzeczonym najważniejszym źródłem dostawy substancji rozpuszczonych jest dostawa atmosferyczna i zasilanie z drenażu wód podziemnych. Badania ZMŚP wykazują, że w znacznym stopniu na skład chemiczny wód rzecznych wpływa

działalność człowieka, szczególnie na obszarach zurbanizowanych oraz intensywnie wykorzystywanych rolniczo (Szpikowski 2012).

Tab. 20. Średnie stężenie substancji rozpuszczonych w wodach rzecznych w zlewniach ZMŚP w 2017 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	-
Wolin (Lewińska Struga)	nadmorska	8,22	0,27	1,12	15,41	11,54	2,43	6,20	54,78	167,78	33,12	7,69
Storkowo (Parsęta)	pojezierzy	10,55	1,70	0,41	7,46	5,31	2,36	4,84	73,26	198,42	37,60	8,06
Wigry (Czarna Hańcza)		8,95	1,21	0,08	26,01	20,84	4,75	12,28	73,87	276,22	50,00	8,00
Koniczynka (Struga Toruńska)		41,80	16,60	0,04	55,10	17,20	10,30	21,70	183,00	365,00	97,30	7,80
Różany Strumień (Różany Strumień)		29,60	3,02	0,02	80,30	36,50	5,20	13,70	190,00	350,60	83,74	7,98
Kampinos (Kanał Olszowiecki)	nizin	27,97	0,08	0,14	19,58	9,09	1,05	10,95	105,38	252,48	52,75	7,17
Święty Krzyż (Wieniec)	wyżyn	20,71	1,15	0,25	14,31	7,44	0,60	3,78	24,07	7,14	8,59	6,05
Roztocze (Świerszcz)		3,06	0,18	0,06	1,62	1,39	0,55	0,56	32,33	90,39	27,98	7,66
Szymbark (Bystrzanka)	gór średnich	11,89	1,73	1,73	7,74	12,47	4,52	6,28	34,90	150,60	26,30	7,43
Karkonosze (Wrzosówka)		2,14	0,21	0,06	4,55	3,27	0,44	0,66	2,80	6,10	3,90	5,90

Analiza składu chemicznego wód rzecznych w 2017 roku podobnie jak w poprzednich latach pozwoliła zakwalifikować je (wg klasyfikacji Szczukariewa) do wód prostych o następujących typach hydrochemicznych:

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

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 nisko zmineralizowanego deszczu i śniegu. Przewodność elektrolityczna właściwa (SEC) w 2017 roku cechuje się dużym zróżnicowaniem przestrzennym (tab. 20). Mineralizacja wody w 2017 roku w większości cieków była niższa niż 2016 roku, w wyniku większego odpływu wody i częstszych wezbrań

oraz mniejszej częstotliwości niżówek. Najwyższa przewodność elektrolityczna właściwa występowała w Strudze Toruńskiej $97,30 \text{ mS m}^{-1}$ i Różanym Strumieniu $83,74 \text{ mS m}^{-1}$, 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). Natomiast najniższa wartość przewodności elektrycznej występowała w ciekach górskich – Wrzosówce w Karkonoszach $3,90 \text{ mS m}^{-1}$ i Wieńcu w Górach Świętokrzyskich $8,59 \text{ mS m}^{-1}$. W strefie wyżynnej i górskiej odpływ wody ze zlewni jest szybszy i udział nisko zmineralizowanych wód opadowych w systemie rzeczonym jest największy. W pozostałych monitorowanych ciekach nizinnych (np. Lewińska Struga, Parsęta, Czarna Hańcza) wartość SEC wynosiła od 30 do 50 mS m^{-1} (tab. 20). Zmienność przestrzenna wartości SEC w 2017 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 2017 roku cechował się mniejszym zróżnicowaniem przestrzennym niż mineralizacja wody. Zdecydowana większość cieków miała odczyn obojętny $\sim 8 \text{ pH}$. Jedynie cieki górskie (Wrzosówka, Święty Krzyż) posiadały odczyn bardziej kwaśny $\sim 6 \text{ pH}$. Kwaśny odczyn w tych ciekach nie jest 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 związane z ograniczonym odpływem wody w Kanale Olszowieckim i Świętym Krzyżu.

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),
- Storkowo (Parsęta od źródeł do Gęsiej PLRW6000174417),
- Puszcza Borecka (Gołdapiwo PLLW30552),
- Wigry (Czarna Hańcza od wypływu z jeziora Hańcza do jeziora Wigry PLRW8000186419),
- Koniczynka (Struga Toruńska od Zgniłki do ujścia PLRW 20001928989),
- Różany Strumień (Warta od Różanego Potoku do Dopływu z Uchorowa PLRW600021185991),
- Święty Krzyż (Słupianka PLRW20001727369),
- Roztocze (Świerszcz PLRW200062414),
- Szymbark (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 zlewniach ZMŚP w 2017 roku monitoring jakości wód płynących dotyczył następującego zakresu (tab. 21):

- 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 w 2017 roku w porównaniu z 2016 rokiem była podobna. W 2017 roku dla aż 5 cieków (2 górskich - Bystrzanka, 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. Pozostałe 4 ciek (Czarna Hańcza, Struga Toruńska, Różany Strumień i Kanał Olszowiecki) zaklasyfikowano do najgorszej klasy jakości wody (tab. 20). Na obniżenie jakości wody do

klasy poniżej dobrego stanu zdecydowały głównie podwyższone stężenia przewodności wody, stężenia chlorków i wapnia. Zatem na podstawie wybranych wskaźników fizykochemicznych, z dużym uogólnieniem można zaklasyfikować ciekę położone na południu Polski, w strefie gór i wyżyn oraz na zlokalizowane na północy kraju w strefie pomorza do dobrego stanu chemicznego. Natomiast dla cieków położonych w środkowej części kraju stan chemiczny określono jako poniżej dobrego. Zlewnie i strefa przykorytowa cieków nizinnych jest poddana względnie silnej antropopresji, związanej m.in. z urbanizacją (np. Różany Strumień) czy rolnictwem (np. Struga Toruńska).

Tab. 21. Jakość wód płynących w 2017 roku wg wybranych elementów fizykochemicznych (Rozporządzenie Ministra Środowiska, z dnia 21 lipca 2016 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych)

Stacja ZMŚP (zlewnia)	Temperatura	O2	BZT5	Odczyn	PEW	Ca	Mg	PO4	Cl	SO4	N-NO3	N-NH4	Klasyfikacja elementów fizykochemicznych	Stan chemiczny
	[°C]	[mg/l]		[pH]	[mS/m]	[mg/l]								
Wolin (Lewińska Struga)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1 bardzo dobra	dobry
Storkowo (Parsęta)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1 bardzo dobra	dobry
Wigry (Czarna Hańcza)	1	1	1	1	PSP/ PPD	2	PSP/ PPD	2	PSP/ PPD	1	2	1	PSP/PPD	poniżej dobrego
Koniczynka (Struga Toruńska)	1	1	2	2	PSP/ PPD	PSP/ PPD	PSP/ PPD	2	PSP/ PPD	PSP/ PPD	PSP/ PPD	1	PSP/PPD	poniżej dobrego
Różany Strumień (Różany Strumień)	1	2	1	1	PSP/ PPD	PSP/ PPD	1	1	PSP/ PPD	1	2	1	PSP/PPD	poniżej dobrego
Kampinos (Kanał Olszowiecki)	1	2	1	1	1	PSP/ PPD	1	1	1	1	1	1	PSP/PPD	poniżej dobrego
Święty Krzyż (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
Szybark (Bystrzanka)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3 bardzo dobra	dobry
Karkonosze (Wrzosówka)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4 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 2017 roku pozwoliła na zakwalifikowanie jezior Gardno (Stacja Wolin) i Kamionkowskiego (Stacja Koniczynka),

Czarnego (Stacja Storkowo) oraz Łękuk (Stacja Puszcza Borecka) do bardzo dobrej klasy jakości wody (tab. 22).

Tab. 22. Jakość wód stojących w 2017 roku wg wybranych elementów fizykochemicznych (Rozporządzenie Ministra Środowiska 2016)

Stacja Bazowa ZMSP	Wolin	Storkowo	Koniczynka	Puszcza Borecka
Jezioro	Gardno	Czarne	Kamionkowskie	Łękuk
Tlen rozpuszczony [mg O ₂ /l]	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra
Przewodność [mS/cm]	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra
Fosfor ogólny [mg/l]	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra	1 bardzo dobra

Zagrożenie eutrofizacją wód powierzchniowych

Eutrofizacja jest naturalnym procesem przyrodniczym, który w przypadku oligotroficznym jezior polodowcowych oznacza proces stopniowego, wieloletniego użyźniania i wypełniania zbiornika jeziornego materiałem pochodzenia autochtonicznego i allochtonicznego. Końcowym etapem naturalnej eutrofizacji jest przekształcanie jezior w bagna i torfowiska oraz późniejsza ich przemiana w ekosystemy lądowe. W ostatnim czasie można obserwować przyspieszoną eutrofizację w wyniku antropogenicznych zmian użytkowania terenu w zlewniach m.in. poprzez wylesienia, rozwój rolnictwa i urbanizację. Aktualne przyspieszenie eutrofizacji jest wynikiem zwiększonej dostawy zanieczyszczeń, głównie biogenów pochodzących ze ścieków bytowo-gospodarczych i przemysłowych oraz w wyniku stosowania nawozów w rolnictwie. 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 2017 roku, w żadnym z monitorowanych cieków nie stwierdzono przekroczenia progowej wartości stężenia fosforu ogólnego P_{og} , 0,25 mg dm⁻³ (tab. 23). W przypadku azotu azotanowego N-NO₃ stężenia dopuszczalne (2,2 mg dm⁻³) były znacznie przekroczone w Strudze Toruńskiej w profilu Koniczynka (Pojezierze Chełmińskie) 16,60 mg dm⁻³ a mniejsze przekroczenie normy występowało w Różanym Strumieniu (Pojezierze Poznańskie) 3,02 mg dm⁻³. Przekroczenie wartości progowych stężenia związków azotu w Strudze Toruńskiej wynika z rolniczego użytkowania zlewni i stosowania nawozów azotowych. Natomiast w przypadku Różanego Strumienia wzrost stężenia biogenów może wynikać z nadmiernej antropopresji i dopływie zanieczyszczeń z podmiejskich terenów miasta Poznania. W pozostałych ciekach zagrożenia eutrofizacji wód płynących nie stwierdzono.

Tab. 23. Wskaźniki eutrofizacji rzek w Stacjach ZMŚP w 2017 roku

Stacja - ciek	Pog. [mg dm ⁻³]	N-NO ₃ ⁻ [mg dm ⁻³]	NO ₃ ⁻ [mg dm ⁻³]
Wolin – Lewińska Struga	0,034	0,27	1,08
Storkowo - Parsęta	0,069	1,70	6,8
Wigry – Czarna Hańcza Ujście	0,115	1,21	4,84
Koniczynka – Struga Toruńska	0,214	16,60	66,4
Różany Strumień – Różany Strumień	0,022	3,02	12,08
Kampinos - Kanał Olszowiecki	0,046	0,08	0,32
Święty Krzyż – Wieniec	0,048	1,15	4,6
Roztocze – Świerszcz Malowany Most	0,105	0,18	0,72
Szymbark - Bystrzanka	0,136	1,73	6,92
Karkonosze - Wrzosówka	0,013	0,21	0,84

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 mg dm⁻³. Powyższa wartość progowa w 2017 roku nie została przekroczona w żadnym z badanych jezior (tab. 24) i zagrożenia eutrofizacją badanych jezior nie stwierdzono.

Tab. 24. Wskaźniki eutrofizacji jezior w Stacjach ZMŚP w 2017 roku

Stacja - jezioro	Pog. [mg dm ⁻³]
Wolin – Jezioro Gardno	0,009
Storkowo – Jezioro Czarne	0,008
Puszcza Borecka – Jezioro Łękuk	0,039
Koniczynka – Jezioro Kamionkowskie	0,029

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 (Mazurek 2000, Grodzińska, Laskowski, 1996). 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, Mazurek, Zwoliński 1994, Szpikowska, Tylkowski 2006, Tylkowski 2005).

Bilans denudacyjny uwzględniający zarówno 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 2017 roku, który stanowi różnicę ładunku substancji rozpuszczonych wnoszonego z wodami opadowymi i odpływającego w wodach rzecznych (tab. 25). 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 cieku do profilu zamykającego zlewnię. Nie analizowano bilansu denudacyjnego dla zlewni różnicowych Czarnej Hańczy (Stacja Wigry) i Toruńskiej Strugi (Stacja Koniczynka).

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. Szymbark, Storkowo 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. Koniczynka, Kampinos, Święty Krzyż. W tych stanowiskach 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 (Koniczynka, Storkowo, Szymbark). 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 2017 roku sytuacja hydrometeorologiczna kształtująca bilans wodny i warunki obiegu wody i krążenia materii rozpuszczonej w zlewniach ZMŚP nawiązywała do prawidłowości wieloletniej. Relatywnie niski odpływ rzeczny w roztoczańskiej zlewni Świerszcza znacznie ograniczył ujemny bilans jonów denudacyjnych (-3,1 kg/ha). Natomiast ekstremalnie niski odpływ fluwialny z świętokrzyskiej zlewni Wieńca spowodował anormalnie wysoki dodatni bilans jonów denudacyjnych 70,3 kg/ha. W 2017 roku bilans jonów biogennych był dodatni w większości zlewni (np. Świerszcz 28,8 kg/ha, Kanał Olszowiecki 23,9 kg/ha, Lewińska Struga 17,3 kg/ha). Wysoki dodatni bilans jonów biogennych występował w zlewniach najbardziej zalesionych. Natomiast ujemny bilans nutrientów wystąpił w zlewni Parsęty -16,5 kg/ha i Bystrzanki -3,7 kg/ha. W tych zlewniach dostawa biogenów z opadami atmosferycznymi była niższa niż ich odpływ systemem

rzecznym. Ponadto w tych zlewniach wprowadzane są nutrienty w związku z nawożeniem gruntów ornych. Najniższe wartości całkowitego bilansu materii rozpuszczonej (tab. 25) stwierdzono w zlewniach podlegających największej dynamice energii (woda) i materii (substancje rozpuszczone): Storkowo -390,4 kg/ha, Szymbark -335,2 kg/ha i Różany Strumień -253,1 kg/ha. W tych zlewniach obieg energii (wody) i materii (substancji rozpuszczonych) w 2017 był najmniej zaburzony w odniesieniu do prawidłowości wieloletniej. Odmienna, anormalna sytuacja wystąpiła na Roztoczu (26,6 kg/ha) i Świętym Krzyżu (72,3 kg/ha) gdzie całkowity bilans obiegu materii był dodatni. Dodatni bilans materii rozpuszczonej w tych zlewniach był skutkiem wyjątkowo niskiego odpływu rzeczno, gdyż większość wody opadowej nie uczestniczyła w odpływie rzeczno. Infiltrująca woda do wód podziemnych nie była później drenowana przez system korytowy, gdyż uzupełniała zasoby wód podziemnych. Ponadto znaczna ilość wody w Wieńcu została wykorzystana do celów gospodarczych, co skutkowało brakiem odpływu rzeczno w okresie letnim. Generalnie w porównaniu z poprzednim rokiem prawidłowości funkcjonowania zlewni na podstawie bilansu denudacyjnego w 2017 roku uległy pewnej poprawie, gdyż np. zlewnia Kanału Olszowieckiego posiadała ujemny bilans denudacyjny, pomimo braku odpływu fluwialnego w listopadzie i sierpniu.

Analiza deficytu odpływu i dodatnia lub ujemna wartość bilansu denudacyjnego z ostatnich 3 lat ukazuje geoekosystemy „stabilne” i „niestabilne” w zakresie obiegu energii (woda) i materii (substancje rozpuszczone), (ryc. 14).

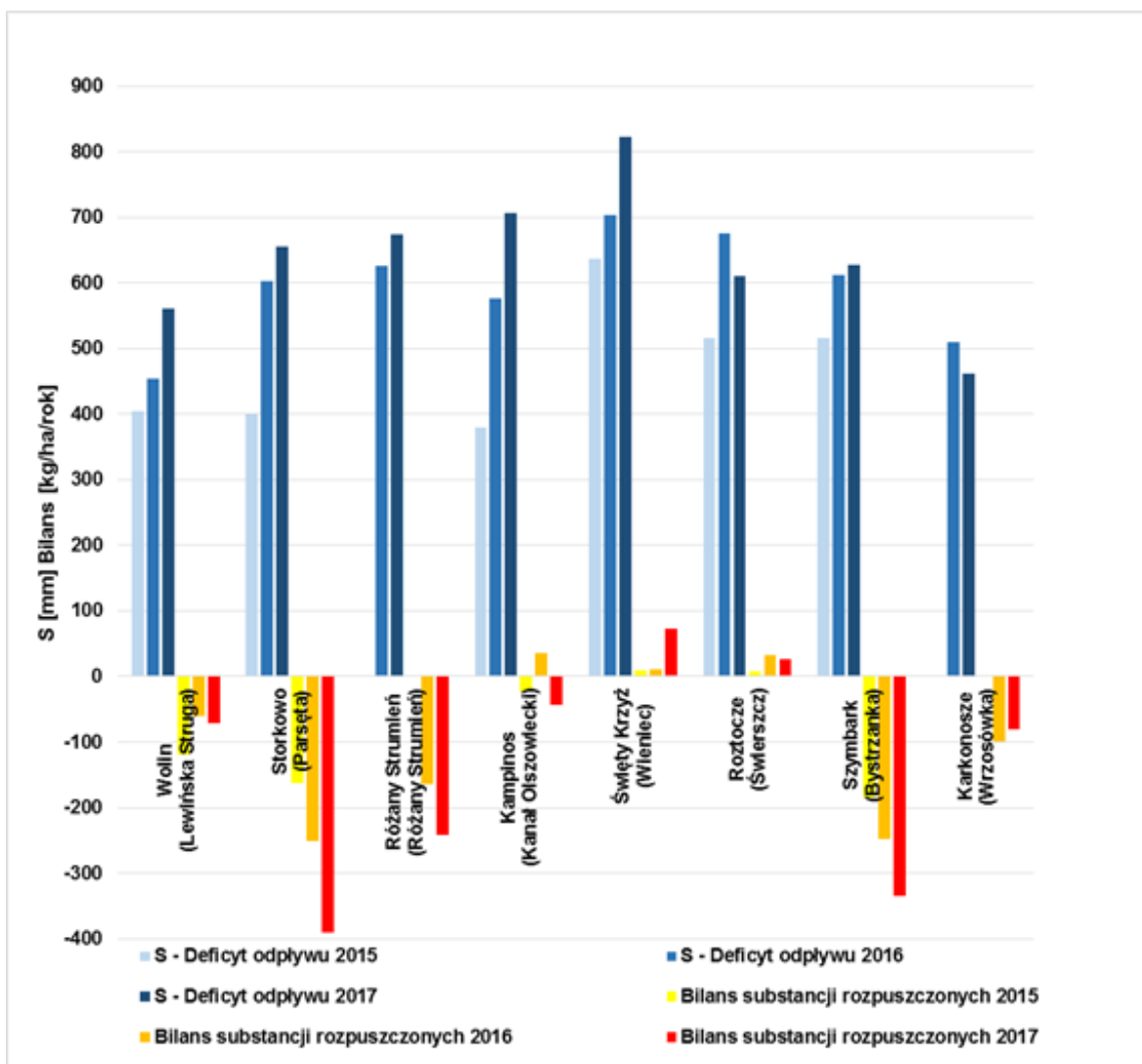
Za stabilne geoekosystemy uznano zlewnie o ujemnym kierunku bilansu denudacyjnego: Lewińska Struga, Parsęta i Bystrzanka. W tych geoekosystemach pomimo różnych uwarunkowań meteorologicznych (rok 2015 suchy, rok 2016 normalny lub wilgotny, rok 2017 wilgotny) ujemny kierunek bilansu denudacyjnego był zachowany a coroczne różnice ilościowe nie były drastyczne. Natomiast za niestabilne uznano zlewnie o dodatnim bądź zmiennym $\pm$ kierunku bilansu denudacyjnego: Świerszcz, Wieniec i Kanał Olszowiecki. W geoekosystemach Świerszcza i Wieńca o niestabilności świadczy ich dodatni bilans, który jest przejawem pewnych zaburzeń w obiegu wody, zwłaszcza w postaci bardzo niskiego odpływu rzeczno. W przypadku Wieńca o niskim odpływie decyduje głównie antropogeniczny pobór wody z ciek. 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 ciek. Niestabilnym geoekosystemem była także zlewnia Kanału Olszowieckiego, gdzie kierunek bilansu denudacyjnego w latach 2015-2017 był zmienny (dodatni lub ujemny).

Tab. 25. Bilans jonów denudacyjnych i biogenicznych w zlewniach badawczych ZMŚP w 2017 roku

Stacja (zlewnia)	Wolin (Lewińska Struga)	Storkowo (Parsęta)	Różany Strumień (Różany Strumień)	Kampinos (Kanał Olszowiecki)	Święty Krzyż (Wieniec)	Roztocze (Świerszcz)	Szymbark (Bystrzanka)	Karkonosze (Wrzosówka)
Składowe obiegu wody [mm]								
P - Opad atmosferyczny	669,3	982,4	741,4	742,2	829,8	668,6	1037,5	1001,4
Hpow - Odpływ powierzchniowy	107,9	326,2	67,8	36,0	6,4	57,9	410,3	540,0
S - Deficyt odpływu	561,4	656,2	673,6	706,2	823,4	610,7	627,2	461,4
Bilans jonów denudacyjnych [kg ha⁻¹]								
SO ₄ ²⁻	-17,2	-96,9	-48,8	-21,5	20,7	7,6	-118,2	-27,9
Cl ⁻	-8,5	-16,1	-48,9	-4,0	14,3	3,3	-21,6	-26,2
Ca ²⁺	-51,0	-233,6	-126,0	-36,2	24,1	-14,5	-125,5	-15,5
Mg ²⁺	-5,3	-15,0	-8,6	-3,6	3,8	-0,1	-23,6	-3,7
Na ⁺	-6,2	-12,2	-20,9	-2,3	7,4	0,5	-42,6	-17,9
Bilans JD	-88,2	-373,8	-253,1	-67,7	70,3	-3,1	-331,5	-91,2
Bilans jonów biogenicznych [kg ha⁻¹]								
NO ₃ ⁻	10,7	-13,1	5,0	18,3	1,2	21,8	6,4	7,2
NH ₄ ⁺	6,4	3,4	8,0	5,5	0,3	5,3	4,6	6,1
K ⁺	0,2	-6,9	-1,4	0,0	0,6	1,6	-14,7	-2,1
Bilans JB	17,3	-16,5	11,4	23,9	2,0	28,8	-3,7	11,3
Bilans materii rozpuszczonej [kg ha⁻¹]								
Bilans JD+JB	-70,9	-390,4	-241,8	-43,9	72,3	26,6	-335,2	-80,0

Wśród badanych geoeosystemów można dokonać pewnej waloryzacji względnej, gdzie za wysoko energetyczne można uznać zlewnie o średnim bilansie denudacyjnym $\geq \pm 100$ kg/ha/rok. Do tych geoeosystemów można zakwalifikować zlewnie: Parsęty, Bystrzanki i Różanego Strumienia. Zlewnie Lewińskiej Strugi i Wrzosówki można zaliczyć do typu umiarkowanego ± 50 -100 kg/ha/rok a zlewnie Świerszcza, Wieńca i Kanału Olszowieckiego do geoeosystemów nisko energetycznych $\leq \pm 50$ kg/ha/rok (ryc. 14).

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



Ryc. 14 Deficyt odpływu wody i bilans substancji rozpuszczonych w zlewniach ZMŚP w latach 2015-2017

7. WPŁYW UWARUNKOWAŃ ABIOTYCZNYCH NA PRZYRODĘ OŻYWIONĄ W 2017 ROKU

Wpływ uwarunkowań abiotycznych (związanych ze zmiennością warunków pogodowych oraz właściwościami fizycznogeograficznymi badanych geoekosystemów) na potencjalny stan przyrody żywej obejmuje charakterystykę m. in. występowania w 2017 roku termicznych pór roku i sezonu wegetacyjnego. Przedstawiono także syntetyczne wyniki realizacji programów ZMŚP w 2017 roku dotyczące zanieczyszczenia powietrza oraz występowania roślinnych gatunków inwazyjne obcego pochodzenia.

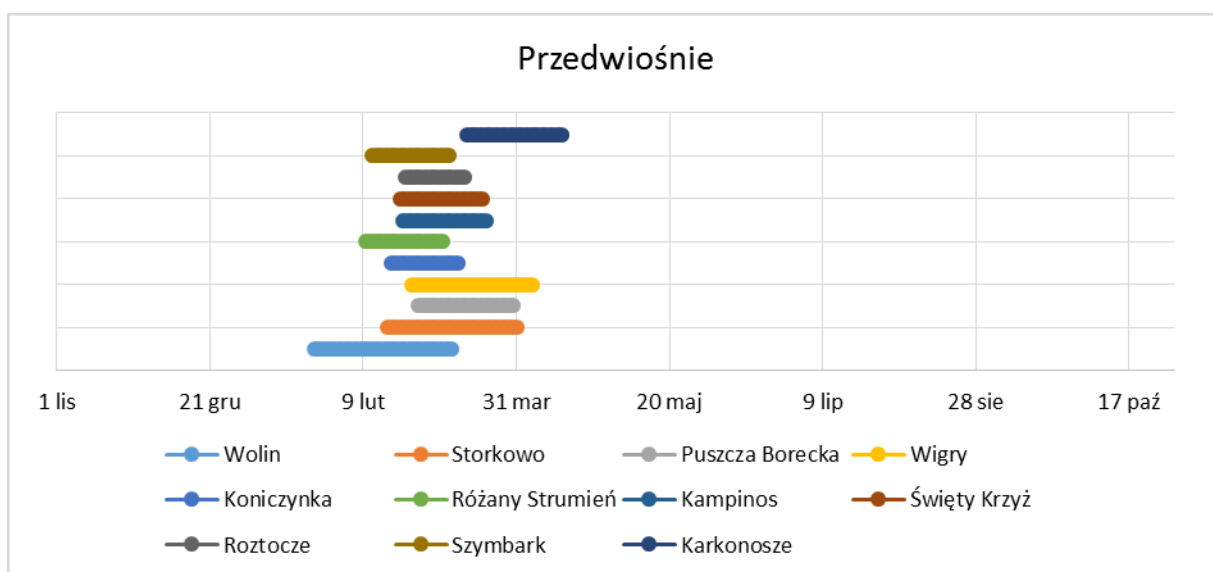
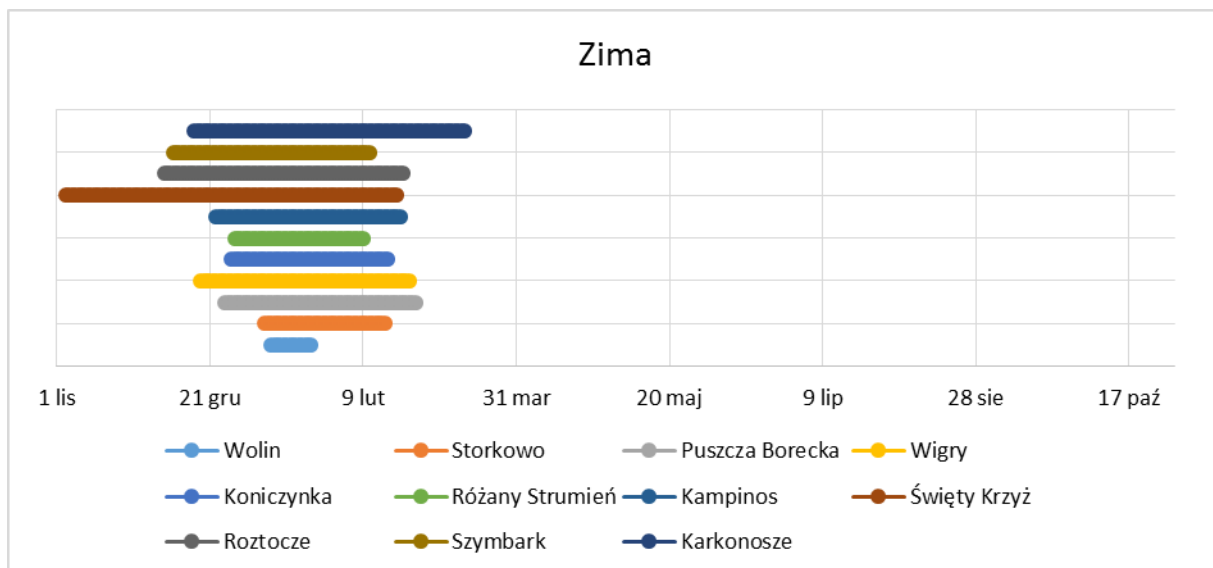
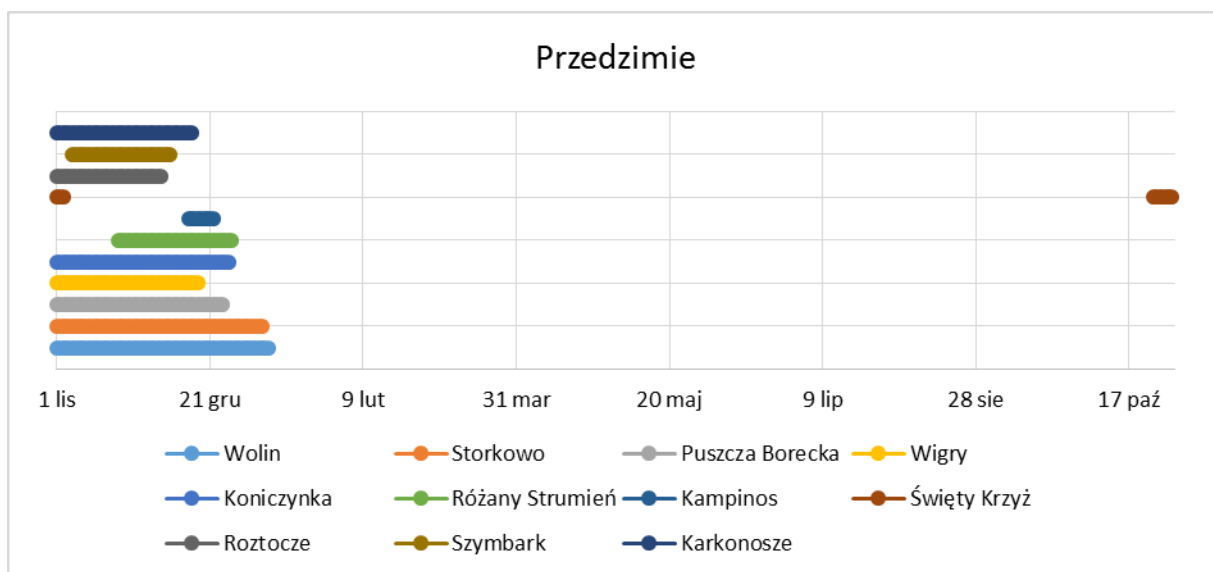
7.1. Termiczne pory roku

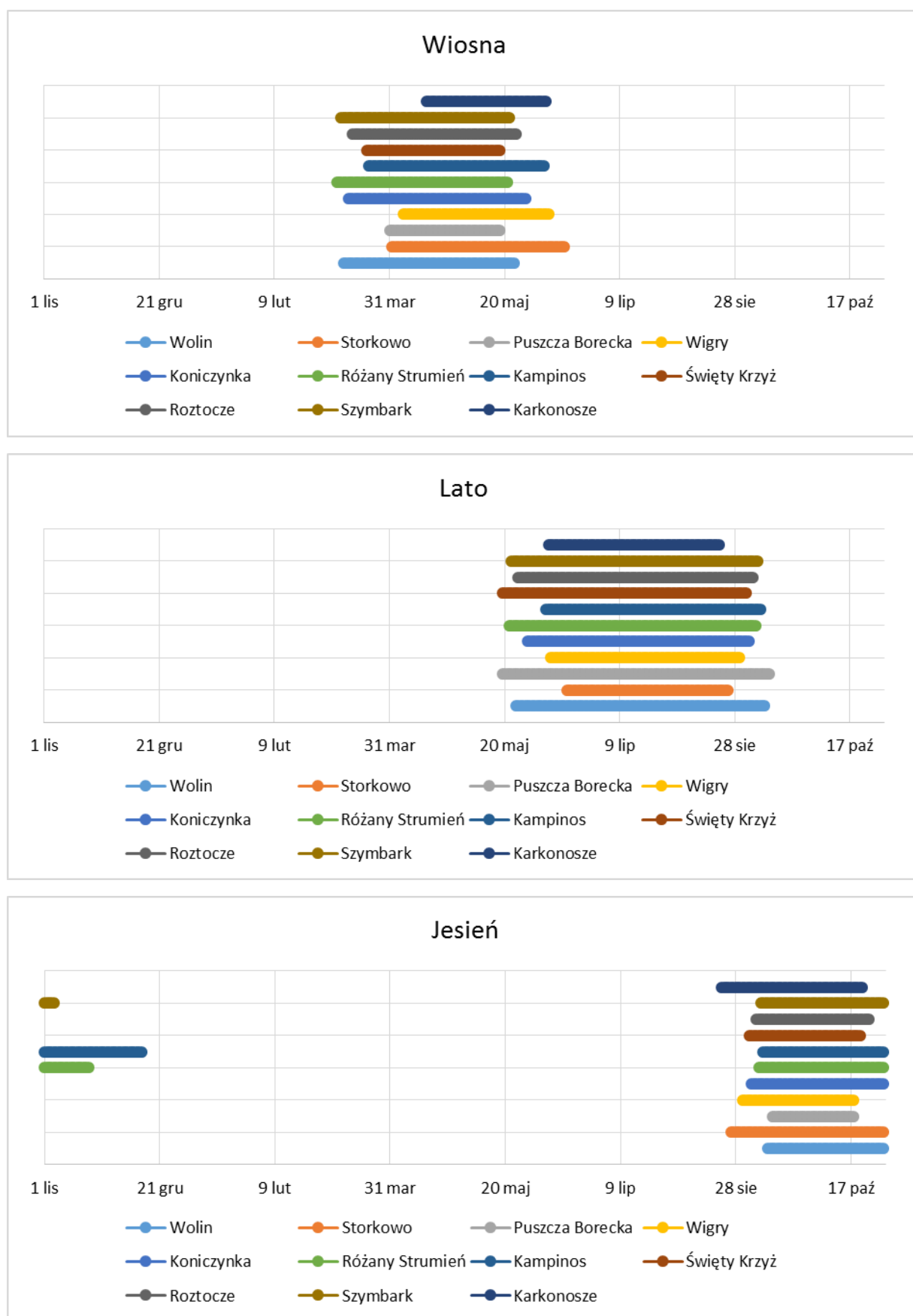
Przeciętne na tle wielolecia warunki cieplne w 2017 roku znalazły odzwierciedlenie we względnie normalnym rozkładzie czasowym termicznych pór roku. We zlewniach ZMŚP

stwierdzono występowanie wszystkich 6 termicznych pór roku (ryc. 15). Najdłuższą porą roku było lato (97 dni) a najkrótszą przedwiośnie (31 dni). W 2017 roku dysproporcje czasu trwania termicznych pór roku były znacznie mniejsze niż w roku ubiegłym. Warunki termiczne w 2017 roku były sprzyjające dla rozwoju przyrody ożywionej. Nie występowała wyraźna zmienność regionalna występowania termicznych pór roku. Taka sytuacja świadczy o ponadregionalnych czynnikach meteorologicznych warunkujących występowanie termicznych pór roku. Jedynie w zlewni nadmorskiej (Stacja Wolin) i górskich (Stacje Karkonosze i Święty Krzyż) czynniki lokalne związane z oddziaływaniem Bałtyku oraz wyniesieniem nad poziom morza decydowały o pewnej specyfice długości termicznych pór roku i terminach ich występowania. W Karkonoszach było najkrótsze lato (75 dni) a najdłuższa zima była w Górach Świętokrzyskich (110 dni). Natomiast wybrzeże Bałtyku wyróżniało się najkrótszą zimą (14 dni), (ryc. 16).

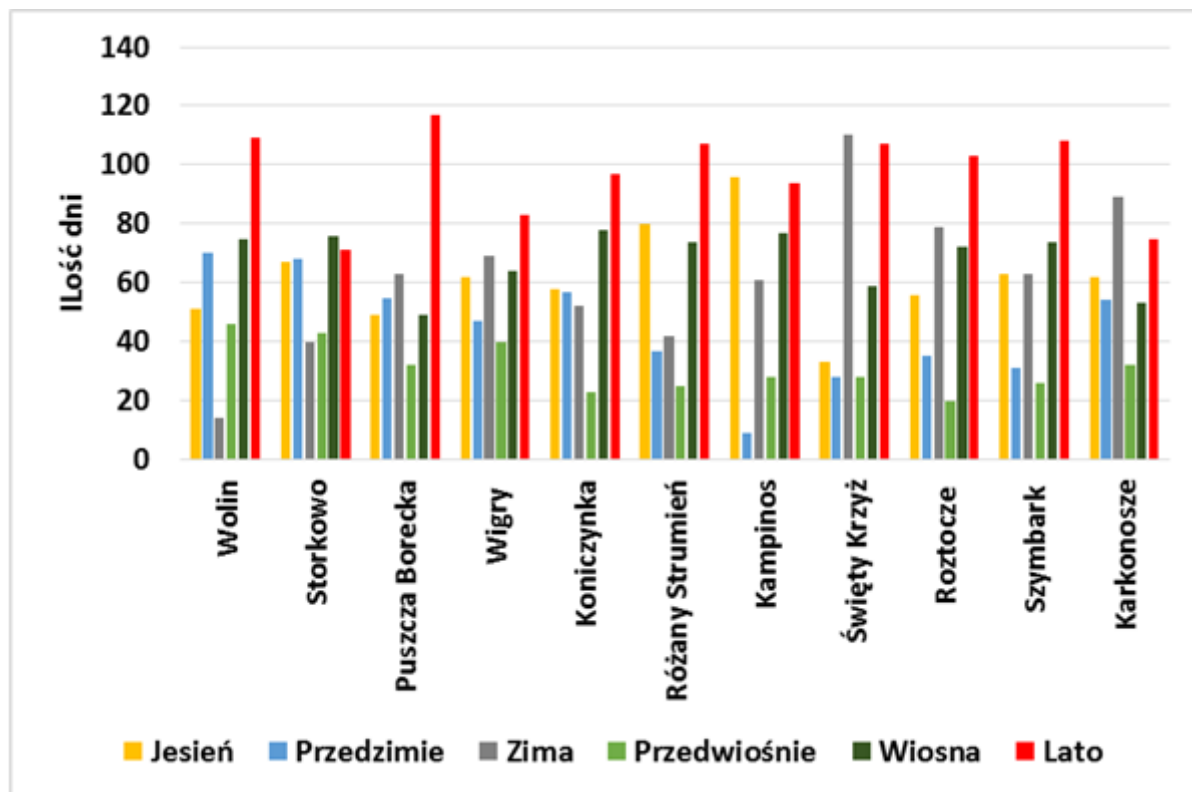
Czas trwania termicznych pór roku generalnie nawiązywał do prawidłowości wieloletniej. Korzystne warunki termiczne dla rozwoju roślinności występowały od początku termicznej wiosny do końca termicznej jesieni. W większości badanych zlewni termiczna wiosna rozpoczęła się w połowie marca, jedynie w Polsce północnej (Wigry, Puszcza Borecka, Storkowo) i w górach (Karkonosze) rozwój roślinności rozpoczął się na początku kwietnia. W większości badanych geoekosystemów położonych na Nizinie Polskiej termiczna jesień trwała do końca roku hydrologicznego. Natomiast w zlewniach położonych w północno-wschodniej Polsce (Wigry, Puszcza Borecka) oraz w strefie wyżyn (Roztocze, Święty Krzyż) i gór (Karkonosze) termiczna jesień zakończyła się trochę wcześniej, w drugiej połowie października. W rozkładzie czasowym termicznych pór roku wyróżniało się występowanie skrajnych termicznych pór roku. Stwierdzono stosunkowo krótki czas trwania termicznej zimy a zarazem długi okres występowania termicznego lata. 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 dojrzwania roślin.





Ryc. 15. Przebieg termicznych pór roku w zlewniach badawczych ZMŚP w 2017 roku



Ryc. 16. Czas trwania termicznych pór roku w zlewniach badawczych ZMŚP w 2017 roku

7.1. Sezon wegetacyjny

Rok 2017 był wyjątkowo wilgotny oraz normalny pod względem termicznym, co skutkowało długim czasem trwania sezonu wegetacyjnego (tab. 26), sprzyjającym rozwojowi roślinności. Okres wegetacyjny trwał średnio 229 dni, od 201 dni w Karkonoszach do 245 dni na Pojezierzu Chełmińskim (Koniczynka). Natomiast czas trwania sezonu intensywnej wegetacji o średniej dobowej temperaturze powietrza $\geq 10^{\circ}\text{C}$ był w całej Polsce bardziej zróżnicowany, od 149 dni na Pojezierzu Litewskim (Wigry) do 193 dni na Pojezierzu Drawskim (Storkowo). W 2017 roku czas trwania sezonu wegetacyjnego zmniejszał się z północy na południe w poszczególnych strefach krajobrazowych, od 235 dni w strefie nadmorskiej, poprzez 232 dni w strefie pojezierzy i 224 dni na nizinach środkowopolskich, do 228 dni w strefie wyżyn i 223 dni regionach górskich. Jednakże średnia różnica długości sezonu wegetacyjnego w strefach krajobrazowych wyniosła zaledwie 2 tygodnie. Taka sytuacja świadczy, że warunki termiczne dla rozwoju roślinności w strefach krajobrazowych były korzystne. Pomimo, że 2017 rok był normalny oraz lekko chłodny lub lekko ciepły to czas trwania sezonu wegetacyjnego w porównaniu z rokiem 2016 był krótszy tylko o 1 dzień a sezonu intensywnej wegetacji był nawet dłuższy o 6 dni. Warunki termiczne w 2017 roku były zatem wyjątkowo korzystne dla rozwoju roślinności i zdecydowanie lepsze niż w 2016 roku. Rok 2016 był we wszystkich geoeekosystemach cieplejszy od wartości normalnych, ale

był bardzo zróżnicowany termicznie w poszczególnych miesiącach wegetacyjnych oraz notowano wtedy susze meteorologiczne i fale upałów, które wzmagaly ewapotranspirację i ograniczenie dostępności wody dla roślinności. Natomiast w 2017 roku nie było gwałtownych zmian temperatury powietrza i nie stwierdzono znaczącej suszy meteorologicznej i fal upałów. Dodatkowo był to rok wilgotny i dlatego dostępność wody dla roślinności była bardzo sprzyjająca.

Tab. 26. Sezon wegetacyjny w zlewniach badawczych ZMŚP w 2017 roku

Stacja	Strefa krajobrazowa	Okres wegetacyjny	Okres intensywnej wegetacji
Wolin	nadmorska	235	170
Storkowo	pojezierzy	229	193
Puszcza Borecka		223	191
Wigry		209	149
Koniczynka		245	168
Różany Strumień		254	176
Kampinos	nizin	224	173
Święty Krzyż	wyżyn	219	152
Roztocze		236	172
Szymbark	gór średnich	244	170
Karkonosze		201	168

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 2017 roku hydrologicznym nie zostały przekroczone we wszystkich Stacjach Bazowych (tab. 27). Dobry stan jakości powietrza wpływał pozytywnie na stan przyrody ożywionej. Sporadyczne przekroczenia wartości normatywnych stwierdzono tylko w Stacji Różany Strumień położonej w sąsiedztwie miasta Poznania i w Koniczynie położonej w sąsiedztwie Torunia. Oddziaływanie miast na stan powietrza atmosferycznego było niekiedy negatywne, gdyż w sezonie zimowym przekroczone były normy stężenia SO_2 . Generalnie najlepsza jakość powietrza występowała w Polsce północnej (Wolin, Storkowo, Puszcza Borecka i Wigry). Natomiast najbardziej zanieczyszczoną pod względem jakości powietrza strefą była Polska centralna (Koniczynka, Różany Strumień, Kampinos, Święty Krzyż).

Tab. 27. Zanieczyszczenie powietrza - średnie roczne stężenie SO_2 i NO_2 [$\mu g\ m^{-3}$] w zlewniach badawczych ZMŚP w 2017 roku

Stacja	Strefa krajobrazowa	NO_2 [$\mu g\ m^{-3}$]	SO_2 [$\mu g\ m^{-3}$]
Wolin	nadmorska	8,7	1,8
Storkowo	pojezierzy	8,0	2,2
Puszcza Borecka		5,0	3,0
Wigry		2,4	1,3
Koniczynka		9,0	3,4
Różany Strumień		17,6	12,0
Kampinos	nizin	10,3	2,5
Święty Krzyż	wyżyn	10,0	6,5
Roztocze		6,2	3,1
Szymbark	gór średnich	9,4	6,7
Karkonosze		6,3	5,3

7.4. Uszkodzenia drzew i drzewostanów

W 2017 roku pomimo względnie lepszych warunków termiczno-opadowych niż w roku ubiegłym i braku długotrwałych okresów suszy meteorologicznej nie stwierdzono w większości badanych zlewni wyraźnej poprawy stanu drzewostanów. Jednakże w 2017 roku w większości badanych zlewni defoliacja i odbarwienie liści była niższa niż w 2016 roku (np. Kampinos, Roztocze), ale nie były to zmiany znaczące. Badania zależności przyczynowo-skutkowej (warunki pogodowe danego roku na zdrowotność drzewostanów) wykazują duże opóźnienie w czasie. W większości badanych geoekosystemów reperkusje 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. Takim przejawem wydłużenia w czasie negatywnych skutków warunków abiotycznych z roku poprzedniego były drzewostany monitorowane np. przez Stację Kampinos. W drzewostanie tej zlewni średnia defoliacja w 2015 roku (suchym) wyniosła (38%), w następnym 2016 roku (normalnym) była wyższa o 11% (49%) i dopiero nieznaczna poprawa była w 2017 roku (wilgotnym) 37%.

Analiza przestrzenna zdrowotności drzewostanów posiadała w 2017 roku wymiar regionalny, czego potwierdzeniem były wartości średniej defoliacji sosen w zlewni górnej Parsęty (18%) i zlewni Jeziora Gardno na wyspie Wolin (21%), które były zbliżone dla sosny w wieku powyżej 60 lat z terenu RDLP Szczecinek – 21%, czy dla województwa zachodniopomorskiego – 19% (Szpikowski i in. 2017). Jednakże w analizie czasowo-przestrzennej stanu drzewostanów w Polsce należy uwzględnić także lokalną zmienność

przestrzenną, które często może nie w pełni nawiązywać do ujęcia regionalnego. Na przykład w poprzednim roku średnia defoliacja sosen w województwie zachodniopomorskim wyniosła 18%. W SE części województwa, w zlewni górnej Parsęty średnia defoliacja wyniosła wtedy 17% ale w NW części województwa, w zlewni Jeziora Gardno defoliacji sosen w 2017 roku nie stwierdzono.

7.5. Bioindykacja - 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 2017 roku wykonano badania patrolowe występowania roślinnych gatunków inwazyjnych na obszarze całych zlewni ZMŚP. W tabeli 29 przedstawiono charakterystykę występowania gatunków inwazyjnych w badanych zlewniach ZMŚP i dokonano względnej waloryzacji zagrożenia dla funkcjonowania rodzimej flory. Przyjęto założenie, że dużym zagrożeniem ekspansji gatunków inwazyjnych są geoekosystemy o ilości co najmniej 10 gatunków.

Pod względem występowania roślinnych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia najlepsza sytuacja występowała w obszarach chronionych, na terenach Parków Narodowych (oprócz Roztoczańskiego i Kampinoskiego). Natomiast szczególnie dużo gatunków inwazyjnych występowało w zlewniach poddanych presji antropogenicznej w postaci działalności rolniczej (Koniczynka) i funkcjonowania ośrodków miejskich (Różany Strumień). 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. Różany Strumień, Koniczynka, Storkowo). Pewnym zagrożeniem jest w porównaniu z rokiem ubiegłym niewielki wzrost ilości gatunków (o 2) stwierdzonych w zlewniach o najmniejszej antropopresji (Stacje Wolin, Puszcza Borecka i Karkonosze), co świadczy o narastającym zagrożeniu. Bardzo dobre warunki opadowo-termiczne w 2017 roku sprzyjały rozwojowi

rodzimej szaty roślinnej, ale niestety były także korzystne także roślin inwazyjnych obcego pochodzenia.

Tab. 29. Występowanie roślinnych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia w zlewniach ZMŚP w 2017 roku

Stacja Bazowa	Gatunki w zlewni	Zagrożenie
Wolin	7	małe
Storkowo	18	duże
Puszcza Borecka	5	małe
Wigry	3	małe
Koniczynka	68	duże
Różany Strumień	17	duże
Kampinos	20	duże
Święty Krzyż	8	małe
Roztocze	38	duże
Szymbark	2	małe
Karkonosze	7	małe

7.6. Lichenoindykacja - metale ciężkie i siarka w porostach

Podczas badań biomonitoringowych dokonywana jest ocena toksyczności różnych parametrów biotopowych, a jako pierwsze biowskaźniki wykorzystano porosty. Niewielkie wymagania biotopowe sprowadzające się do dostępu do światła i wody lub wilgoci powodują, że porosty zasiedlają wszystkie środowiska pod warunkiem, że ich habitaty charakteryzują się wysokimi średniorocznymi opadami lub stale utrzymującą się wilgotnością. Pobór wody przez plechy porostowe przebiega w sposób specyficzny ponieważ odbywa się całą powierzchnią organizmu. Zjawisko określane jako ektohydriczność pozwala na zastosowanie porostów do oceny stanu zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego ponieważ wraz z wodą wchłaniają one zanieczyszczenia pyłowe i gazowe (Sawicka-Kapusta, Zakrzewska 2003). W programie pomiarowym Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w 2017 roku wykonano badania mające na celu ocenę zanieczyszczenia powietrza metalami ciężkimi i dwutlenkiem siarki z wykorzystaniem plech porostu pustułki pęcherzykowatej *Hypogymnia physodes*, pobranych z naturalnych stanowisk w zlewniach ZMŚP. Wyniki badań zawarto w opracowaniu Józwiak (2017). Celem badań była ocena w roku 2017 zanieczyszczenia powietrza metalami ciężkimi (Cr, Cd, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) i siarki (S) w 9 Stacjach Bazowych ZMŚP na podstawie lichenoindykacji. W Stacji Różany Strumień i Koniczynka naturalne stanowiska *Hypogymnia physodes* nie występowały.

Największe zagrożenie metalami ciężkimi w roku 2017 stwierdzono na Świętym Krzyżu i w Kampinosie. Natomiast najwyższe stężenie siarki w plechach porostu *Hypogymnia physodes* w roku 2017 stwierdzono w Kampinosie i Puszczy Boreckiej. Ze

względu na bardzo duże zróżnicowanie stężenia poszczególnych metali ciężkich w badanych geoekosystemach ZMŚP stworzono względny ranking, który przypisuje każdej zlewni odpowiednie miejsce ze względu na stężenie danego pierwiastka w porostach (od 1 pozycji o najniższym stężeniu do 9 pozycji o najwyższym stężeniu). Dzięki temu możliwe było później względne sklasyfikowanie badanych zlewni ZMŚP pod względem zagrożenia kumulacją metali ciężkich w plechach porostów. Za względnie dobry stan uznano ranking ≤ 4 miejsce, za przeciętny stan 5-6 miejsce a za słaby ≥ 7 miejsce. Najniższa kumulacja metali ciężkich występowała w NW zachodniej Polsce (Wolin i Storkowo) oraz na Roztoczu i Karkonoszach. Przeciętnym zanieczyszczeniem charakteryzowały się geoekosystemy w NE Polsce (Puszcza Borecka i Wigry) oraz Szymbark. Natomiast największe zagrożenie występowało w środkowej Polsce (Kampinos i Święty Krzyż). Brak porostów *Hypogymnia physodes* w zlewni Różanego Strumienia świadczy o degradacji środowiska i zanieczyszczeniu atmosfery uniemożliwiającym funkcjonowanie porostów. Powyższy ranking zagrożeń zanieczyszczeniem metalami ciężkimi porostów w zlewniach ZMŚP jest zbieżny z analizą skupień Warda dokonaną przez Józwiak (2017).

Tab. 30. Stężenie metali ciężkich i siarki w plechach porostów *Hypogymnia physodes* zebranych w Stacjach Bazowych ZMSP w sierpniu 2017 roku [dobry, przeciętny, słaby]

Metale ciężkie Siarka	Wolin	Storkowo	Puszcza Borecka	Wigry	Kampinos	Święty Krzyż	Roztocze	Szymbark	Karkonosze
Stężenie [mg*kg ⁻¹ s.m.]									
Pb	4,3	5,8	6,31	4,79	10,55	11,78	6,55	8,65	6,12
Cd	0,81	0,7	0,64	0,49	0,92	1,79	0,68	1,43	0,89
Cr	0,47	0,02	0,04	0,53	0,33	0,17	0,03	0,03	0,04
Cu	3,87	8,30	4,23	4,87	5,19	2,34	0,54	0,33	0,30
Ni	0,44	0,50	0,99	0,60	1,25	0,58	0,48	1,40	0,53
Zn	5,11	22,42	20,12	15,42	25,19	37,38	11,35	42,75	10,58
Fe	210,40	156,47	220,43	190,32	249,21	352,88	97,37	148,92	82,32
S	242,88	198,44	366,82	265,69	412,87	268,58	231,55	276,27	46,83
Ranking									
Pb	1	3	2	5	8	9	6	7	4
Cd	5	4	1	2	7	9	3	8	6
Cr	9	1	8	4	7	6	3	2	5
Cu	5	9	7	6	8	4	3	2	1
Ni	1	3	6	7	8	5	2	9	4
Zn	1	6	4	5	7	8	3	9	2
Fe	6	4	5	7	8	9	2	3	1
S	4	2	5	8	9	6	3	7	1
Średnia	4	4	5	5	8	7	3	6	3

7.7. Hydrobiologia rzek – makrofity i hydromorfologiczna ocena koryt rzecznych

Korzystne warunki hydrometeorologiczne w 2017 i 2016 roku nie zaburzały makrofitowej i hydromorfologicznej oceny koryt rzecznych. Badania prowadzono w pełni sezonu wegetacyjnego, który jest optymalnym okresem do badań makrofitowych i hydromorfologicznych. W 2017 roku w badanych ciekach (Stacje Różany Strumień, Szymbark i Karkonosze) nie stwierdzono ograniczeń hydrologicznych dla wykonania badania. W 2016 roku w badanych ciekach Polski NE i E (Stacje: Puszcza Borecka, Wigry, Święty Krzyż i Roztocze) nie stwierdzono zaniku odpływu rzeczno, nie było także intensywnych wezbrań i głębokich niżówek. Natomiast uwarunkowania hydrometeorologiczne w 2015 roku miały duży wpływ na makrofitową i hydromorfologiczną ocenę koryt rzecznych. Badania wykonano wtedy na w Stacjach ZMŚP: Wolin, Storkowo, Kampinos i Konieczynka. Ze względu na suszę na niektórych fragmentach badanych cieków (Struga Toruńska i Kanał Olszowiecki) 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. Biorąc pod uwagę małą krótkookresową (z roku na rok) dynamikę stanu geoekologicznego koryt i dolin rzecznych można założyć, że wyniki z 2015 i 2016 roku są aktualne także dla 2017 roku. W ocenie hydrobiologii rzek wykorzystano opracowania Szoszkiewicza i in. (2015, 2016, 2017).

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).

Badania hydromorfologiczne były prowadzone w oparciu o metodę oceny wód płynących – River Habitat Survey (RHS) (Environment Agency 2007), wg polskiej jej wersji. Na jej podstawie możliwa jest charakterystyka koryta rzeczno oraz w mniejszym stopniu doliny rzeczno. Dzięki temu możliwa jest ocena stopnia naturalności i przekształcenia morfologicznego cieku (Szoszkiewicz i in. 2012). Ocenę stanu hydromorfologicznego metodą RHS wykonano jako wypadkową wskaźników naturalności HQA i przekształcenia siedliska HMS.

Stan geoeologiczny badanych geoeosystemów określono na podstawie niższej wartości otrzymanych wskaźników MIR i RHS (tab. 34).

Analiza wskaźnika MIR (tab. 31) wykazała co najmniej umiarkowany stan eologiczny badanych koryt rzecznych (≤ 3 klasa). Bardzo dobry stan eologiczny (1 klasa) stwierdzono w zlewniach: górnej Parsęty (Stacja Storkowo), Świerszcza (Stacja Roztocze) i Wrzosówki (Stacja Karkonosze). Natomiast najslabszym stanem umiarkowanym (3 klasa) spośród badanych geoeosystemów charakteryzowały się zlewnie Lewińskiej Strugi (Stacja Wolin) i Struga Toruńska (Stacja Koniczynka). Pozostałe geoeosystemy miały stan dobry (2 klasa).

Analiza wskaźnika RHS (tab. 31) wykazała znacznie gorszy stan środowiska rzecznoego niż miało to miejsce w przypadku wskaźnika MIR. Jedynie w Czarnej Hańczy wskaźnik RHS (1 klasa) był lepszy niż MIR (2 klasa). Zatem dla większości cieków o stanie geoeologicznym środowiska rzecznoego decydował głównie wskaźnik hydromorfologicznej oceny koryta rzecznoego.

Tab. 31. Wartości wskaźnika MIR, RHS i stan geoeologiczny koryt rzecznych w zlewniach ZMŚP (2015-2017)

Stacja ZMŚP (ciek)	MIR	RHS	Stan geoeologiczny
Wolin (Lewińska Struga)	3	5	zły
Storkowo (Parsęta)	1	2	dobry
Puszcza Borecka (dopływ z Jeziora Łękuk)	2	3	umiarkowany
Wigry (Czarna Hańcza)	2	1	dobry
Koniczynka (Struga Toruńska)	3	3	umiarkowany
Różany Strumień (Różany Strumień)	2	5	zły
Kampinos (Kanał Olszowiecki)	2	5	zły
Święty Krzyż (Pokrzywianka)	2	3	umiarkowany
Roztocze (Świerszcz)	1	1	bardzo dobry
Symbark (Bystrzanka)	2	3	umiarkowany
Karkonosze (Wrzosówka)	1	1	bardzo dobry

Generalnie do bardzo dobrego stanu geoeologicznego (1 klasa) zakwalifikowano tylko 2 cieki Świerszcz na Roztoczu i Wrzosówkę w Karkonoszach. Do dobrego stanu (2 klasa) należały także 2 środowiska rzeczne: górnej Parsęty i Czarnej Hańczy. Do umiarkowanego stanu (3 klasa) należały 4 cieki: dopływ z Jeziora Łękuk, Toruńska Struga,

Pokrzywianka i Bystrzanka. Natomiast najgorszym, złym stanem geoeologicznym charakteryzowały się 3 cieki: Lewińska Struga, Różany Strumień i Kanał Olszowiecki. Analiza przestrzenna stanu geoeologicznego nie wykazała różnic regionalnych (tab. 31). O stanie geoeologicznym cieków decydowały uwarunkowania wybitnie lokalne związane m. in. antropopresją w niekorzystnych zmianach użytkowania terenu, zaburzeniami reżimu rzeczno, regulacji koryt rzecznych i pogarszaniu jakości wody.

7.8. Struktura i dynamika szaty roślinnej

Stan struktury szaty roślinnej w badanych geoeosystemach odniesiono do jednego z wielu wskaźników jakim jest liczebność gatunków reprezentujących kategorię gatunków „starych lasów” (tab. 32). Badania struktury szaty roślinnej na wytypowanych powierzchniach leśnych wykonano w 2016 roku. Biorąc pod uwagę niską dynamikę zmian występowania gatunków starych lasów wyniki z 2016 roku są aktualne także dla roku 2017.

Tab. 32. Charakterystyka składu gatunków starych lasów w zlewniach ZMŚP

Stacja Bazowa	% składu gatunkowego	Gatunki	Zasoby
Wolin	32	8	przeciętne
Storkowo	0	0	ubogie
Puszcza Borecka	44	40	bogate
Wigry	39	31	bogate
Koniczynka	0	0	ubogie
Różany Strumień	2	1	ubogie
Kampinos	23	5	przeciętne
Święty Krzyż	44	12	bogate
Roztocze	31	5	przeciętne
Szymbark	20	9	przeciętne
Karkonosze	33	6	przeciętne

W tabeli 34 przedstawiono charakterystykę składu gatunków starych lasów w badanych zlewniach ZMŚP, która dobrze oddaje stan badanego zbiorowiska roślinnego. Najbardziej bogate zasoby gatunków ($\geq 10\%$ pokrycia i ≥ 10 gatunków) starych lasów występowały w strefie pojezierzy w Polsce północno-zachodniej (Puszcza Borecka i Wigry) oraz w strefie wyżynnej (Święty Krzyż). Szczególne bogactwo tych cennych gatunków występowało głównie na obszarze Parków Narodowych o mało zmienionych zbiorowiskach leśnych (Wigierski i Świętokrzyski). W Parkach Narodowych gdzie człowiek znacząco dokonał przebudowy drzewostanu zasoby tych gatunków były przeciętne (Woliński, Roztoczański, Kampinoski i Karkonoski). Najmniej bogate zasoby gatunków starych lasów ($< 10\%$ pokrycia i < 10 gatunków) albo wręcz ich brak stwierdzono w zlewniach poddanych silnej antropopresji rolniczej lub urbanizacyjnej (Stacje Koniczynka i Różany Strumień). Brak gatunków starych lasów w Storkowie wynikał ze specyficznie wybranej powierzchni

badawczej, w której analizowana jest dynamika sukcesji roślinnej (w tym gatunków leśnych) po zaprzestaniu działalności rolniczej po 1990 roku.

7.9. Zmiany pokrycia terenu i użytkowanie ziemi

Analizę zmian pokrycia terenu i użytkowania ziemi dokonano na podstawie porównania map z 2016 i 2010 roku, dokonanych na III poziomie szczegółowości CLC. Dynamika zmian typów pokrycia terenu i użytkowania ziemi w badanych interwałach czasowych była mała. Biorąc pod uwagę niską dynamikę zmian użytkowania terenu to wyniki z 2016 roku są aktualne także dla 2017 roku. Pozytywną tendencją był brak deforestacji badanych zlewni a wręcz niewielki przyrost powierzchni leśnych. Natomiast pewnym zagrożeniem w niektórych zlewniach (np. Storkowo, Kampinos) był wzrost udziału terenów przeznaczonych pod zabudowę i infrastrukturę komunikacyjną. Najbardziej stabilne pod względem przemian użytkowania ziemi były zlewnie położone na terenach Parków Narodowych (np. Woliński, Kampinoski). Natomiast względnie największe zmiany występowały w zlewniach nie posiadających żadnych form ochrony i poddanych antropopresji. Należy podkreślić, że dynamika zmian typów użytkowania i form pokrycia terenu nie odgrywała w obecnej dekadzie znaczącej roli na stan środowiska przyrodniczego badanych geoekosystemów.

8. STAN GEOEKOLOGICZNY I POTENCJAŁ ŚRODOWISKA PRZYRODNICZEGO

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

Stan geoekologiczny roku został określony na podstawie wyników realizacji corocznego programu ZMŚP na Stacjach Bazowych w 2017 z uwzględnieniem stanu z roku poprzedniego (z 2016 roku na 2017 rok). Do oceny dynamiki rocznej stanu geoekologicznego wykorzystano programy: meteorologia, zanieczyszczenie powietrza, chemizm opadów atmosferycznych, chemizm opadu podkoronowego, chemizm spływu po pniach, chemizm roztworów glebowych, wody podziemne, wody powierzchniowe – rzeki i jeziora, opad organiczny, gatunki inwazyjne obcego pochodzenia – rośliny, uszkodzenia drzew i drzewostanów; epifity nadrzewne, zjawiska ekstremalne, metale ciężkie i siarka w porostach (tab. 32).

Uzupełnieniem oceny geoeekologicznej w 2017 roku było uwzględnienie także programów realizowanych 1 raz na 3 lata (tab. 32): zmiany pokrycia terenu i użytkowanie ziemi, struktura i dynamika szaty roślinnej, hydrobiologia rzek – makrofity i hydromorfologiczna ocena koryt rzecznych, ocena usług geoekosystemów. Biorąc pod uwagę małą krótkookresową (z roku na rok) zmienność tych komponentów środowiska przyrodniczego można założyć, że wyniki z 2015 i 2016 roku są aktualne także dla 2017 roku.

Natomiast przedstawiona ocena usług geoekosystemów dostarcza bardzo istotnych informacji o potencjale i zasobach środowiska przyrodniczego badanych geoekosystemów.

8.1. Potencjał środowiska przyrodniczego

Potencjał środowiska przyrodniczego badanych geoekosystemów określono na podstawie realizacji programu „Ocena usług geoekosystemów”. Oceny 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 opracowaniach Stępniewskiej (2015, 2016, 2017). 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 ogółem:

- 1 usługę zaopatrującą:
 - produkcja żywności – produkty żywnościowe dla ludzi;
- 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,

- o poprawa jakości wody - oddziaływanie geoekosystemów na jakość wody, np. poprzez ograniczanie zanieczyszczeń i patogenów,
- o regulacja obiegu wody - wpływ na składowe cyklu obiegu wody (np. retencja i regulacja odpływu, naturalny drenaż, stabilizacja poziomu wód i przeciwdziałanie suszom),
- o regulacja obiegu biogenów - zdolność geoekosystemu do recyklingu, np. azotu i fosforu,
- o ochrona przed erozją - retencja glebowa oraz zdolność do przeciwdziałania erozji gleb i powstawania osuwisk,
- o zapylenie i rozprzestrzenianie nasion - pszczoły, ptaki, nietoperze, ćmy, muchy i inne zwierzęta przyczyniające się do reprodukcji roślin poprzez przeniesienie ich pyłków lub nasion,
- o kontrola szkodników i przeciwdziałanie plagom - zdolność do zwalczania szkodników i chorób, co czyni rośliny i zwierzęta mniej podatnymi na choroby i pasożyty.

Tab. 33. Potencjał środowiskowy w zlewniach ZMŚP na podstawie programu oceny usług geoekosystemów (2015-2017)

Stacja Bazowa	Usługi regulacyjne								Usługi zaopatrujące	Suma pkt	Ranking (miejsce)	Potencjał środowiska
	kształtowanie klimatu w skali globalnej	kształtowanie klimatu w skali lokalnej	poprawa jakości powietrza	poprawa jakości wody	regulacja obiegu wody	regulacja obiegu biogenów	ochrona przed erozją	zapylenie i rozprzestrzenianie nasion	kontrola szkodników i przeciwdziałanie plagom			
Wolin										42	1	wysoki
Storkowo										38	9	średni
Puszcza Borecka										42	1	wysoki
Wigry										41	4	wysoki
Koniczynka										14	10	niski
Różany Strumień										7	11	niski
Kampinos										41	4	wysoki
Święty Krzyż										42	1	wysoki
Roztocze										41	4	wysoki
Szymbark										32	8	średni
Karkonosze										41	4	wysoki

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

W ocenie usług geoekosystemów wzięto pod uwagę dominację klasy (największy udział procentowy) dla danej usługi. Potencjał środowiska badanych geoekosystemów określono na podstawie sumy punktów z macierzy (tab. 33) a warunkowany on był głównie strukturą użytkowania i formami pokrycia terenu. Wysokim potencjałem (>40 pkt, ranking miejsca 1-4) charakteryzowała się zdecydowana większość zlewni, ZMŚP o względnie małych przekształceniach antropogenicznych (7 Stacji: Wolin, Puszcza Borecka, Wigry, Kampinos, Święty Krzyż, Roztocze i Karkonosze). Średnim potencjałem (30-40 pkt, ranking miejsca 8-9) odznaczały się 2 Stacje Szymbark i Storkowo,. Natomiast względnie niskim potencjałem (<30 pkt, ranking miejsca 10-11) wyróżniły się 2 Stacje, monitorujące zlewnie o wysokiej antropopresji Rożany Strumień i Koniczynka. Stwierdzono pewną dysproporcję w zakresie waloryzacji usług regulacyjnych stan środowiska przyrodniczego a usługami zaopatrującymi ludność. Zlewnie o wysokich potencjale usług regulacyjnych (np. Stacje Wolin i Puszcza Borecka) nie posiadały żadnych usług zaopatrujących. Natomiast zlewnia o wysokim potencjale usług zaopatrujących (Stacja Koniczynka) miała niski potencjał usług regulacyjnych. Skrajnym przypadkiem była miejska zlewnia Różanego Strumienia, gdzie usługi regulacyjne i zaopatrujące nie występowały lub były bardzo ograniczone.

8.2. Stan geoeekologiczny

W oparciu o realizowany w okresie 2015-2017 program ZMŚP dokonano waloryzacji stanu środowiska przyrodniczego badanych zlewni (tab. 34). Dokonano oceny geoeekologicznej komponentów środowiska przyrodniczego (programów ZMŚP) realizowanych na stacjach. Uwzględniono właściwości ilościowe i jakościowe oraz tendencje zmian danego komponentu środowiska przyrodniczego.

Waloryzacja stanu geoeekologicznego środowiska dla poszczególnych komponentów środowiska przyrodniczego wykonana została w oparciu o następujące kryteria:

- **stan dobry +1 pkt** - pozytywna zmiana ilościowa lub jakościowa danego komponentu w 2017 roku w odniesieniu do roku 2016; lub zachowanie dobrego stanu z poprzedniego roku,
- **stan przeciętny 0 pkt** - brak zmiany ilościowej lub jakościowej danego komponentu w 2017 roku na tle roku 2016; lub zachowanie przeciętnego stanu z poprzedniego roku,
- **stan słaby -1 pkt** - negatywna zmiana ilościowa lub jakościowa danego komponentu w 2017 roku na tle roku 2016; lub zachowanie słabego stanu z poprzedniego roku.

Tab. 34. Stan geoeekologiczny zlewni badawczych ZMŚP w 2017 roku (na podstawie programów o rocznym i trzyletnim interwale czasowym)

Program ZMŚP	Rok	Wolin	Storkowo	Puszcza Borecka	Wigry	Koniczynka	Różany Strumień	Kampinos	Święty Krzyż	Roztocze	Szymbark	Karkonosze
Programy 1 raz/rok [+1 pkt stan dobry, 0 pkt stan przeciętny, -1 pkt stan słaby]												
Meteorologia	2017											
	2016											
Zanieczyszczenie powietrza	2017											
	2016											
Chemizm opadów atmosferycznych	2017											
	2016											
Chemizm opadu podkoronowego	2017											
	2016											
Chemizm spływu po pniach	2017											
	2016											
Chemizm roztworów glebowych	2017											
	2016											
Wody podziemne	2017											
	2016											
Opad organiczny	2017											
	2016											
Wody powierzchniowe - rzeki	2017											
	2016											
Wody powierzchniowe - jeziora	2017											
	2016											
Gatunki inwazyjne obcego pochodzenia – rośliny	2017											
	2016											
Uszkodzenia drzew i drzewostanów	2017											
	2016											
Epifity nadrzewne	2017											
	2016											
Zjawiska ekstremalne	2017											
	2016											
Metale ciężkie i siarka w porostach	2017											
	2016											
Programy 1 raz/3 lata [+1 pkt stan dobry, 0 pkt stan przeciętny, -1 pkt stan słaby]												
Zmiany pokrycia terenu i użytkowanie ziemi	2016											
Struktura i dynamika szaty roślinnej	2016											
Hydrobiologia rzek – makrofity i hydromorfologiczna ocena koryt rzecznych	2017											
	2016											
	2015											
Ocena usług geoekosystemów	2017											
	2016											
	2015											
Stan geoeekologiczny	2017	11	12	13	10	-4	-1	4	8	10	11	12

Do oceny stanu środowiska badanych wzięto także pod uwagę wyniki programów realizowanych w rocznym interwale czasowym oraz 1 raz na 3 lata w okresie 2015-2017 (tab. 34). Dla programów realizowanych corocznie była możliwość odniesienia stanu poszczególnych komponentów środowiska przyrodniczego w 2017 roku do roku ubiegłego. Natomiast dla programów realizowanych w cyklu trzyletnim nie było możliwości odniesienia do badań poprzednich, gdyż programy wykonane były po raz pierwszy.

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.

Względnie najlepszym stanem geoekologicznym w 2017 roku charakteryzowały się geoekosystemy położone w Polsce północnej (Stacje w strefie nizin nadmorskich i pojezierzy: Wolin, Storkowo, Puszcza Borecka i Wigry) i południowej (Stacje w strefie gór średnich: Szymbark i Karkonosze oraz w strefie wyżyn: Stacja Rostocze). Przeciętnym stanem odznaczały się geoekosystemy znajdujące się w Polsce środkowej (Stacje Kampinos i Święty Krzyż). Najgorszym stanem charakteryzowały się geoekosystemy poddane silnej antropopresji rolniczej i urbanizacyjnej (Stacje Koniczynka i Różany Strumień). Zlewnia Różanego Strumienia znajduje się w strefie negatywnego oddziaływania miasta Poznania a zlewnia Strugi Toruńskiej podlega intensywnej presji rolniczej.

9. MODELOWANIE ZMIAN BILANSU WODNEGO I BIOGEOCHEMICZNEGO ZLEWNI ZMŚP

Modelowanie hydrochemiczne zostało przeprowadzone za pomocą modelu Soil and Water Assessment Tool (SWAT) dla zlewni z wykorzystaniem dostępnego dla każdej stacji indywidualnego okresu danych. Okres ten podzielono na lata objęte kalibracją i lata objęte walidacją. Pierwszy rok lub dwa lata przeznaczone były na okres dostosowywania modelu (ang. *warm-up period*). Do przeprowadzenia modelowania wykorzystano model w wersji SWAT2012. Do przygotowania plików wejściowych do modelu wykorzystywane było oprogramowanie MapWindow GIS wraz z rozszerzeniem MWSWAT2012, ArcGIS wraz z rozszerzeniem ArcSWAT oraz QGIS z rozszerzeniem QSWAT. Kalibrację wyników symulacji przeprowadzono w oprogramowaniu SWAT Calibration and Uncertainty Program (SWAT-CUP) (Abbaspour i in. 2007) z wykorzystaniem algorytmu Sequential Uncertainty Fitting (SUFIT) (Abbaspour i in. 2004, 2007). Dane wejściowe do modelu obejmowały dane przestrzenne (cyfrowy model wysokościowy, mapa gleb, mapa pokrycia terenu i użytkowania

ziemi, struktura hydrograficzna – cieki i zlewnie cząstkowe) oraz pozyskane z bazy danych ZMŚP dane meteorologiczne.

Symulacje bilansu wodnego i biogeochemicznego zostały przeprowadzone dla całego okresu danych, które były bardzo zróżnicowane w poszczególnych zlewniach badawczych (od kilku do ponad 20 lat). Im większy zakres danych tym dopasowanie modelu, kalibracja i walidacja w odniesieniu do wartości rzeczywistych było lepsze. Do wykonania symulacji zastosowano m. in. następujące metody: szacowanie opadu efektywnego – metoda SCS-CN, szacowanie ewapotranspiracji – metoda Penmana-Monteitha. Symulacje wykonano dla miesięcznego kroku danych wyjściowych. W celu zmniejszenia błędów istniała konieczność dopasowania parametrów modelu do warunków fizycznogeograficznych poszczególnych zlewni. W tym celu dla każdej zlewni wykonano kalibrację modelu w oparciu o dane natężenia przepływu wody. Kalibrację przeprowadzono w programie SWAT-CUP 2012 w oparciu o algorytm kalibracji SUFI2. Do kalibracji modelu wykorzystano następujące parametry modelu SWAT: ALPHA_BF, GW_DELAY, GWQMN, GW_REVAP, REVAPMN, CN2, ESCO, SOL_AWC, CANMX. Wykonano kilka iteracji (najczęściej 4), a każda iteracja obejmowała kilkaset symulacji (najczęściej 500). Na podstawie wykonanych iteracji określono optymalne wartości parametrów dla każdej zlewni. Wyznaczone parametry zostały następnie zastosowane do obliczeń bilansu wodnego i biogeochemicznego w okresie walidacji modelu.

Tab. 35. Statystyki oceny symulowanych średnich miesięcznych wartości przepływu

Stacja	Okres kalibracji	R ²	NSE	PBIAS	Okres walidacji	R ²	NSE	PBIAS
Wolin	2010-2013	0,50	0,36	18,61	2014-2015	0,41	0,33	9,66
Storkowo	2007-2011	0,74	0,72	5,19	2012-2014	0,74	0,70	4,68
Puszcza Borecka	2005-2006	0,81	0,64	7,53	2007-2008	0,75	0,52	-12,59
Wigry	2003-2009	0,87	0,65	20,50	2010-2015	0,88	0,71	16,10
Koniczynka	1994-2012	0,72	-	-	-	-	-	-
Różany Strumień	2016	0,39	-0,32	-16,08	-	-	-	-
Kampinos	2006-2011	0,73	0,72	6,10	2012-2015	0,64	0,53	-24,20
Święty Krzyż	2007-2008	0,45	0,44	-9,66	2009	0,41	0,34	-24,74
Roztocze	2012-2014	0,40	0,28	-15,70	2015-2017	0,44	0,39	-13,20
Szymbark	2003-2009	0,68	0,63	19,90	2010-2015	0,84	0,82	11,60
Karkonosze	2016	0,41	0,27	21,70	-	-	-	-

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

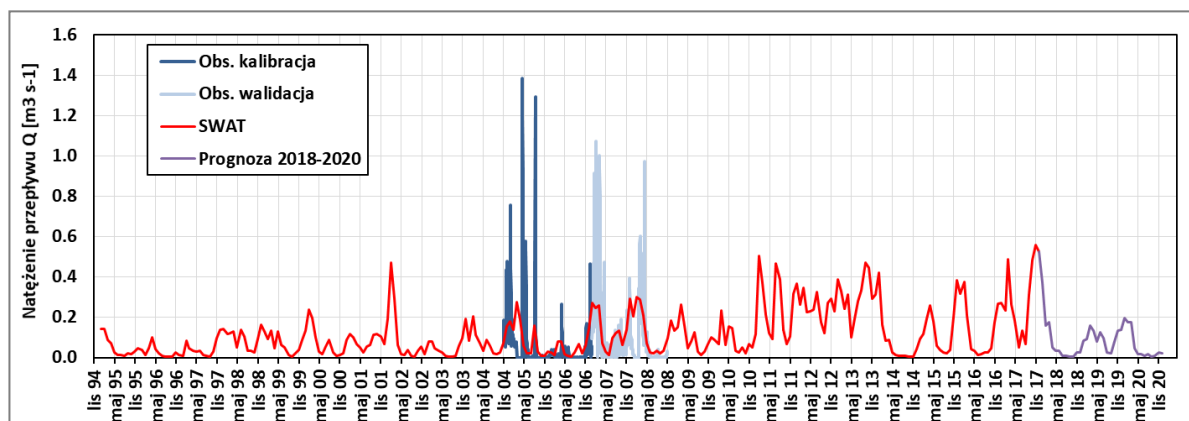
Uzyskane wyniki symulowanych wartości średnich miesięcznych przepływu wody poddano ocenie wg trzech parametrów: współczynnika determinacji R^2 , współczynnika efektywności modelu Nasha-Sutcliffea (NSE) oraz współczynnika odchylenia procentowego PBIAS (tab. 35).

W oparciu o analizę statystyk dla opracowanych modeli obiegu wody (opad-odpływ) stwierdzono dobre dopasowanie modelu pod względem wszystkich trzech współczynników dla zlewni: górnej Parsęty (Storkowo), jeziora Łękuk (Puszcza Borecka), Czarnej Hańczy (Wigry), Kanału Olszowieckiego (Kampinos) oraz Bystrzanki (Szymbark). Współczynniki determinacji R^2 w tych geoekosystemach są bardzo dobre zarówno w okresie kalibracji jak i walidacji modelu. Wskaźniki dopasowania modelu NSE oraz PBIAS są co najmniej zadowalające. Poprawną parametryzację modelu dla wymienionych zlewni umożliwiły wystarczające pod względem zakresu czasowego dane meteorologiczne i hydrologiczne zgromadzone w bazie ZMŚP. Dla zlewni jeziora Łękuk analizy wykonane modelem SWAT uzupełnione zostały przy użyciu modelu AEM3D w celu symulacji hydrodynamiki i termodynamiki jeziora. Dla pozostałych zlewni: Lewińskiej Strugi (Wolin), Różanego Strumienia, Wieniec (Święty Krzyż), Świerszcz (Roztocze), Wrzosówki (Karkonosze) uzyskano dostateczne i dobre dopasowanie modelu pod względem wskaźnika R^2 i PBIAS. Współczynnik NSE uzyskał słabsze oceny. Poprawa jakości modeli może być uzyskana poprzez zebranie dłuższych serii obserwacyjnych, weryfikację odwzorowanej w modelach struktury zbiorników wodnych oraz weryfikację wielkości poboru wody w zlewniach. Dla zlewni stacji Różany Strumień oraz Karkonosze dłuższe serie danych umożliwią także walidację modeli.

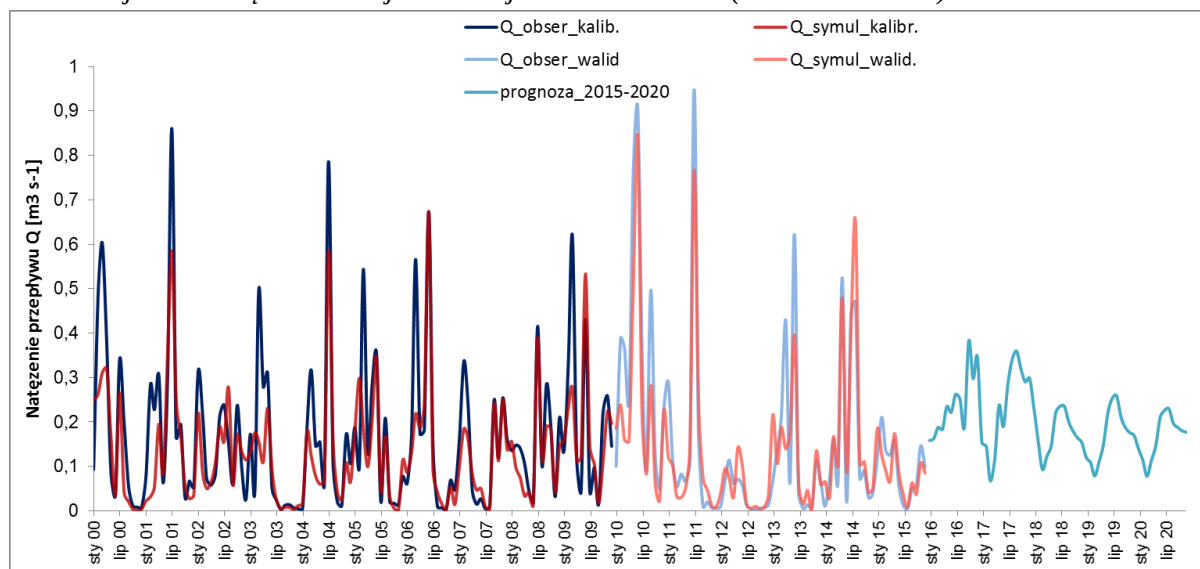
Na podstawie wyników symulacji dla poszczególnych zlewni zestawiono średnie roczne wartości podstawowych elementów bilansu wodnego i biogeochemicznego: opad atmosferyczny, odpływ, ewapotranspirację, odprowadzane ze zlewni ładunki azotu azotanowego i fosforu ogólnego dla okresu kalibracji oraz walidacji modeli. Porównanie symulowanych i obserwowanych wartości podstawowych składników obiegu wody wskazuje w większości na niedoszacowanie przez model odpływu w stosunku do wartości pomiarowych. Symulacje wskazują również niższe wartości ładunku azotu azotanowego i

fosforu w stosunku do wyników obserwowanych. Dla każdej zlewni zestawiono także wartości miesięczne wysokości warstwy opadu i odpływu [mm] z analizowanego okresu kalibracji oraz okresu walidacji.

Przebieg zmienności czasowej symulowanych wartości przepływu wody w zestawieniu z danymi pomiarowymi (hydrogramy odpływu) przedstawiono w oparciu o wartości średnie miesięczne dla okresu kalibracji oraz walidacji modeli. Przykład dobrego dopasowania modelu w 2 zlewniach: nizinnej (Jeziora Łękek – Puszcza Borecka) oraz górskiej (Bystrzanka – Szymbark) przedstawiono na ryc. 17 i ryc.18.

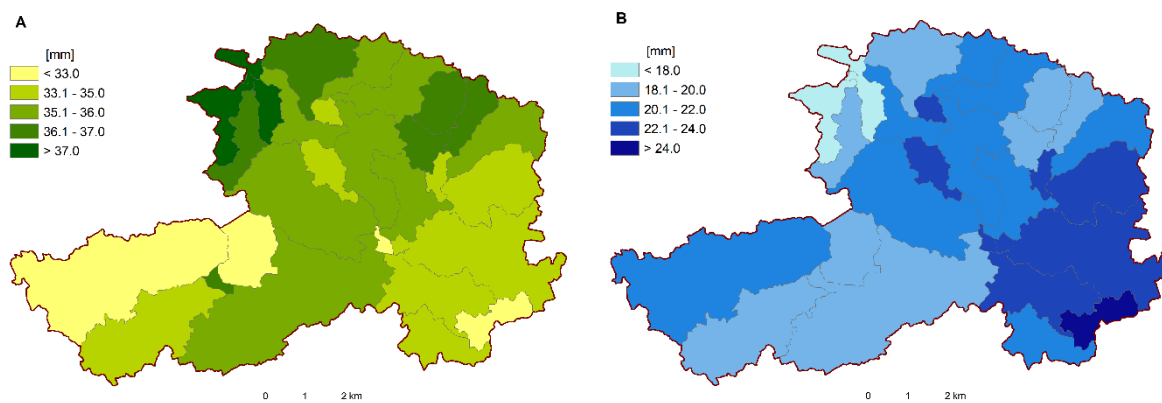


Ryc. 17. Przebieg zmienności czasowej symulowanych oraz pomiarowych średnich miesięcznych wartości przepływu ($m^3 \cdot s^{-1}$) (hydrogramy odpływu) z wielolecia 1994-2015 prognozą do 2020 w zlewni badawczej Jeziora Łękek - Stacja Bazowej Puszcza Borecka (Skotak i in. 2018)



Ryc. 18. Przebieg zmienności czasowej symulowanych oraz pomiarowych średnich miesięcznych wartości przepływu ($m^3 \cdot s^{-1}$) (hydrogramy odpływu) z wielolecia 2000-2015 i prognozą do 2020 w zlewni badawczej Bystrzanki – Stacja Bazowa Szymbark (Bochenek i in. 2018)

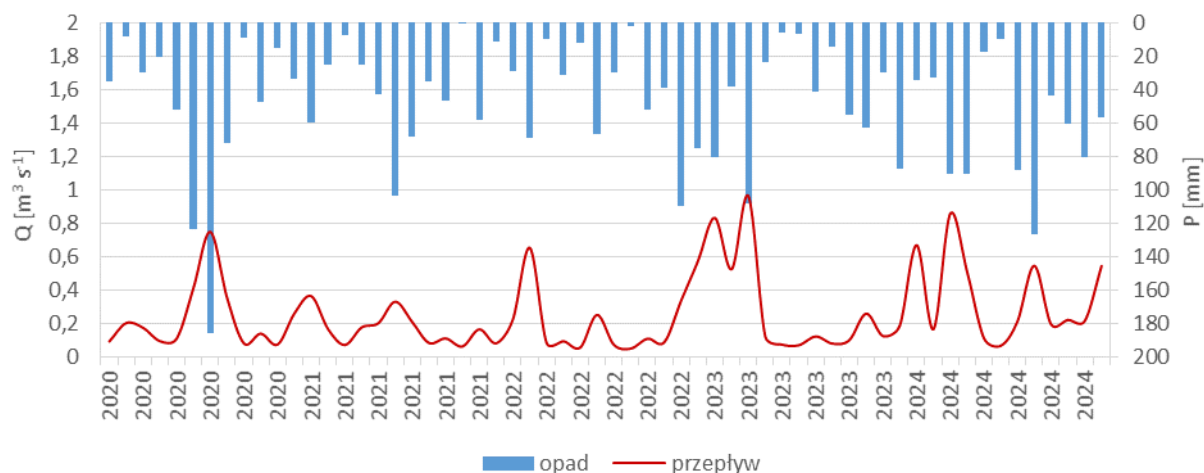
Uzyskane wyniki symulacji pozwoliły na przeanalizowanie przestrzennego rozkładu elementów bilansu wodnego w układzie zlewni cząstkowych. Przykład map rozkładu symulowanych średnich miesięcznych wartości: ewapotranspiracji i wysokości odpływu przedstawiono na ryc. 19.



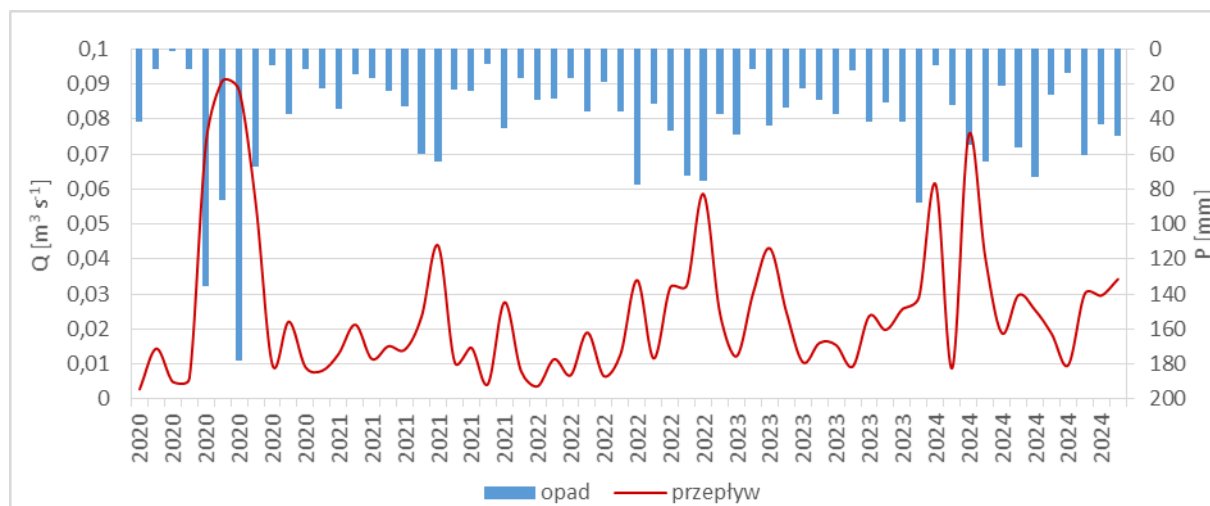
Ryc. 19. Przykład przestrzennego rozkładu symulowanych wartości podstawowych elementów bilansu wodnego w zlewni badawczej Stacji Bazowej Storkowo

A – ewapotranspiracja; B – odpływ

Dobre wyniki kalibracji modelu osiągnięte m.in. dla zlewni górnej Parsęty (Storkowo) oraz Kanału Olszowieckiego (Kampinos) pozwoliły na przeprowadzenie prób prognozowania zmian obiegu wody. Natomiast prognozę dla zlewni górnej Parsęty i Kanału Olszowieckiego opracowano dla lat 2020-2024. W tym celu pozyskano dane meteorologiczne opracowane według scenariusza zmian klimatycznych RCP 8,5 wg IPCC AR5 (CMIP5) z wykorzystaniem aplikacji MarkSim™ DSSAT (Jones, Thornton, 2013). Dane pochodziły z modelu HadGEM2-ES (Collins i in., 2011). Dane meteorologiczne obejmowały następujące parametry: wysokość opadów, minimalna temperatura dobową powietrza, maksymalna temperatura dobową powietrza. Przykład prognozowanego przebiegu zmienności czasowej symulowanych wartości przepływu wody w zestawieniu z danymi opadowymi przedstawiono na ryc. 20 i ryc. 21. Prognozowane wg modelu klimatycznego warunki meteorologiczne: obniżenie wysokości opadów oraz wzrost wartości temperatury powietrza wpłynęły na obniżenie wartości przepływów.



Ryc. 20. Wykres przebiegu zmienności czasowej prognozowanych średnich miesięcznych wartości przepływu ($m^3 \cdot s^{-1}$) (hydrogram odpływu) na tle sum opadów atmosferycznych (mm) w wieloletniu 2020-2024 w zlewni badawczej Stacji Bazowej Storkowo



Ryc. 21. Wykres przebiegu zmienności czasowej prognozowanych średnich miesięcznych wartości przepływu ($m^3 \cdot s^{-1}$) (hydrogramy odpływu) na tle sum opadów atmosferycznych (mm) w wieloletniu 2020-2024 w zlewni Stacji Bazowej ZMŚP Kampinos

Generalne wnioski z przeprowadzonego modelowania zmian bilansu wodnego i biogeochemicznego w zlewniach ZMŚP są następujące:

- odpowiednie dopasowanie modelu zależy od długości serii rzeczywistych danych pomiarowych. Najlepsze dopasowanie modelu (możliwa jest wtedy wiarygodna prognoza zmian warunków wodnych i biogeochemicznych) jest dla zlewni o najdłuższych (kilkunastoletnich) seriach danych terenowych. Dlatego najlepsze dopasowanie modelu SWAT i prognozę osiągnięto dla 6 zlewni ZMŚP: Parsęta (Storkowo), Jezioro Łękuk (Puszcza Borecka), Czarna Hańcza (Wigry), Struga Toruńska (Koniczynka), Kanał Olszowiecki (Kampinos) i Bystrzanka (Szymbark). Dla kilkuletnich serii pomiarowych

zadawalające dopasowanie modelu jest utrudnione i stworzenie wiarygodnej prognozy zmian bilansu wodnego i biogeochemicznego jest obarczone zbyt dużym błędem. Taka sytuacja występowała w 3 zlewniach ZMŚP: Wieniec (Święty Krzyż), Lewińska Struga (Wolin) i Świerszcz (Roztocze). Dla 2 zlewni ZMŚP (Różany Strumień i Karkonosze) o zaledwie jednorocznym okresie pomiarowym (2016 rok) niemożliwe było dokonanie walidacji modelowania. Zatem niewątpliwą wartością realizacji programu ZMŚP jest długoletni okres jego funkcjonowania, który dostarcza dla większości zlewni wiarygodnych danych do wykonania modelowania i prognozy zmian bilansu wodnego i biogeochemicznego.

- modelowanie zmian bilansu wodnego w niektórych zlewniach o specyficznych warunkach obiegu wody tylko na podstawie modelu SWAT jest utrudnione. W zlewniach gdzie o obiegu wody decyduje duża bezwładność hydrologiczna związana z występowaniem jezior (np. system rzeczno-jeziorny Lewińskiej Strugi – Wolin) konieczna jest poprawa jakości modelu poprzez weryfikację odwzorowanej w modelu struktury zbiorników wodnych w zlewni, np. podobnie jak w postaci zastosowanego modelu jeziora AEM3D (Aquatic Ecosystem Model) dla Jeziora Łękuk (Puszcza Borecka).

- prognozy zmian bilansu wodnego (np. ryc. 17-18, 20-21) nie wykazały wyraźnego dla najbliższych kilku lat trendu zmian warunków wodnych w badanych zlewniach, zarówno w zakresie opadów atmosferycznych jak i odpływu fluwialnego. Jednakże potwierdzono sezonową zmienność warunków wodnych, przejawiającą się zwiększoną dostawą opadów atmosferycznych i odpływu fluwialnego zwłaszcza w okresie letnim, np. w Kampinosie (ryc. 21) oraz dodatkowo w sezonie wiosennym, np. w Storkowie (ryc. 20).

- stężenie i ładunek substancji rozpuszczonych (w tym biogenów) w wodach opadowych i rzecznych jest zależny od ilości wody. Im wyższa suma opadów atmosferycznych i przepływ wód rzecznych tym mniejsze stężenie ale wyższy ładunek substancji rozpuszczonych. Dlatego na podstawie modelowania bilansu wodnego można szacować bilans biogeochemiczny zlewni.

Na podstawie przeprowadzonego modelowania i prognozy dla zlewni ZMŚP w najbliższej dekadzie raczej nie należy spodziewać się szczególnych zmian bilansu wodnego i biogeochemicznego. Bardzo istotne jest długofalowe (kilkudziesięcioletnie) prowadzenie badań monitoringowych, które dostarczają długą serię danych rzeczywistych i umożliwiają optymalną kalibrację i walidację prognostycznych modeli zmian stosunków wodnych i biogeochemicznych.

10. PODSUMOWANIE

W 2017 roku hydrologicznym program ZMŚP realizowano w jedenastu Stacjach Bazowych, których lokalizacja odzwierciedla zróżnicowanie struktury krajobrazowej Polski. Funkcjonowanie zlewni ZMŚP, które są traktowane jako reprezentatywne dla danej strefy krajobrazowej, podlegało wpływom czynników naturalnych i antropogenicznych, np. w młodoglacjalnej strefie Niżu Polskiego badanych jest 6 zlewni o odmiennych, lokalnych uwarunkowaniach, które decydują o stanie środowiska przyrodniczego: Wolin (duże znaczenie wpływu Bałtyku na atmosferyczną dostawę ładunku substancji rozpuszczonych, zwłaszcza w postaci aerozoli morskich), Storkowo, Puszcza Borecka, Wigry (względnie niska antropopresja), Koniczynka (bardzo duża antropopresja związana z funkcjonowaniem zmeliorowanej zlewni o użytkowaniu rolniczym) i Różany Strumień (antropopresja miasta Poznania).

O funkcjonowaniu i stanie środowiska przyrodniczego badanych geoekosystemów ZMŚP decyduje ich położenie w strefach krajobrazowych a zwłaszcza w umiarkowanej strefie morfoklimatycznej, w której o przemianach środowiska przyrodniczego w największym stopniu decyduje dynamika obiegu wody i materii rozpuszczonej.

Rok 2017 odznaczał się względnie małym zróżnicowaniem przestrzennym średniej rocznej temperatury powietrza i rocznej sumy opadów atmosferycznych. Warunki termiczne były korzystne, gdyż 2017 rok był normalny, lekko cieplejszy lub lekko chłodniejszy od wartości normalnej. Warunki opadowe w 2017 roku były najbardziej korzystne z ostatnich 20 lat, gdyż prawie we wszystkich geoekosystemach był to rok wilgotny (tylko na Rostoczu normalny). Klasyfikacja ilościowa opadów w 2017 roku świadczy o względnym podobieństwie przestrzennym opadów, co nie jest typowe dla klimatu Polski. 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 wpływał ładunek zanieczyszczeń dostarczony wraz z mokrą depozycją atmosferyczną. Jakość opadów atmosferycznych w 2017 roku pod względem wskaźnika SEC i odczynu była bardzo dobra i najlepsza w całym, ponad 20 letnim okresie pomiarowym. Jakość opadów atmosferycznych w 2017 roku pod względem wskaźnika SEC w porównaniu z ubiegłym rokiem uległa poprawie, gdyż do klasy o nieznacznej przewodności zakwalifikowano Stację w Storkowie. Tylko w 1 zlewni stwierdzono przewodność znacznie podwyższoną (Stacja Święty Krzyż). W pozostałych 6 Stacjach mineralizacja opadów była lekko podwyższona. Odczyn opadów atmosferycznych w

2017 roku w porównaniu z poprzednim rokiem uległ wyraźnej poprawie. Aż w 9 Stacjach opady zaliczono do klasy normalnej a tylko w 2 Stacjach odczyn opadów atmosferycznych zakwalifikowano do klas przyległych: lekko obniżonej i lekko podwyższonej. Należy podkreślić pozytywną tendencję stabilizacji bądź obniżenia mineralizacji opadów atmosferycznych w większości badanych zlewni, co w 2017 roku było szczególnie widoczne w Stacjach Karkonosze i Święty Krzyż. Wysoka suma roczna oraz względnie wysoka wydajność opadów dobowych w 2017 roku wpłynęła na ich bardzo dobrą jakość.

W 2017 roku potwierdzona została tendencja do większej roli tlenków azotu niż dwutlenku siarki w zakwaszaniu opadów atmosferycznych, którego presja w zakwaszaniu opadów jest najważniejsza od połowy lat 90 XX wieku. Taka sytuacja występowała w 10 Stacjach Bazowych. Jedynie na Stacji Święty Krzyż o zakwaszeniu opadów decyduje głównie stężenie dwutlenku siarki. Powyższa prawidłowość odzwierciedla sytuację większego wpływu związków azotu (np. NO_2) w zakwaszeniu opadów w Polsce, których źródłem są głównie zanieczyszczenia komunikacyjne.

Dobry stan jakości powietrza wpływał pozytywnie na jakość opadów atmosferycznych i stan przyrody ożywionej. Najlepsza jakość powietrza występowała w Polsce północnej (Wolin, Storkowo, Puszcza Borecka i Wigry). Natomiast względnie najbardziej zanieczyszczoną pod względem jakości powietrza strefą była Polska środkowa (Koniczynka, Różany Strumień, Kampinos, Święty Krzyż).

O dobrym stanie ilościowym i jakościowym wód podziemnych w zlewniach badawczych ZMŚP świadczy relatywnie mniejsze zagrożenie występowania niżówek hydrogeologicznych oraz co najmniej zadowalająca klasa jakości wody i dobry stan chemiczny wód podziemnych. Taką sytuację stwierdzono we wszystkich analizowanych warstwach wodonośnych. Stan chemiczny wód podziemnych w 2017 roku w odniesieniu do roku 2016 uległ zdecydowanej poprawie, której przyczyną były ostatnie 2 lata wilgotne. Warstwy wodonośne dopiero w 2017 roku zauważalnie zwiększyły swój zasób wody po suchym 2015 roku.

W oparciu o badane wskaźniki hydrologiczne i fizykochemiczne można stwierdzić, że jakość wód rzecznych w porównaniu z 2016 rokiem pozostała na tym samym, przeciętnym poziomie. Ponad połowa badanych cieków (6) posiadała w 2017 roku jakość wody bardzo dobrą i dobrą (2 ciekі górskie: Wrzosówka, i Bystrzanka; 2 ciekі wyżynne: Wieniec i Świerszcz i 2 ciekі nizinne: Lewińska Struga i górna Parsęta). Pozostałe 4 ciekі (Czarna Hańcza, Toruńska Struga, Różany Strumień i Kanał Olszowiecki) posiadały stan chemiczny poniżej dobrego (III-V klasa). Na obniżenie jakości wody w Strudze Toruńskiej do klasy

poniżej dobrego stanu zdecydowały podwyższone wartości stężenia azotu azotanowego, którego przyczyną jest dominacja rolnego użytkowania zlewni i związane z tym nawożenie pól uprawnych. Stan chemiczny poniżej dobrego występował także w zlewni Różanego Strumienia, gdzie kumulują się negatywne wpływy oddziaływania miasta Poznania. Możliwy jest w tej zlewni dopływ ścieków i w efekcie podwyższenie mineralizacji wody i wysokie stężenia jonów rozpuszczonych, np. chlorków. W tych ciekach stwierdzono w 2017 roku zagrożenie wzmożoną eutrofizacją. W 2017 roku ocena jakości wody w monitorowanych 4 jeziorach (Gardno, Czarne, Kamionkowskie i Łękek) pozwoliła na zakwalifikowanie tych wód do najlepszej klasy jakości wody. 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 ZMŚP potwierdzają występowanie tendencji do obniżenia stężenia jonów siarczanowych. Związane jest to przede wszystkim ze spadkiem stężenia SO_2 w powietrzu i opadach atmosferycznych. Jeszcze w latach 1994-1999 stężenie dwutlenku siarki było od 3 do 5 razy wyższe niż w ostatnim okresie 2007-2017 (Skotak i in. 2018). W przypadku NO_2 taka tendencja nie występowała, co potwierdza aktualnie większą rolę w kształtowaniu jakości powietrza atmosferycznego przez zanieczyszczenia komunikacyjne niż przemysłowe.

Warunki abiotyczne (np. klasyfikacja termiczno-opadowa, termiczne pory roku, sezon wegetacyjny i okres dojrzewania roślin, zanieczyszczenie powietrza) w 2017 roku były bardzo korzystne dla świata przyrody ożywionej.

W oparciu o ponad dwudziestoletni okres funkcjonowania ZMŚP można stwierdzić, że największe znaczenie na stan, zmienność i przemiany środowiska przyrodniczego geoekosystemów Polski wywierają czynniki antropogeniczne o zasięgu regionalnym (np. dostawa zanieczyszczeń atmosferycznych spoza zlewni badawczych) i lokalnym (np. zmiany użytkowania terenu zlewni ZMŚP). Uwarunkowania fizycznogeograficzne wynikające z położenia zlewni ZMŚP w poszczególnych strefach krajobrazowych Polski mogą mieć drugorzędne znaczenie dla określenia funkcjonowania środowiska geograficznego. Jednakże w przypadku analizy niektórych geoskaźników, np. stężenia i udziału w opadach atmosferycznych jonów pochodzenia morskiego (Cl^- , Na^+) możliwa jest regionalizacja jakości opadów atmosferycznych w transektach południkowych i równoleżnikowym.

Powyższa regionalizacja chlorkowo-sodowa opadów atmosferycznych wskazuje na podwyższone stężenia jonów pochodzenia morskiego w 2017 roku w strefie Wyżyn Polski (np. Stacja Święty Krzyż), czego przyczyną może być antropopresja.

Zagrożeniem dla funkcjonowania badanych geoekosystemów są zarówno procesy naturalne (np. ekstremalne zdarzenia hydrometeorologiczne i geomorfologiczne) jak i antropogeniczne związane z dostawą zanieczyszczeń. W 2017 roku nie stwierdzono istotnych zagrożeń dla funkcjonowania środowiska przyrodniczego badanych zlewni. Wśród zagrożeń antropogenicznych warto jednakże zwrócić uwagę na kumulację zanieczyszczeń biogenych w zlewni Koniczynki i ich dostawa do rzeki, w której stwierdzono wysokie stężenie nutrientów (zagrożenie eutrofizacją). Istotnym faktem wpływającym na obieg wody w badanych zlewniach w 2017 roku było uzupełnianie zasobów wód podziemnych w konsekwencji występowania suszy w 2015 roku. Pomimo faktu, że poprzedni 2016 rok pod względem opadowym był wilgotny lub normalny, to nie stwierdzono jeszcze wtedy znaczącej odbudowy zasobów wód podziemnych oraz znacznej frekwencji intensywnych wezbrań rzecznych (poza Parsętą). Taka sytuacja wystąpiła w większym nasileniu dopiero w 2017 roku. Czas relaksacji po suchym 2015 roku trwa zatem 2 lata, gdzie warunki hydrograficzne i hydrogeologiczne uległy poprawie dopiero w 2017 roku. Dlatego 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.

Bardzo ważne dla zachowania i oceny walorów przyrodniczych geoekosystemów Polski była realizacja w 2017 roku na Stacjach Bazowych realizacji programów biotycznych (lichenindykacja monitorująca metale ciężkie i siarka w porostach oraz epifity nadrzewne oraz bioindykacja dotycząca występowania roślinnych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia i hydrobiologii rzek). Ważna była kontynuacja programu dotyczącego oceny usług geoekosystemów. Wartościowanie środowiska przyrodniczego w zlewniach ZMŚP pozwoliło na wypracowanie metodyki wyceny zasobów środowiska przyrodniczego w innych geoekosystemach Polski oraz określenie potencjału środowiskowego badanych geoekosystemów.

W oparciu o długoletnie zależności przyczynowo-skutkowych w zlewniach między abiotycznymi i biotycznymi komponentami środowiska przyrodniczego bardzo trudne, a wręcz niemożliwe jest dla tego samego roku badawczego określenie zależności regresyjnej. Przyroda ożywiona (np. porosty, makrofity, struktura i dynamika szaty roślinnej) nie reaguje bezpośrednio i jednoznacznie na zagrożenia wynikające z niekorzystnych uwarunkowań

abiotycznych (np. warunki hydrometeorologiczne – susze, niżówki; zanieczyszczenia powietrza i opadów atmosferycznych itp.). 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 połączenie 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 defoliacji i odbarwienia) może wynikać z niekorzystnych warunków abiotycznych (np. niedobór opadów, zakwaszenie wód opadowych, zanieczyszczenie powietrza) występujących kilka lata wcześniej. Przykładem takiej nie wprost proporcjonalnej i skomplikowanej zależności warunków abiotycznych do biotycznych był 2015 rok, kiedy występowały bardzo niekorzystne warunki 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 świata 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) długofalowego 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 geoekosystemów leśnych jest opracowanie dotyczące zmian zbiorowisk leśnych w nadmorskiej strefie brzegowej Bałtyku (Tylkowski 2015b), (m.in. w zasięgu Stacji Bazowej Wolin). Dla polskiej strefie brzegowej Bałtyku stwierdzono występowanie trendu wzrostu średniej rocznej temperatury powietrza 0,32°C/10 lat. Skutkiem wzrostu zasobów ciepła, zwłaszcza w sezonie wegetacyjnym, będzie występowanie w ciągu najbliższych 20 lat odpowiednich warunków cieplnych do występowania zbiorowisk leśnych typu *Fagetum* i degradacja zbiorowisk leśnych *Piceetum*, co może przełożyć się na wzrost defoliacji i odbarwienia igieł w drzewostanach sosnowych i ich większą podatnością na zagrożenia pogodowe (np. wiatr, susze) i mniejszą

odpornością 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, naglej antropopresji związanej ze zmianą warunków siedliskowych (np. zmiany warunków wodnych, nadmiernej dostawy biogenów czy zmiany form użytkowania i pokrycia terenu). Przykładem był 2017 rok kiedy pogorszyła się zdrowotność epifitów nadrzewnych – wzrost powierzchni chloroz i nekroz w porównaniu z rokiem poprzednim. Jednakże prawdopodobnie przyczyną tego stanu były warunki meteorologiczne a nie 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 stosunków wodnych i biogeochemicznych w badanych zlewniach. Prognozę na najbliższych kilka lat przeprowadzono z wykorzystaniem modelowania zmian funkcjonowania wybranych elementów środowiska przyrodniczego (modelowanie Soil and Water Assessment Tool – SWAT), np. zmian elementów obiegu wody – opadów atmosferycznych i odpływu wody.

Realizacja programu ZMŚP w ramach monitoringu przyrody funkcjonującego w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska posiada duże znaczenie dla ochrony zasobów przyrodniczych Polski. Dziewięć zlewni badawczych ZMŚP (oprócz Koniczynki i Różanego Strumienia) 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.

Szczegółowe, kompleksowe opracowania stanu i przemian oraz ukazanie związków przyczynowo-skutkowych funkcjonowania środowiska przyrodniczego w badanych geoekosystemach ZMŚP w 2017 roku na tle wielolecia przedstawiono w raportach Stacji Bazowych ZMŚP, które stanowią załącznik do niniejszego opracowania.

11. LITERATURA

- Abbaspour K.C., Johnson A., Van Genuchten M.Th., 2004: Estimating uncertain flow and transport parameters using a sequential uncertainty fitting procedure. *Vadose Zone Journal*, 3(4), 1340-1352
- Abbaspour K.C., Vejdani M., Haghighat S., 2007: SWAT-CUP: Calibration and uncertainty programs for SWAT. [W:] MODSIM 2007 International Congress on Modelling and Simulation, L. Oxley, D. Kulasiri (red.), Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, 1596-1602
- Awłasiewicz W., 1953: Sposób badania odpływu rzek przy pomocy mapy parowania. *Gospodarka Wodna* 13(6), 202-205
- Bochenek W., Dedo J., Kijowska-Strugała M., Kiszka K., Ptaszek E., 2018: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Szymbark w 2017 roku. Szymbark, maszynopis
- Collins W.J. i in., 2011: Development and evaluation of an Earth-System model-HadGEM2. *Geoscientific Model Development* 4 (4), 1051-1075.
- Czyryca P., 2017: Zagrożenie inwazyjnymi gatunkami roślin obcego pochodzenia w zlewni Jeziora Gardno (Woliński Park Narodowy). *Przegląd Przyrodniczy XXVIII* 3, 18-28
- 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, 66 pp
- 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
- Jones P.G., Thornton P.K., 2013: Generating downscaled weather data from a suite of climate models for agricultural modelling applications. *Agric. Systems.*, 114, 1-5.
- Jóźwiak M., 2017: Ocena zanieczyszczenia powietrza na podstawie zawartości siarki i metali ciężkich w porostach w 2017 roku. Sprawozdanie z realizacji V etapu umowy nr 18/2015/F pt. „Realizacja programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego – nadzór merytoryczny oraz prowadzenie pomiarów w latach 2015-2017”. Kielce. Maszynopis
- Jóźwiak M., Jóźwiak M.A., Kozłowski R., 2018: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Święty Krzyż w 2017 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., Paprocki R., Pius B., Rutkowski L., Sobota I., Stolarczyk A., Strzyżewski T., Uscka-Kowalkowska J., Wojtczak H., 2018: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Koniczynka w 2017 roku. Toruń, maszynopis
- Kolander R., 1999: Stan geoekosystemów Polski w 1998 roku. http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2013/11/raport_1998.pdf
- Kostrzewski A., 1993: Geoekosystem obszarów nizinnych. Koncepcja metodologiczna [W:] A. Kostrzewski (red.), Geoekosystem obszarów nizinnych, Polska Akademia Nauk, Kom. Nauk. Prez. PAN „Człowiek i Środowisko”, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław, 11-17

- Kostrzewski A., 1995: Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego – cele, założenia i zadania. [W:] A. Kostrzewski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Propozycje programowe, Bibl. Monit. Środ., Warszawa, 7-22
- Kostrzewski A., 2003: Obieg wody i jego wpływ na powstanie i funkcjonowanie struktur krajobrazowych strefy młodoglacjalnej (Polska północno-zachodnia, Pomorze Zachodnie). [W:] A. Kostrzewski, J. Szpikowski (red.), Funkcjonowanie geoekosystemów zlewni rzecznych 3, 17-20
- Kostrzewski, A., 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., 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., Gudowicz J., Rachwalska P., Szoszkiewicz K., 2018: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Karkonosze w 2017 roku. Jelenia Góra, maszynopis
- Kruszyk R., 2003: Stan geoekosystemów Polski w 2002 roku. http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2013/11/raport_2002.pdf
- Kruszyk R., 2004: Stan geoekosystemów Polski w roku 2003. http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2013/11/raport_2003.pdf
- Kruszyk R., 2005: Stan geoekosystemów Polski w roku 2004. http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2013/11/raport_2004.pdf
- Kruszyk R., 2006: Stan geoekosystemów Polski w roku 2005. http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2013/11/raport_2005.pdf
- Kruszyk R., 2009: Raport o stanie geoekosystemów Polski w roku 2008. http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2013/11/raport_2008.pdf
- Kruszyk R., 2010: Stan geoekosystemów 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., 2018: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Wigry w 2017 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 geoekosystemów Polski. IX Sympozjum ZMŚP, Bibl. Monit. Środ., Warszawa, 113-119
- Łowicki D., Mizgajski A., 2013: Typology of physical-geographical regions in Poland in line with land-cover structure and its changes in the years 1990-2006. *Geographia Polonica* 86 (3), 255-266
- 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., Chudzińska M., Gudowicz J., Kolendowicz L., Kruszyk R., Majewski M., Marciniak M., Półrolniczak M., Okońska M., Olejarczyk M., Zięba M., 2018: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Różany Strumień w 2017 roku. Poznań, maszynopis
- 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., Degórska A., Gudowicz J., Otręba A., Wierzbicki A., 2018: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Kampinos w 2017 roku. Granica, 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 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 2012: Z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu, *Dziennik Ustaw* 2012, poz. 1031
- 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
- Sawicka-Kapusta K., Zakrzewska M., 2003: Ocena zanieczyszczenia powietrza na Stacjach Bazowych Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w 2001 roku. [W:] W. Bochenek, E. Gil (red.). *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie i monitoring geoekosystemów ze szczególnym uwzględnieniem zjawisk ekstremalnych*. Bibl. Monit. Środ., 20-29
- Skotak K., Białoskórska U., Bratkowski J., Degórska A., Prządka Z., Typiak-Nowak D., Ulańczyk R., 2018: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu

- Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Puszcza Borecka w 2017 roku. Warszawa, maszynopis
- Stach A., 2009: Analiza struktury przestrzennej i czasoprzestrzennej maksymalnych opadów dobowych w Polsce w latach 1956-1980. Wyd. Nauk, UAM, Poznań, 323
- Stachyra P., Chmiel S., Gleń G., Krukowski M., Maciejewski Z., Radliński B., Rawiak A., Siwek G., Smoła M., Sokołowski A., Stępniewska M., 2018: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Roztocze w 2017 roku. Zwierzyniec, 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
- 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., 2017: Hydrobiologia rzek – makrofity i ocena hydromorfologiczna koryta rzecznoego Sprawozdanie z realizacji V etapu umowy nr 18/2015/F pt. „Realizacja programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego – nadzór merytoryczny oraz prowadzenie pomiarów w latach 2015-2017”. Poznań, maszynopis
- Szoszkiewicz K., Gebler D., Jusik S., 2016: Hydrobiologia rzek – makrofity i ocena hydromorfologiczna koryta rzecznoego Sprawozdanie z realizacji III etapu umowy nr 18/2015/F pt. „Realizacja programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego – nadzór merytoryczny oraz prowadzenie pomiarów w latach 2015-2017”. Poznań, maszynopis
- Szoszkiewicz K., Gebler D., Jusik S., 2015: Hydrobiologia rzek – makrofity i ocena hydromorfologiczna koryta rzecznoego Sprawozdanie z realizacji I etapu umowy nr 18/2015/F pt. „Realizacja programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego – nadzór merytoryczny oraz prowadzenie pomiarów w latach 2015-2017”. Poznań, maszynopis
- Szpikowska G., 2004: Jakość i rola opadów atmosferycznych w systemie denudacyjnym zlewni młodoglacjalnej (Chwalimski Potok, górna Parsęta). [W:] Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Funkcjonowanie i monitoring geoekosystemów w warunkach narastającej antropopresji, M. Kejna, J. Uscka (Red.). 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., Domańska M., Gudowicz J., Kostrzewski A., Kruszyk R., Majewski M., Szpikowska G., 2018: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Storkowo w 2017 roku. Storkowo, maszynopis.
- Tokarska-Guzik B., Dajdok Z., Zajac M., Zajac A., Urbisz A., Danielewicz W., Hołdyński Cz., 2012: Rośliny obcego pochodzenia w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem gatunków inwazyjnych. GDOŚ Warszawa, 193 pp

- Tylkowski J., 2005: Sezony transportu fluwialnego górnej Parsęty jako odbicie funkcjonowania rzek Pobrzeża Bałtyku. [W:] Plejstoceny i holoceny przemiany środowiska przyrodniczego Polski, K. Borówka (Red.), US, INoM, PTG, Szczecin, 58-62
- Tylkowski J., 2013: Stan geoekosystemów 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 geoekosystemów 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 geoekosystemów 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 geoekosystemów 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., Kostrzewski A., 2017: Stan geoekosystemów 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., Czyryca P., Gudowicz J., Samołyk M., Winowski M., 2018: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Wolin w 2017 roku. Biała Góra, maszynopis
- Zwoliński Z., 1997: Stan geoekosystemów 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 geoekosystemów. [W:] A. Kostrzewski (red.), Zintegrowany monitoring środowiska przyrodniczego, Funkcjonowanie i tendencje rozwoju geoekosystemów Polski. *Bibl. Monit. Środ.*, Warszawa, 163-167