

Dofinansowano ze środków
Narodowego Funduszu Ochrony
Środowiska i Gospodarki Wodnej

**Sprawozdanie z realizacji IV 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

Raport o stanie geoekosystemów Polski w 2016 roku

Biała Góra - Poznań

2017

Jacek Tylkowski

Stacja Monitoringu Środowiska Przyrodniczego UAM w Białej Górze
Instytut Geoekologii i Geoinformacji, Zakład Monitoringu Środowiska Przyrodniczego
Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu
jatyl@amu.edu.pl

Andrzej Kostrzewski

Centrum Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego
Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu
anko@amu.edu.pl

Stan geoekosystemów Polski w 2016 roku
na podstawie badań
Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego

Biała Góra - Poznań 2017

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie	4
2. Zlewnie badawcze ZMŚP	8
3. Zlewnie badawcze ZMŚP a obszary szczególnie cenne przyrodniczo: Parki Narodowe i Natura 2000	15
4. Program badawczo-pomiarowy Stacji Bazowych ZMŚP	23
5. Geoindykatory obiegu wody w geoekosystemach ZMŚP	32
5.1. Warunki pogodowe	32
5.2. Wody podziemne	43
5.3. Wody powierzchniowe	45
5.4. Skrócony bilans wodny	49
6. Geoindykatory jakości wody w zlewniach ZMŚP	52
6.1. Opady atmosferyczne	53
6.2. Wody podziemne	62
6.3. Wody powierzchniowe	63
6.4. Bilans jonów denudacyjnych i biogennych	69
7. Wpływ uwarunkowań abiotycznych na przyrodę ożywioną w 2016 roku	73
8. Podsumowanie stanu geoekosystemów Polski w 2016 roku	82
9. Literatura	90

1. WPROWADZENIE

Opracowanie zostało wykonane zgodnie z umową 18/2015/F z dnia 21 maja 2015 roku „Realizacja programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego – nadzór merytoryczny oraz prowadzenie badań w latach 2015-2017”. Umowa została zawarta pomiędzy Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska w Warszawie a Uniwersytetem im. Adama Mickiewicza w Poznaniu i jest finansowana 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 2016 roku hydrologicznym, z odniesieniem do danych wieloletnich z okresu 1994-2015. Podstawę opracowania stanowiły merytoryczne raporty za 2016 rok hydrologiczny (od 1 listopada 2015 roku do 31 października 2016 roku), które dotyczą funkcjonowania geoekosystemów (zlewni) reprezentatywnych w wybranych strefach krajobrazowych Polski. Program badawczo-pomiarowy Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w 2016 roku realizowano w jedenastu Stacjach Bazowych (SB ZMŚP): Wolin, Storkowo, Puszcza Borecka, Wigry, Konieczynka, Różany Strumień, Kampinos, Święty Krzyż, Roztocze, Szymbark i Karkonosze. Dla Stacji Bazowej Karkonosze wyniki dotyczą okresu od 1 stycznia do 31 października 2016 roku. Szczegółowe, merytoryczne przedstawienie stanu środowiska przyrodniczego w badanych zlewniach ZMŚP przedstawiono w raportach Stacji Bazowych ZMŚP za 2016 rok (Bochenek i in. 2017, Jóźwiak i in. 2017, Kejna i in. 2017, Szpikowski i in. 2017, Krakowski i in. 2017, Krzysztofiak i in. 2017, Major i in. 2017, Olszewski i in. 2017, Skotak i in. 2017, Stachyra i in. 2017, Tylkowski i in. 2017). W opracowaniu wykorzystano także dane monitoringowe zgromadzone w Centralnej Bazie Danych ZMŚP za lata 1994-2016.

Program ZMŚP jest programem naukowo-badawczym i służy ochronie oraz zachowaniu struktury krajobrazowej Polski. Pod względem metodologicznym program ZMŚP opiera się na koncepcji funkcjonowania systemu i realizuje założenia zachowania georóżnorodności i bioróżnorodności kraju. 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, tendencji zmian i rozwoju środowiska przyrodniczego zlewni ZMŚP w oparciu o wieloletnie serie obserwacyjno-pomiarowe. Przemiany środowiska przyrodniczego odnoszone są m.in. do obserwowanych obecnie zmian klimatu i narastającej

antropopresji. Uzyskane wyniki stanowią podstawę do sporządzenia prognoz krótko i długoterminowych rozwoju środowiska przyrodniczego oraz przedstawienie kierunków zagrożeń i działań ochronnych. W raportach rocznych Stacji Bazowych umieszczono informacje o stanie środowiska badanych geoekosystemów, rodzajach zagrożeń dla funkcjonowania środowiska przyrodniczego badanych zlewni oraz propozycje działań, które pozwolą zachować ich zasoby przyrodnicze. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego w odróżnieniu od monitoringów branżowych, dostarcza kompleksowych informacji nie tylko w ramach realizowanych programów pomiarowych, lecz przede wszystkim rozszerza stan rozpoznania o związki przyczynowo-skutkowe dotyczące stanu, przemian i rozwoju środowiska geograficznego wybranych geoekosystemów Polski (Kostrzewski i in. 2013). Metodologia programu ZMŚP podporządkowana jest kompleksowemu ujęciu funkcjonowania środowiska przyrodniczego poprzez określenie bilansu energii i materii 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, zatwierdzonej w Genewie w dnia 13 listopada 1979 roku.

Podstawowym celem opracowania jest syntetyczne przedstawienie informacji o stanie oraz tendencjach rozwoju wybranych geoekosystemów Polski w 2016 roku na tle okresu 1994-2015. Prowadzony w wytypowanych zlewniach reprezentatywnych monitoring naukowo-badawczy dotyczył dwóch aspektów:

- przepływu energii (wody) i obiegu materii (substancji rozpuszczonych) w geoekosystemach, który umożliwia określenie ilościowego bilansu wodnego i prawidłowości obiegu substancji rozpuszczonych 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, biogenów i elementów toksycznych, np. porosty, makrofity.

Uzyskane dotychczas w ramach ZMŚP wyniki, mogą stanowić podstawę sporządzenia prognozy rozwoju badanych jednostek przestrzennych, reprezentujących odmienne typy krajobrazu. Jest to szczególnie ważne dla terenów cennych przyrodniczo, gdzie dostarczony zasób informacji może służyć ewentualnemu wprowadzeniu działań ochronnych. Identyfikacja źródeł zagrożeń środowiska przyrodniczego obszarów monitorowanych w ramach programu ZMŚP, jest ważna w kontekście działań ochronnych prowadzonych w ramach Europejskiej Sieci Ekologicznej NATURA 2000, gdyż zdecydowana większość zlewni ZMŚP (8 na 11) położonych jest w granicach obszarów wchodzących w skład sieci NATURA 2000.

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). Początkowo opracowania głównie prezentowały wyniki uzyskane przez Stacje Bazowe w ramach realizacji poszczególnych programów badawczych a w mniejszym stopniu ukazywały związki przyczynowo-skutkowe między komponentami środowiska przyrodniczego (Zwoliński 1997, Kolander 1999, Kruszyk 2003, Mazurek, Zwoliński 2000, 2001, 2002). Wykonywane od 2003 roku kompleksowe oceny stanu środowiska przyrodniczego stanowiły postęp w stosunku do pierwszych opracowań ZMŚP. Syntetyczne opracowania o stanie geoekosystemów Polski zawierają informacje o aktualnym stanie, trendach i zagrożeniach rozwoju środowiska geograficznego. Przedstawiony poniżej raport za 2016 rok, podobnie jak syntezy za lata 2011-2015 został sporządzony w oparciu o wybrane geowskaźniki ilościowe i jakościowe obiegu wody wprowadzone przez Szpikowskiego (2011, 2012). Ponadto wskazano trendy zmian w środowisku przyrodniczym badanych zlewni w ostatnim dwudziestoleciu, ze szczególnym uwzględnieniem zdarzeń ekstremalnych w 2016 roku. Wskazano również stan środowiska wodnego w nawiązaniu do wybranych parametrów chemicznych, np. uwzględnionych w Ramowej Dyrektywie Wodnej.

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 syntetycznych raportach ZMŚP za lata 2010–2015 (Szpikowski 2011, 2012, Tylkowski 2014, 2014, 2015, 2016).

Geowskażniki przedstawione w niniejszym opracowaniu dotyczą jakościowych i ilościowych właściwości obiegu wody w monitorowanych zlewniach. 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 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 dynamiki jej obiegu w odniesieniu m.in. do uwarunkowań meteorologicznych (rozkład czasowy opadów i odpływu rzecznoego, występowanie susz, nasilonych opadów rozlewnych i nawałnych) oraz przedstawienie długookresowych trendów dostawy wody do geoekosystemów. 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.

Aktualny zasób informacji i danych ZMŚP stwarza możliwości oceny stanu środowiska i prognozy jego rozwoju. Centralna Baza Danych ZMŚP zawiera ponad 1,3 mln rekordów rzeczywistych, terenowych danych z okresu 1994-2016. Dane monitoringu abiotycznego i biotycznego są istotne dla realizacji głównych założeń metodycznych programu ZMŚP, gdyż pozwalają na wprowadzanie i stosowanie tzw. „geoindykatorów” i „bioindykatorów” w ocenie jakości środowiska.

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 2016 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 krajobrazowo-ekologicznych (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 Wienca 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 geoeosystemów 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 2016 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; KONICZYŃKA - 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 Nizy Polskiego (Stacje Bazowe: Wolin, Storkowo, Różany Strumień), strefa górską (Stacja Bazowa Karkonosze),

2. transekt wschodni: strefa młodoglacjalna Nizżu Polskiego (Stacje Bazowe Wigry i Puszcza Borecka), strefa staroglacjalna Nizżu Polskiego (Stacja Bazowa Kampinos), strefa wyżynna (Stacje Bazowe: Roztocze i Święty Krzyż) oraz strefa górska (Stacja Bazowa Szymbark).

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

Tab. 2. Charakterystyka fizycznogeograficzna zlewni reprezentatywnych ZMŚP w 2016 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. Łękuk	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	Łasica/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	Beskidy Środkowe/ Pogórze Środkowobeskidzkie
Wrzosówka	11,5	Kamienna/Odra	Karkonosze	Sudety Zachodnie

W strefie młodoglacjalnej Nizżu Polskiego położone są następujące zlewnie ZMŚP: Jeziora Gardno (Stacja Bazowa Wolin), górnej Parsęty (Stacja Bazowa Storkowo), Jeziora Łękuk (Stacja Bazowa Puszcza Borecka), Czarnej Hańczy (Stacja Bazowa Wigry), Strugi Toruńskiej (Stacja Bazowa Koniczynka) i Różanego Strumienia (Stacja Bazowa 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 (Stacja Bazowa 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 Stacji Bazowej w Storkowie, położona jest w obrębie Pomorza Środkowego, w mezoregionie Pojezierza Drawskiego. Można ją uznać za reprezentatywną dla obszarów młodoglacjalnych umiarkowanej strefy klimatycznej, będącą jeszcze obszarem stosunkowo małych antropogenicznych przemian środowiska przyrodniczego.

Szczególną uwagę w północnym pasie pojezierzy zwraca Stacja Bazowa 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 Łękuk dostarczają informacji na temat dostawy i depozycji składników będących efektem transportu transgranicznego oraz ich wpływu na funkcjonowanie lokalnych ekosystemów leśnych i jeziornych.

Zlewnia badawcza Stacji Bazowej 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 Stacji Bazowej 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 jest wielkołanowa i wysokotowarowa produkcja

rolnicza. Cały obszar jest prawie bezleśny i silnie zmeliorowany. Zlewnia Strugi Toruńskiej jest reprezentatywna dla krajobrazów pojeziernych ostatniego zlodowacenia bałtyckiego (Wisły) z dominacją rolniczego użytkowania terenu. Jej indywidualność wynika z intensywniej antropopresji, braku lasów i intensywnego rolnictwa.

Zlewnia Różanego Strumienia jest pierwszą jednostką ZMŚP zlokalizowaną w obrębie dużej aglomeracji miejskiej. Położenie stacji w środowisku miejskim pozwala na uzyskiwanie danych charakteryzujących skalę i tempo przemian zlewni rzecznych w wyniku gospodarczej działalności człowieka. Zlewnia Różanego 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 staroglacjalny Polski centralnej reprezentuje zlewnia Kanału Olszowieckiego (Stacja Bazowa Kampinos), położona w Puszczy Kampinoskiej. Zlewnia zajęta jest przez geoekosystem bagienno-łąkowy w różnych fazach naturalnej sukcesji. Geoekosystem znajduje się pod wpływem zanieczyszczeń atmosferycznych z Warszawy oraz zanieczyszczeń pochodzenia rolniczego z Równiny Łowicko-Błońskiej.

Stacja Bazowa Święty Krzyż obejmuje badaniami zlewnię leśno-rolniczą I rzędu (Wieńca) w Górach Świętokrzyskich, w masywie Łysogór. Zlewnia pozostaje w strefie oddziaływania lokalnych jak i ponadregionalnych emisji przemysłowych, co spowodowało już niekorzystne zmiany w ekosystemach leśnych, m.in. w drzewostanach jodłowych. Indywidualizm termiczny, zdeterminowany głównie rzeźbą Gór Świętokrzyskich powoduje, że panujące tu warunki dużej wilgotności powietrza, 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 śródleśnym ciekim, który bierze początek w obszarze mokradłowym, 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, a obecnie w mniejszym stopniu z Gorlic. 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.

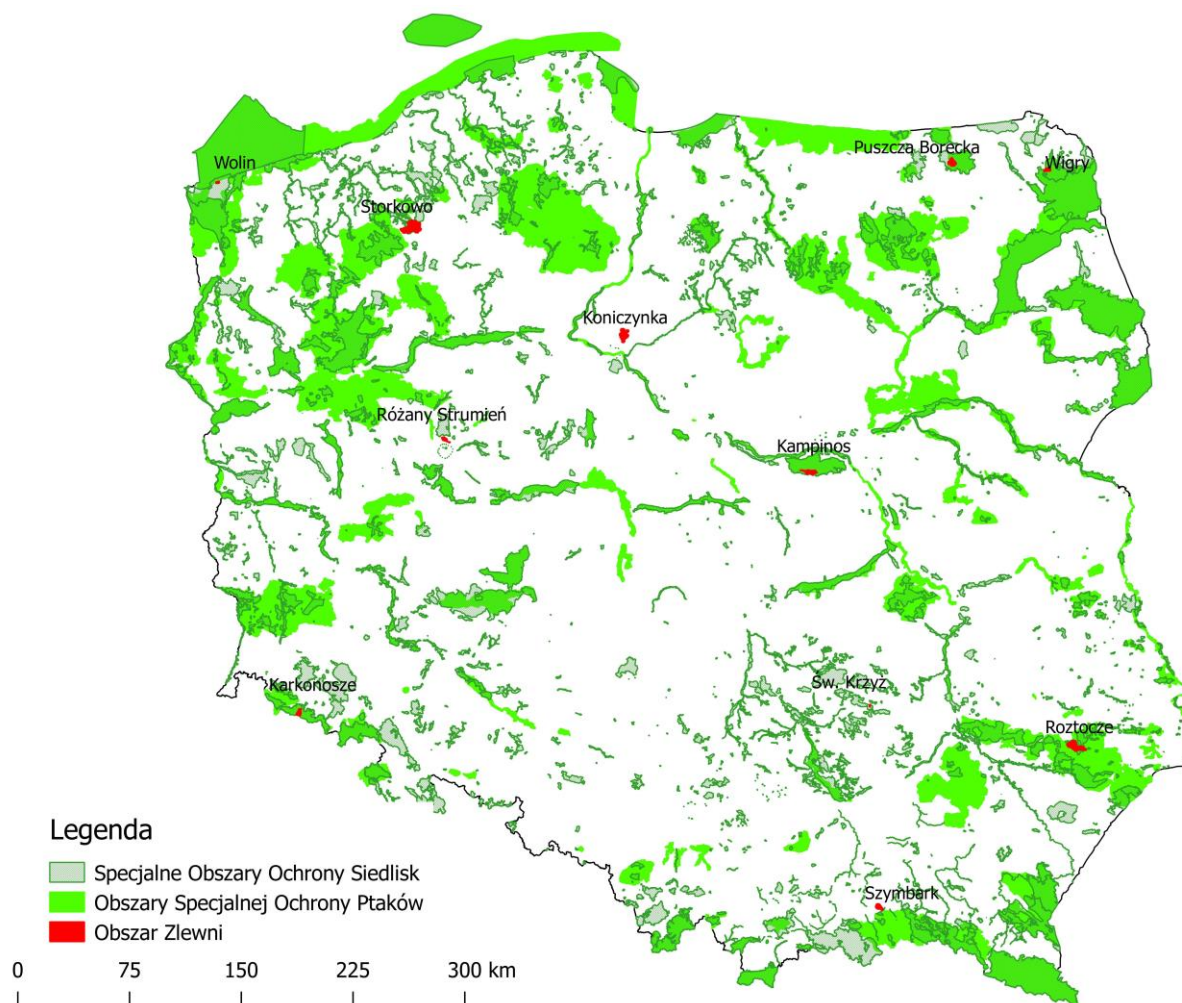
3. ZLEWNIE BADAWCZE ZMŚP A OBSZARY SZCZEGÓLNIENIE CENNE

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 siedlisk cennych przyrodniczo, 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 siedlisk 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 w znacznej części na obszarach Natura 2000. Jedynie zlewnie Stacji Bazowych w Koniczynie, i Poznaniu 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).

Około 35% powierzchni zlewni górnej Parsęty Stacji Bazowej Storkowo wchodzi w skład Obszaru Natura 2000 *Dorzecze Parsęty* (PLH320007) i *Jeziora Szczecineckie* (PLH320009), (ryc. 5).

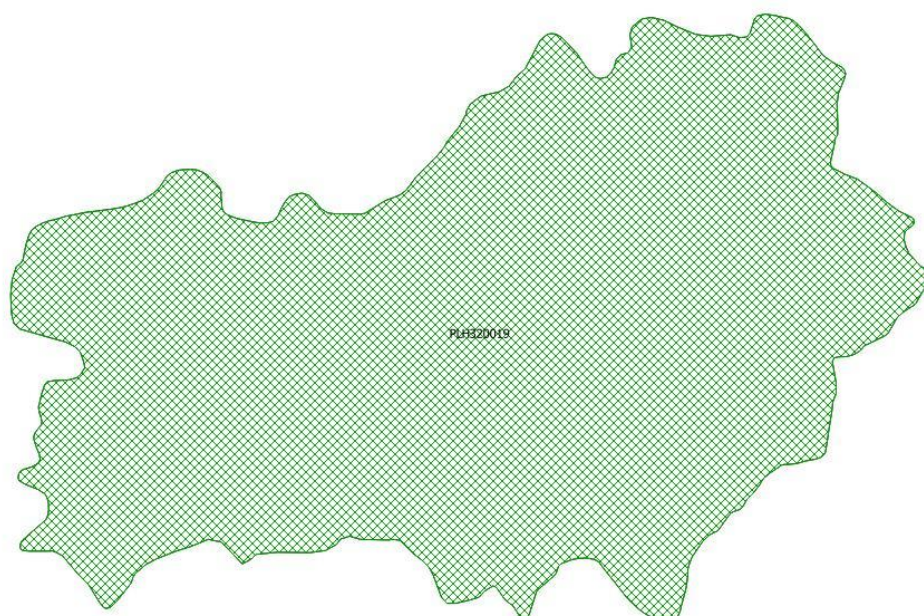
Zlewnia jeziora Łękuk monitorowana przez Stację Bazową Puszcza Borecka w około 80% położona jest w granicach obszaru Natura 2000 *Puszcza Borecka* (PLH280006), (ryc. 5).

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

Wolin

Legenda

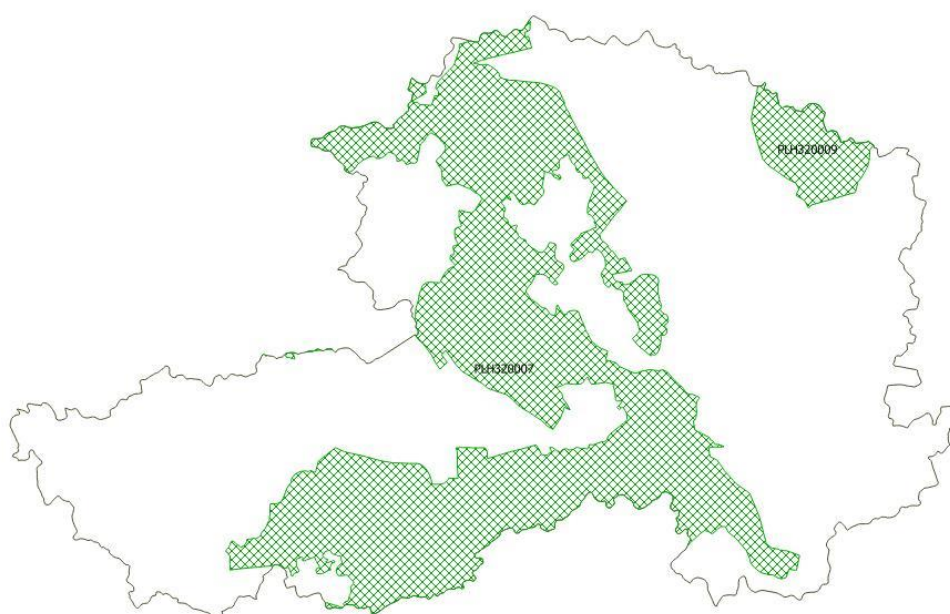
-  Specjalne Obszary Ochrony Siedlisk
-  Obszary Specjalnej Ochrony Ptaków
-  Granica Zlewni



Storkowo

Legenda

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



Puszcza Borecka

Legenda

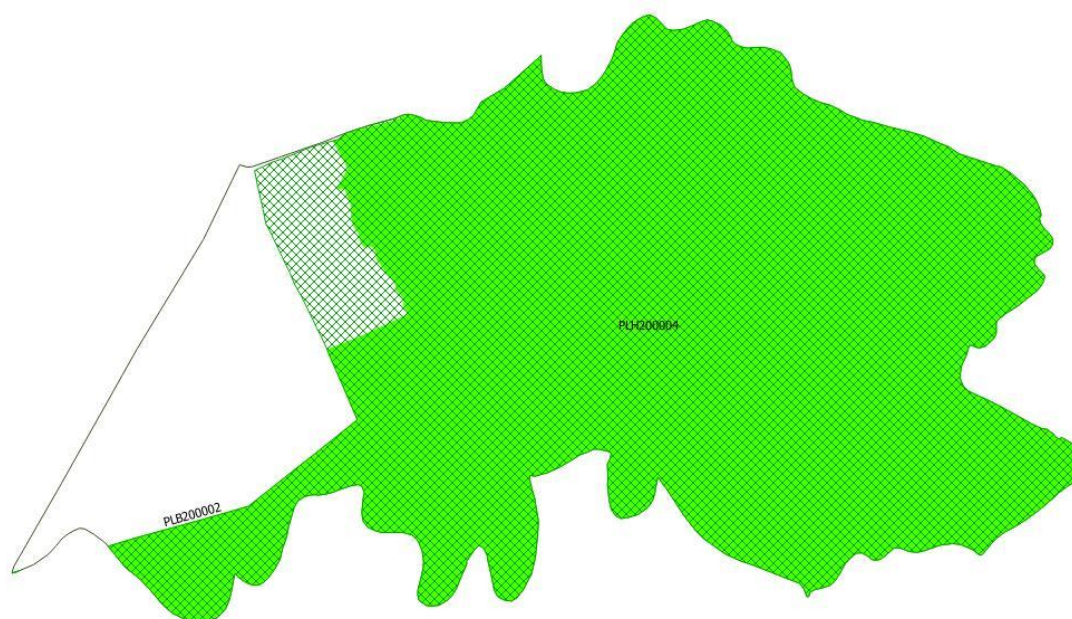
-  Specjalne Obszary Ochrony Siedlisk
-  Obszary Specjalnej Ochrony Ptaków
-  Granica Zlewni



Wigry

Legenda

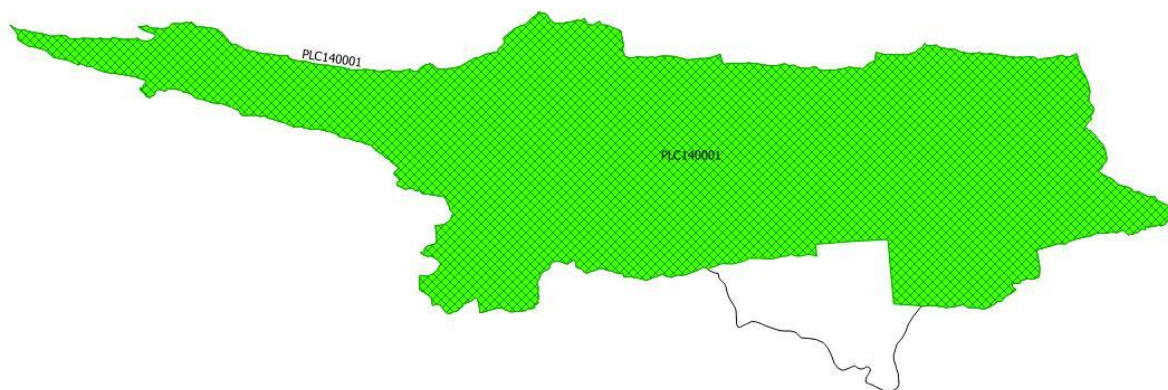
-  Specjalne Obszary Ochrony Siedlisk
-  Obszary Specjalnej Ochrony Ptaków
-  Granica Zlewni



Kampinos

Legenda

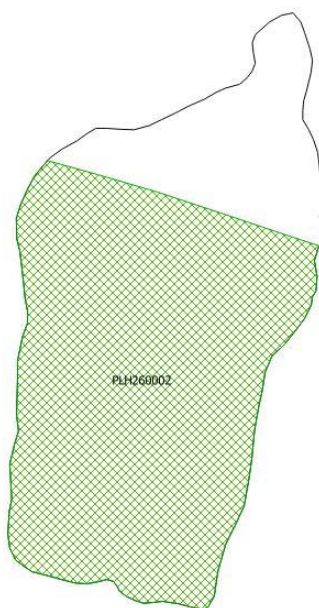
-  Specjalne Obszary Ochrony Siedlisk
-  Obszary Specjalnej Ochrony Ptaków
-  Granica Zlewni



Święty Krzyż

Legenda

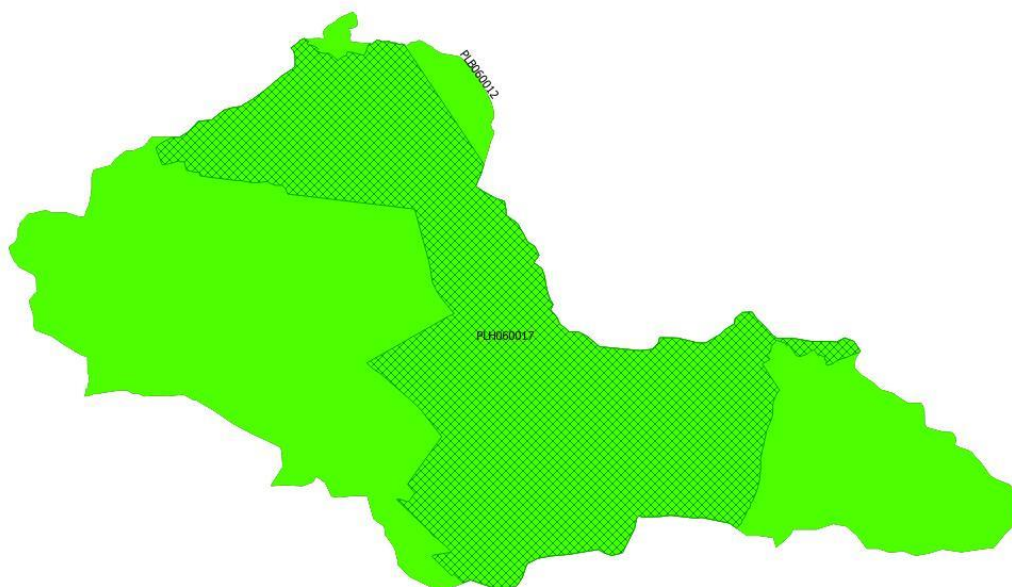
-  Specjalne Obszary Ochrony Siedlisk
-  Obszary Specjalnej Ochrony Ptaków
-  Granica Zlewni



Roztocze

Legenda

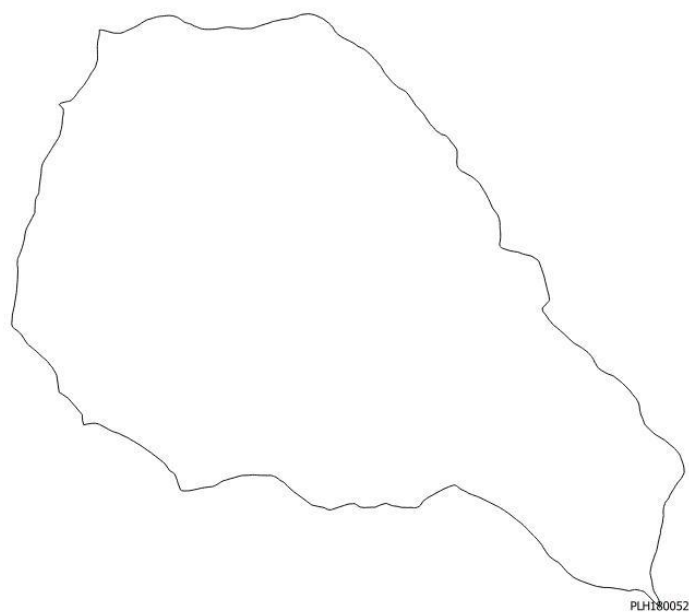
-  Specjalne Obszary Ochrony Siedlisk
-  Obszary Specjalnej Ochrony Ptaków
-  Granica Zlewni

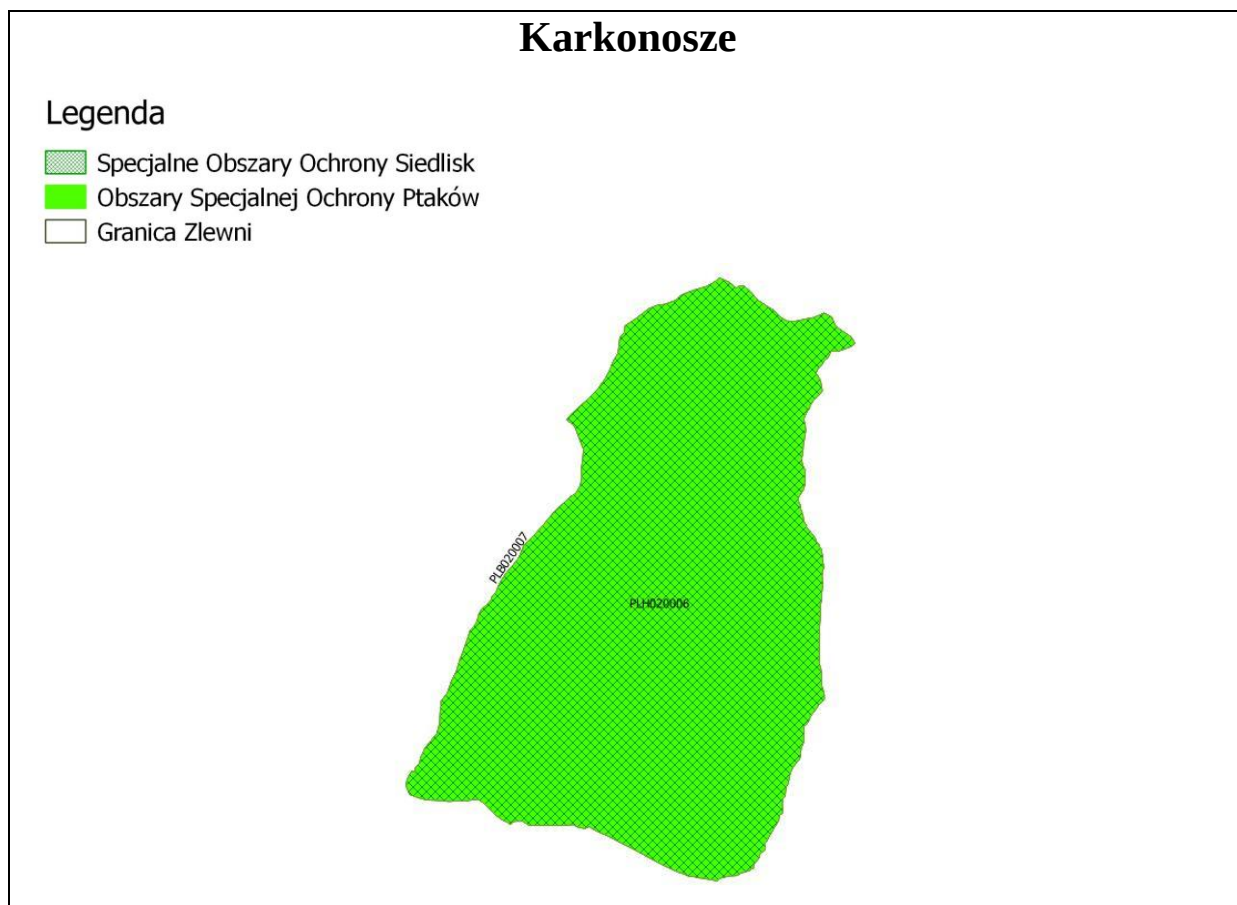


Szymbark

Legenda

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





Ryc. 5. Pokrycie zlewni Stacji Bazowych ZMŚP przez Obszary Natura 2000

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 RPN. W całości zlewnia Świerszcza znajduje się w obszarze specjalnej ochrony ptaków Natura 2000 *Roztocze* PLB060012 (ryc. 5).

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

Z powyższego zestawienia wynika, że zlewnie badawcze Stacji Bazowych ZMŚP mogą w zasadniczy sposób wspierać krajowy system ochrony przyrody w ramach projektu Natura 2000. Prowadzone w zlewniach badania mają 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 2016 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).

Tab. 3. Podstawowy program pomiarowy realizowany przez Stacje Bazowe ZMŚP w 2016 roku

Program pomiarowy	Wolin	Storkowo	Puszcza Borecka	Wigry	Koniczynka	Różany Strumień	Kampinos	Święty Krzyż	Roztocze	Symbark	Karkonosze
Meteorologia A1											
Zanieczyszczenie powietrza B1											
Chemizm opadów atmosferycznych C1											
Chemizm opadu podokapowego 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					

Niektóre Stacje Bazowe nie realizowały pełnego zakresu programowego ze względu na brak komponentów środowiska przyrodniczego w badanej zlewni. Stacja Bazowa

Koniczynka w zlewni Strugi Toruńskiej ze względu na brak zwartej powierzchni leśnej nie wykonywała programów chemizmu opadu podkoronowego, chemizmu spływu po pniach, opadu organicznego oraz uszkodzenia drzew i drzewostanów. Program chemizmu spływu po pniach C3, 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 H2 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 H1 wody powierzchniowe rzeki. W Stacji Karkonosze ze względu na awarię aparatury terenowej nie wykonywano programu F1 chemizm roztworów glebowych.

W tabeli 4 przedstawiono programy i parametry pomiarowe zrealizowane w 2016 roku w Stacjach Bazowych ZMŚP, zarówno w ramach zakresu obligatoryjnego jak i rozszerzonego. Zrealizowano 14 programów ZMŚP, wśród których badano 150 parametrów podstawowych i 58 parametrów rozszerzonych.

Tab. 4. Zakres programów i parametrów pomiarowych ZMŚP wykonanych w Stacjach Bazowych w 2016 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 oprócz Karkonoszy (brak temperatury minimalnej przy powierzchni gruntu i usłonecznienia – awaria sprzętu)
	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 dobowa		
	kierunek wiatru na 10 m	WID	pomiar ciągły/wartość modalna		
	grubość pokrywy śnieżnej	SC_H	l/dobę		
	natężenie promieniowania całkowitego – suma dobowa	SOL_T_S	pomiar ciągły/suma dobowa ze średnich godzinnych		
	uśłonecznienie	SOL_P	pomiar ciągły/suma dobowa		
	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, Kampinos, Święty Krzyż, Roztocze,	
	ozon O ₃	O3		Puszcza Borecka, Kampinos, Święty Krzyż, Roztocze,	
	azot azotanowy [HNO ₃ (g)+NO ₃ (a)]	NO3N_T		Puszcza Borecka	
	azot amonowy [NH ₃ (g)+NH ₄ (a)]	NH4N_T			
	dwutlenek węgla CO ₂	CO2			
	siarka siarczanowa S-SO ₄	SO4S			
	pył zawieszony	PM10		Puszcza Borecka, Koniczynka, Kampinos,	
	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-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					
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-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			
	fosfor ogólny P _{ogól.}	PTOT	12/rok z próbek tygodniowych	Puszcza Borecka
	mangan Mn	MN		
	żelazo Fe	FE		
	glin Al	AL		
SPŁYW PO PNIACH C3	Zakres obligatoryjny			
	spływ po pniach	RR_SF	12/rok	Obligatoryjnie tylko dla drzewostanu liściastego. Wykonano: Wolin, Puszcza Borecka, Święty Krzyż, Roztocze, Szymbark
	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			
	fosfor ogólny P _{ogól.}	PTOT	12/rok z próbek tygodniowych	Puszcza Borecka
	mangan Mn	MN		
	żelazo Fe	FE		
	glin Al	AL		
CHEMIZM ROZTWORÓW GLEBOWYCH F1	Zakres obligatoryjny			
	przewodność elektrolityczna właściwa (SEC)	COND	1/miesiąc	Wszystkie Stacje (oprócz Karkonosze – brak aparatury)
	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			
	żelazo Fe	FE		Puszcza Borecka
	mangan Mn	MN		

WODY PODZIEMNE F2	Zakres obligatoryjny			
	poziom wód gruntowych lub wydajność źródła	WL SPRING_D	pomiar automatyczny lub 1/miesiąc	Wszystkie Stacje
	temperatura wody	TEMP	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		
	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, Puszcz Borecka
	rozpuszczony węgiel organiczny RWO	DOC		Puszcz 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	Puszcz Borecka, Kampinos, Roztocze, Szymbark
	wapń Ca	CA		Puszcz 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 POWIERZCHNIOWE 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		Puszcza Borecka
	żelazo Fe	FE		
	fosfor fosforanowy PO4P	PO4P		
	rozpuszczony węgiel organiczny RWO	DOC		
	kadm Cd	CD		
	miedź Cu	CU		
	ołów Pb	PB		
	cynk Zn	ZN		
	nikiel Ni	NI		
	arsen As	AS		
STRUKTURA I DYNAMIKA SZATY ROŚLINNEJ J2	Zakres obligatoryjny		1/3 lata W 2016 roku obligatoryjnie przez wszystkie Stacje	Wszystkie Stacje
	pokrycie warstwy gatunków drzew	COVE_T IM		
	pokrycie warstwy krzew i podrostu	COVE_S IM		
	pokrycie warstwy gatunków zielnych	COVE_F IM		
	pokrycie warstwy porostowo-mszystej	COVE_B IM		
	pokrycie przez ściółkę	COVE_L		
	liczba żywych egzemplarzy gatunków drzew	NUM_LD IM		
	pierśnica żywych egzemplarzy gatunków drzew	DBH_L		
	liczba żywych egzemplarzy gatunków drzew	NUM_DD IM		
	miąższość zasobów martwego drewna – drzewa stojące	DBH_D		
	liczba kłód leżących	NUM_FD IM		
	miąższość zasobów martwego drewna – kłody	NUM_DD IM		
	współczynnik pokrycia każdego gatunku w skali Braun-Blanqueta w danej warstwie	COVE_(k)_S PEC		
	liczba gatunków o ilościowości <1% w skali Braun-Blanqueta r i + w danej warstwie	FREQ_SPEC_BBc		
	liczba gatunków o ilościowości >25% w skali Braun-Blanqueta od 3 do 5	FREQ_SPEC_BBc		
	ogólna liczba gatunków	NSPEC		
	struktura flory: udział form życiowych Raunkiera we florze kwadratu	FREQ_SPEC_RA		

	struktura flory: udział grup geograficzno-historycznych we florze kwadratu	FREQ_SPEC_GH		
	struktura flory: udział gatunków starych lasów we florze kwadratu	FREQ_SPEC_OF		
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 2016 roku na Stacjach Bazowych wykonywane były przez Ekspertów ZMŚP zadania specjalistyczne, które dotyczyły określenia stanu środowiska przyrodniczego, głównie w odniesieniu do programów biotycznych (tab. 4).

Tab. 4. Programy badawczo-pomiarowe ZMŚP zrealizowane w Stacjach Bazowych ZMŚP przez Ekspertów ZMŚP w 2016 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 rzeczno I1											
Ocena usług geoeosystemów R1											
	zrealizowany przez Eksperta ZMŚP				nie wykonywany w 2016 roku – obligatoryjnie do realizacji w kolejnych latach						

Ponadto Stacje Bazowe realizowały w 2016 roku programy specjalistyczne, których zakres wynikał z indywidualności przyrodniczej położenia badanej zlewni:

- morfodynamika wybrzeża klifowego (Stacja Bazowa Wolin),
- erozja wodna gleb (Stacja Bazowa Storkowo),
- zanieczyszczenia atmosfery metalami ciężkimi i WWA (Stacja Bazowa Puszcza Borecka),
- zmiany zasobów wodnych systemu rzeczno-jeziornego Czarna Hańcza, zmiany poziomu wód gruntowych w podmokłych ekosystemach leśnych i ich wpływ na zdrowotność drzewostanów (Stacja Bazowa Wigry),
- monitoring fauny glebowej w agroekosystemach, monitoring populacji lęgowych dymówki, bilans promieniowania (Stacja Bazowa Koniczynka),
- monitoring migracji zanieczyszczeń w wodach podziemnych (Stacja Bazowa Różany Strumień),
- monitoring zimujących nietoperzy i bociana białego (Stacja Bazowa Kampinos),
- funkcjonowanie geoeosystemu w warunkach alkalicznej imisji (Stacja Bazowa Święty Krzyż),
- monitoring flagowych gatunków ptaków, monitoring lęgowych sów leśnych, monitoring rzadkich dzięciołów, monitoring pospolitych ptaków lęgowych (Stacja Bazowa Roztocze),
- erozja wodna gleb, rozbryzg (Stacja Bazowa Szymbark),
- właściwości fizyczne i chemizm pokrywy śnieżnej (Stacja Bazowa 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 2016 roku hydrologicznego.

5.1. Warunki pogodowe

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

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

Średnia roczna temperatura powietrza i suma opadów atmosferycznych na tle wielolecia

Warunki termiczne wyrażone 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 Bazowe Wolin i Storkowo) a w regionach południowo-wschodnich cechami kontynentalizmu (głównie Stacje Bazowe Roztocze oraz Szymbark), (tab. 5). O zmienności przestrzennej warunków termicznych świadczyć może np. spadek średniej temperatury powietrza w północnej strefie młodoglacjalnej Niżu Polskiego, z zachodu na wschód, od wartości 9,8°C w Wolinie, 8,7°C w Storkowie, 8,1°C w Puszczy Boreckiej do 7,7°C w Wigrach (2009-2016). W powyższym transekcie równoleżnikowym bardzo dobrze zaznacza się wpływ oceanizmu (Stacje Bazowe Wolin i Storkowo) oraz kontynentalizmu (Stacje Bazowe Puszcza Borecka, Wigry), które kształtują termiczne właściwości klimatu strefy młodoglacjalnej Polski. Współczynnik kontynentalizmu wg Gorczańskiego w 2016 roku wynosił od 19% w Stacji Bazowej Wolin do 22% w Stacji Bazowej Wigry. Bardziej wyraźny wzrost wskaźnika kontynentalizmu Gorczyńskiego stwierdzono w układzie południkowym, gdzie w 2016 roku jego wartość wynosiła od 19% w Stacji Bazowej Wolin do 28% 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 (1995-2016) w strefie młodoglacjalnej wynosiła 724 mm w Storkowie i 738 mm w Puszczy Boreckiej. Natomiast stwierdzono wyraźne zmniejszenie się ilości opadów w transekcie południkowym Nizżu Polskiego (1995-2016), od Stacji Bazowej Storkowo (724 mm) do Stacji Bazowej Kampinos (588 mm). W Stacjach Bazowych położonych dalej na południe wyższe opady są efektem ich położenia na obszarach wyżynnych a zwłaszcza górskich (np. Stacja Bazowa Szymbark 872 mm).

Poza czynnikami kontynentalno-oceanicznymi na warunki termiczne i opadowe w zlewniach ZMŚP wpływają czynniki lokalne, związane m. in. z wyniesieniem nad poziomem morza (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	
	2016	wielolecie	2016	wielolecie
Wolin (2009-2015)	10,3	9,2	529,0	630,7
Storkowo (1995-2015)	9,0	7,8	794,5	652,8
Puszcza Borecka (1995-2015)	8,5	7,2	804,0	672,9
Wigry (2002-2015)	8,0	7,3	684,5	597,6
Koniczynka (1995-2015)	9,8	8,5	542,3	541,0
Różany Strumień	10,2	-	652,0	-
Kampinos (1995-2015)	9,2	8,4	608,2	567,5
Święty Krzyż (2005-2015)	8,9	7,8	720,7	719,8
Roztocze (2012-2015)	9,0	8,4	715,3	691,0
Szymbark (1995-2015)	9,6	8,6	1019,6	872,1
Karkonosze	8,3	-	1049,3	-

W zlewniach badawczych ZMŚP 2016 rok był znacznie cieplejszy i bardziej wilgotny niż wartość średnia z wielolecia (tab. 5). Jedynie w nadmorskiej Stacji Wolin opady w 2016 roku były niższe niż średnia suma roczna z wielolecia. Szczególnie wysoka średnia roczna temperatura powietrza występowała w północno-zachodniej Polsce (ponad 10°C w Stacjach

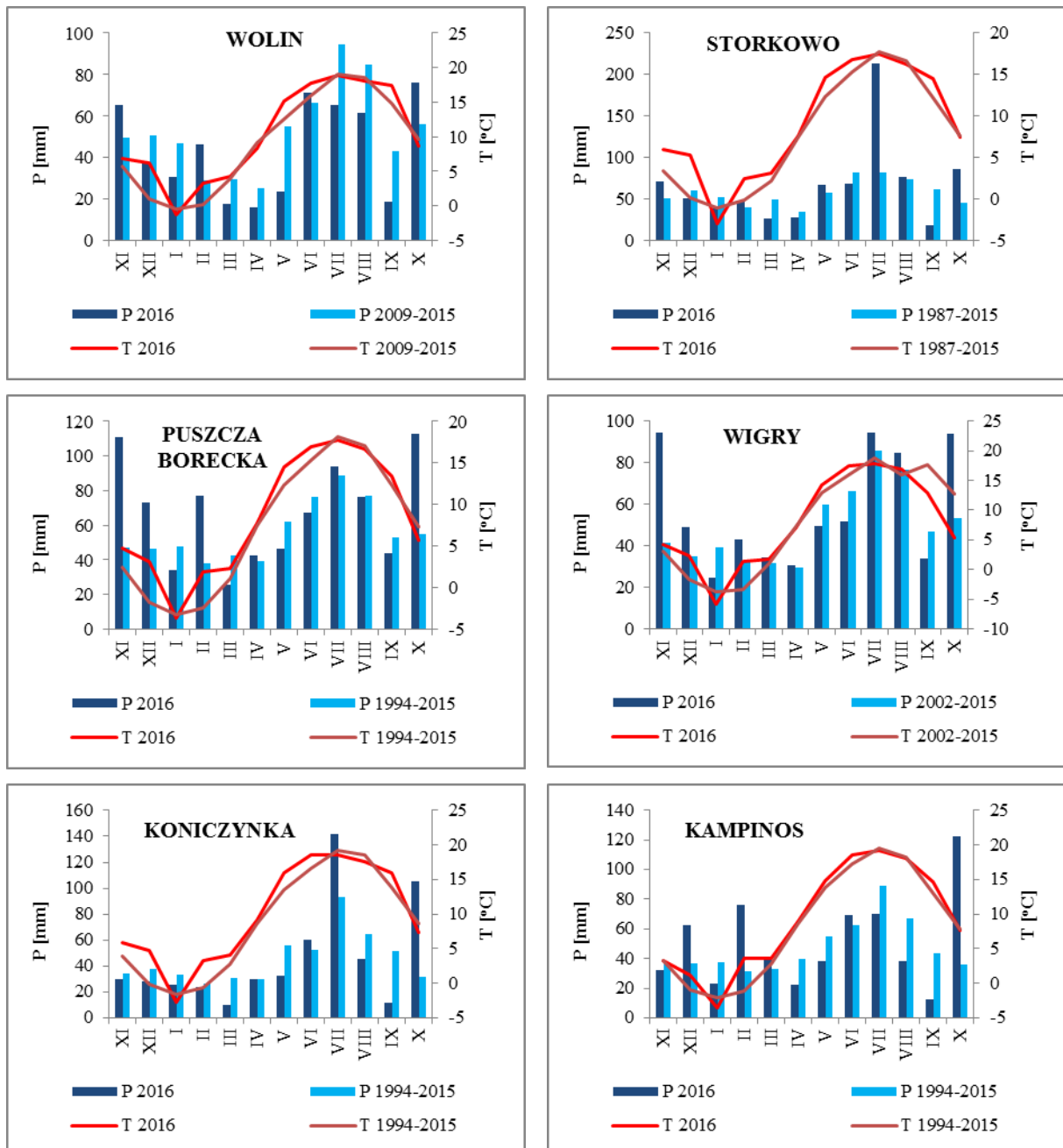
Wolin i Różany Strumień). Wysoką średnią roczną temperaturę powietrza ponad 9,5°C stwierdzono także w Koniczynie i Szymbarku. W rozkładzie przestrzennym zaznaczył się wpływ uwarunkowań lokalnych związanych ze specyfiką położenia zlewni i ich użytkowania. Na wysoką wartość średniej temperatury powietrza w Różanym Strumieniu wpłynęło bliskie sąsiedztwo aglomeracji miasta Poznania, gdzie występowała tzw. miejska wyspa ciepła. W Koniczynie o podwyższonej termice decyduje dominacja rolniczego typu użytkowania zlewni i brak zwartych, rozległych kompleksów leśnych i wodnych, które łagodząco wpływałyby na warunki termiczne. Natomiast na Wolinie i w Szymbarku o podwyższonej temperaturze powietrza zdecydowały przede wszystkim warunki pogodowe o znaczeniu ponad regionalnym, których nie łagodził wpływ Morza Bałtyckiego (Wolin) i znaczne wyniesienie terenu (Szymbark).

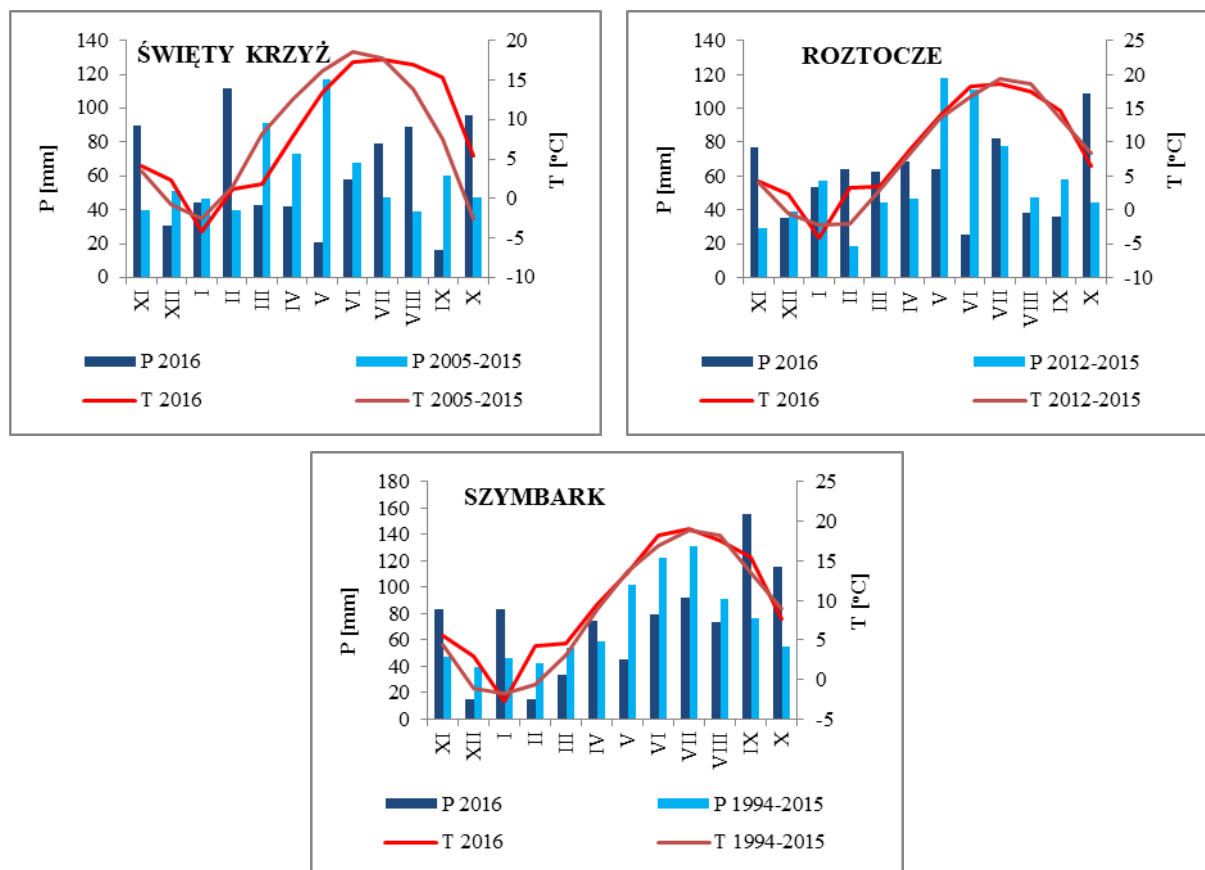
W zlewniach ZMŚP w 2016 roku korzystnie kształtowały się warunki opadowe, których roczna suma była wyraźnie wyższa od roku poprzedniego oraz od średniej z wielolecia. Szczególnie wysoka roczna suma opadów wystąpiła w Karkonoszach (1049,0 mm), Szymbarku (1019,6 mm), Puszczy Boreckiej (804,0 mm) i Storkowie (794,5 mm). Natomiast niższą sumą opadów atmosferycznych w 2016 roku od warunków normalnych zanotowano w zlewni nadmorskiej (Wolin). Zbliżoną roczną sumę opadów do wartości przeciętnych z wielolecia stwierdzono w Koniczynie (542,3 mm).

W 2016 roku Stacja Wolin wyróżniała się wśród Stacji ZMŚP najwyższą średnią roczną temperaturą powietrza (10,3°C) i najniższą sumą opadów atmosferycznych (529,0 mm). Potencjalnie w nadmorskim pasie krajobrazowym były najmniej korzystne warunki dla odbudowy zasobów wodnych po wyjątkowo suchym roku poprzednim. Natomiast najlepsze warunki termiczno-opadowe dla retencji wody w zlewniach ZMŚP były w strefie wyżyn (Święty Krzyż-Roztocze), gdzie średnia roczna temperatura powietrza była najniższa ($\leq 9^{\circ}\text{C}$) i opady roczne względnie wysokie (> 700 mm).

Uwarunkowania termiczno-opadowe decydujące o odbudowie zasobów wodnych oraz możliwości rozwoju roślinności wykazują niezbyt sprzyjający rozkład miesięczny w 2016 roku (ryc. 6). Przebieg miesięczny średniej temperatury powietrza przez większość roku był powyżej wartości normalnych i z jednej strony sprzyjał wydłużeniu okresu wegetacji, szybszemu rozkwitaniu i dojrzewaniu roślin ale z drugiej strony podwyższona termika wzmagala ewapotranspirację i ograniczenie odbudowy zasobów wód powierzchniowych i podziemnych. Taka niesprzyjająca sytuacja termiczna występująca w okresie wiosennym (początek wegetacji III-V) przy równocześnie niższej sumie opadów atmosferycznych może zaburzać rozwój roślinności. Ta sytuacja nie dotyczyła jedynie zlewni położonych w

południowo-wschodniej Polsce (Roztocze i Szymbark). Występująca w zlewniach NE (Puszcza Borecka, Wigry) oraz SE (Święty Krzyż, Roztocze i Szymbark) nadwyżka opadów w sezonie zimowym (XI-II) zasilala wody podziemne i nie przełożyła się na wyraźny wzrost stanów wód powierzchniowych. Lokalnie wyższe opady w okresie letnim (lipiec) generowały krótkie wezbrania na ciekach (np. Parsęta w Storkowie) ale stanowiły także źródło wody do wzmożonej ewapotranspiracji.





Ryc. 6. Przebieg miesięczny temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2016 roku na tle wielolecia

Miesięczny przebieg średniej temperatury powietrza we wszystkich Stacjach Bazowych ZMŚP odbiegał znacząco od tendencji wieloletniej, co przejawiało się zwłaszcza wyższymi wartościami temperatury powietrza w półroczu chłodnym, od listopada do grudnia i w lutym. Jedynie w okresie wiosennym od marca do kwietnia i okresie letnim od lipca do sierpnia wartości średniej miesięcznej temperatury powietrza nawiązywały do tendencji wieloletniej. Pod względem opadowym dynamika miesięczna atmosferycznej dostawy wody w 2016 roku była zróżnicowana czasoprzestrzennie. W większości zlewni wyższe opady były w półroczu chłodnym (od listopada do lutego) oraz w październiku. Nie wystąpiła wyraźna regionalizacja miesięcznej atmosferycznej dostawy wody do zlewni.

Liczba dni charakterystycznych pod względem termiczno-wilgotnościowym

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

Specyficzna lokalizacja Stacji Różany Strumień w strefie oddziaływania dużego ośrodka miejskiego generowała wyjątkowo dużą ilość dni upalnych (22). Ponadto znaczna ilość dni upalnych ($T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$) w 2016 roku wystąpiła w centralnej i SE Polsce, np. w

Szymbarku było takich dni 18, w Kampinosie 12 a na Roztoczu 11. Duża ilość dni upalnych na tych Stacjach generowała wysokie parowanie terenowe i pogarszanie warunków do retencji wody. Najmniej dni upalnych wystąpiło w Polsce północnej (od 2 do 5 w pasie od Wolina do Wigier) i w zlewni gór Świętokrzyskich (tylko 1 dzień). Na mniej ekstremalne warunki cieplne zlewni ZMŚP w strefie Niżu Polskiego oprócz uwarunkowań pogodowych wpłynął fakt dominacji leśnego użytkowania terenu i bliskość dużych zbiorników wodnych (morze, jeziora), które łagodzą ekstrema termiczne. O wyjątkowo ciepłych warunkach termicznych w 2016 roku świadczy także mała ilość dni przymrozkowych a zwłaszcza mroźnych. Najwięcej dni mroźnych stwierdzono w Polsce centralnej i północno-wschodniej, w pasie od Wigier (32 dni), poprzez Kampinos (19 dni) do Świętego Krzyża (55 dni).

Opady atmosferyczne w 2016 roku charakteryzowały się przeciętną frekwencją ale względnie wysoką wydajnością (tab. 6). Stwierdzono występowanie opadów od 206 dni w Koniczynie do zaledwie 144 dni w Szymbarku. O względnie dobrych warunkach dla retencji wody w 2016 roku w badanych zlewniach ZMŚP świadczy wysoka suma roczna i wydajność dobową opadów atmosferycznych. Im bardziej wydajne opady tym mniej wody jest traczone na ewapotranspirację. Znacznie wyższa w 2016 roku niż w 2015 roku wydajność opadów ale przy równie wysokiej termice powietrza i parowaniu terenowym mogły prowadzić do nieznacznej odbudowy zasobów wód powierzchniowych i podziemnych. Pod względem wydajności opadów szczególnie korzystna sytuacja wystąpiła w Polsce południowej (Szymbark, Karkonosze) i północnej (Storkowo, Puszcza Borecka), gdzie opadów o sumie dobowej ≥ 10 mm było co najmniej 20 przypadków. Pod względem struktury opadów atmosferycznych względnie najmniej sprzyjająca sytuacja w 2016 roku była w Polsce centralnej (Koniczynka) i północno-zachodniej (Wolin), gdzie opadów o sumie ≥ 10 mm było odpowiednio 8 i 12 przypadków. O względnie dobrych warunkach pluwiometrycznych w 2016 roku świadczy znacznie wyższa niż w roku poprzednim maksymalna wartość opadu dobowego, gdzie na 4 Stacjach ZMŚP była ona wyższa niż 50 mm. Natomiast warunki śnieżne odgrywały marginalną rolę w retencji wody w badanych zlewniach, co z kolei nie było czynnikiem sprzyjającym retencji wody. Pokrywa śnieżna zalegała krótko (od 16 dni w Wolinie do 78 dni w Karkonoszach) i miała małą maksymalną miąższość - od zaledwie 4 cm w Kampinosie do 32 cm w Karkonoszach).

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. Liczba dni charakterystycznych temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2016 roku

Element pogody	Stacja ZMŚP										
	Wolin	Storkowo	Puszcza Borecka	Wigry	Koniczyna	Różany Strumień	Kampinos	Święty Krzyż	Roztocze	Szymbark	Karkonosze I-X
Dni bardzo upalne T _{max} >35°C	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
Dni upalne T _{max} >30°C	4	3	2	5	8	22	12	1	11	18	2
Dni gorące T _{max} >20°C	26	38	28	35	47	78	56	27	45	70	13
Dni przymrozkowe T _{min} <0°C	41	87	79	103	60	68	85	80	82	52	77
Dni mroźne T _{sr} <0°C	10	16	20	32	17	5	19	55	14	15	18
Dni bardzo mroźne T _{min} <-10°C	0	9	9	17	8	5	10	6	5	10	7
Dni z opadem ≥0,1 mm	168	176	182	178	206	204	153	188	196	144	187
Dni z opadem ≥1,0 mm	108	125	118	125	93	116	103	131	96	104	132
Dni z opadem ≥10,0 mm	12	20	22	16	8	12	16	12	18	28	33
Maksymalny opad dobowy [mm]	30,2	80,3	33,8	29,5	51,5	73,6	35,2	27	29,2	50,2	43,0
Dni z pokrywą śnieżną	16	27	27	30	21	23	22	25	30	20	78
Maksymalna grubość pokrywy śnieżnej [cm]	8	6	13	15	7	10	4	10	15	10	25

Wskaźnik termiczno-opadowy

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	KONICZYŃKA	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									

dla lat

do 90%

90-110%

powyżej 110%

Klasyfikacja opadowa potwierdza dużą zmienność warunków opadowych we wszystkich Stacjach Bazowych w analizowanym okresie (tab. 8). Bardziej suchy okres przypadł na lata 2003-2006 (poza Wigrami i Szymbarkiem). Natomiast okres 2007-2012 charakteryzował się występowaniem rocznych opadów o sumie normalnej bądź wyższej od wartości normalnych, co sprzyjało odbudowie zasobów wodnych. Z kolei czasokres 2013-2015 pod względem opadowym cechował się bardzo dużym zróżnicowaniem przestrzennym,

co świadczy o dużej niejednorodności przestrzennej opadów – co jest typowe dla klimatu Polski. W 2016 roku w zakresie rocznej sumy opadów atmosferycznych w większości Stacji stwierdzono warunki normalne (5 Stacji) lub ich nadwyżkę (4 Stacje). Stacje Różany Strumień i Karkonosze ze względu na 1 rok badań w tej klasyfikacji nie zostały ujęte. Najbardziej korzystne warunki wodne występowały na północy kraju (od Storkowa do Wigier) oraz na południu (Szymbark). Klasyfikacja opadów w 2016 roku odzwierciedla sprzyjające warunki do retencji wody w zlewniach i odbudowy zasobów wodnych 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	$t_z < T - 2,5\sigma$

Wskaźnik klasyfikacji termicznej przedstawia zmienność czasową i przestrzenną średniej rocznej temperatury powietrza (tab. 10). Znaczne różnice termiczne na Stacjach Bazowych w poszczególnych latach są typowe dla przejściowego klimatu Polski. Lata 1996-1998 prawie we wszystkich Stacjach Bazowych zakwalifikowano jako chłodniejsze od normy. Z kolei z wyjątkowe skumulowanie lat ciepłych wystąpiło w okresie 2007-2008. Od 2014 roku trwa kolejny okres o podwyższonej termice. Ostatnie 3 lata we wszystkich Stacjach

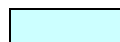
były cieplejsze od wartości normalnej, co świadczy o dominacji cech kontynentalizmu nad oceanizmem klimatycznym. Na właściwości cieplne w 2016 roku w badanych zlewniach ZMŚP nie mały większego wpływu uwarunkowania lokalne, związane m. in. z wysokością położenia zlewni i jej odległością od dużych zbiorników wodnych. W kontekście obiegu wody w zlewniach ZMŚP w 2016 roku szczególnie niekorzystna sytuacja termiczna występowała w Wolinie, Puszczy Boreckiej, Konieczynie i na Świętym Krzyżu, gdzie był to rok bardzo ciepły. Wysokiemu parowaniu ograniczającemu retencję wody sprzyjały również warunki cieplne w pozostałych stacjach, dla których 2016 rok był ciepły (tab. 10).

Tab. 10. Roczna klasyfikacja termiczna dla Stacji Bazowych ZMŚP

ROK	WOLIN	STORKOWO	PUSZCZA BORECKA	WIGRY	KONIECZYŃKA	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									

 ekstremalnie ciepły
 anomalnie ciepły
 bardzo ciepły
 ciepły
 lekko ciepły

 normalny

 lekko chłodny
 chłodny
 bardzo chłodny
 anomalnie chłodny
 ekstremalnie chłodny

Klasyfikacja termiczno-opadowa w 2016 dla wszystkich Stacji Bazowych ZMŚP wskazuje na potencjalnie dość korzystną sytuację do retencji wody w zlewniach ZMŚP, co przejawiało się zahamowaniem spadku a nawet wzrostem zasobów wód powierzchniowych i podziemnych. Najbardziej korzystna sytuacja do odnowy zasobów wodnych występowała w Polsce północnej (strefa pojezierzy Nizy Polskiego: Storkowo, Wigry) i południowej (strefa gór średnich: Szymbark, Karkonosze).

Tab. 11. Klasyfikacja termiczno-opadowa dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2016 roku

2016 ROK	WOLIN	STORKOWO	PUSZCZA BORECKA	WIGRY	KONICZYŃKA	RÓŻANY STRUMIEŃ	KAMPINOS	ŚWIĘTY KRZYŻ	ROZTOCZE	SZYMBARK	KARKONOSZE
Klasyfikacja termiczna											
Klasyfikacja opadowa											

Klasyfikacja termiczna	Klasyfikacja opadowa
anomalnie ciepły	suchy
bardzo ciepły	normalny
ciepły	wilgotny
lekko ciepły	
normalny	

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 Polsce SE. W 2016 roku wartości ekstremalne temperatury powietrza były najmniejsze w nadmorskiej Stacji Wolin i wynosiły od -13,4°C do 30,8°C (amplituda 44,2°C). Największe ekstrema termiczne występowały w górskiej Stacji Szymbark od -19,4°C do 34,0°C (amplituda 53,6°C).

W 2016 roku nie stwierdzono występowania wyjątkowych zdarzeń ekstremalnych, determinujących obieg wody w badanych zlewniach. W żadnej zlewni nie wystąpiły długotrwałe opady rozlewne o sumie ≥ 200 mm/3 doby. Istotnym zdarzeniem meteorologicznym ograniczającym obieg wody i powodującym obniżanie poziomu wód powierzchniowych jest susza meteorologiczna, kiedy opady nie występują przez co najmniej 15 dni. Takie zdarzenia występowały tylko w strefie młodoglacjalnej Polski, z rzadką częstością 1-2 razy (Wolin, Storkowo, Puszcza Borecka, Konieczynka, Wigry). W pozostałych regionach suszy meteorologicznej nie stwierdzono. Do innych zjawisk ekstremalnych ograniczających zasoby i obieg wody były fale upałów, które odnotowano tylko w Wigrach (zaledwie 1 przypadek) i Różanym Strumieniu (aż 6 przypadków). Fale upałów w Różanym Strumieniu związane są z oddziaływaniem miejskiej wyspy ciepła miasta Poznania.

W 2016 roku w sieci Stacji Bazowych ZMŚP nie stwierdzono 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 2016 roku hydrologicznym do najbardziej uciążliwych zjawisk ekstremalnych należały epizodycznie występujące lokalne susze i fale upałów. Jednakże 2016 rok w porównaniu z rokiem ubiegłym miał znacznie mniej ekstremalnych zdarzeń pogodowych zakłócających obieg wody.

5.2. Wody podziemne

Zmianę 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 tereny, typ użytkowania terenu oraz rozległość strefy alimentacji wód podziemnych.

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 2016 roku hydrologicznym wartości wskaźnika miesięcznych zmian retencji wykazywały duże zróżnicowanie czasowe i przestrzenne. Najmniejszą dynamikę miesięcznych zmian retencji stwierdzono w Wigrach, gdzie przez cały rok hydrologiczny uśredniona wartość wskaźnika R_M była jako retencja bez zmian. Małe zmiany retencji były w NW Polsce, w Storkowie i zwłaszcza na Wolinie, gdzie od listopada do maja stwierdzono wzrost retencji a od czerwca do października była retencja bez zmian. W pozostałych zlewniach dynamika miesięczna tego wskaźnika była znacznie większa. Analiza przebiegu wskaźnika zmian retencji w 2016 roku wykazała w większości zlewni pogorszenie zasobów

wód podziemnych, zwłaszcza w okresie od kwietnia do czerwca oraz od sierpnia do października. Pogorszenie retencji wód podziemnych w półroczu ciepłym wynikało z małej wydajności opadów (poza lipcem) oraz dużej frekwencji dni gorących wzmagających ewaporację i w konsekwencji ograniczenie infiltracji wody opadowej do wód podziemnych. Względnie lepsze warunki hydrogeologiczne przejawiające się wzrostem retencji były w półroczu chłodnym (od listopada do lutego). Generalnie przebieg wskaźnika retencji wód podziemnych potwierdza przeciętny stan ilościowy wód podziemnych badanych zlewni w 2016 roku (tab. 12), czego przejawem była możliwość wystąpienia zagrożenia w postaci niżówki hydrogeologicznej (tab. 13).

Tab. 12. Wskaźnik miesięcznych zmian retencji R_m dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2016 roku hydrologicznym

Stacja ZMŚP	R_m											
	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

** awaria sprzętu

* analiza niemożliwa z przyczyn metodycznych

Wskaźnik zagrożenia niżówką hydrogeologiczną k_n

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

$$k_n = 1 - G/SNGw_{(1994-2015)}$$

gdzie: G – stan aktualny, określany jako głębokość położenia zwierciadła wody, przyjmowany umownie jako pierwszy pomiar w rozpatrywanym miesiącu; $SNGw_{(1994-2015)}$ – 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 2016 roku hydrologicznym uśrednione wartości wskaźnika zagrożenia niżówką hydrogeologiczną wykazują mniejsze zróżnicowanie czasowo-przestrzenne niż wskaźnik miesięcznych zmian retencji. W rozkładzie przestrzennym można stwierdzić wyraźną strefę

krajobrazowo-ekologiczną zagrożenia do występowania płytkiej niżówki przez cały rok w zlewni nadmorskiej (Stacja Bazowa Wolin). O relatywnie największym zagrożeniu występowania niżówki hydrogeologicznej w tej strefie nizin nadmorskich zdecydowały najbardziej niekorzystne warunki termiczno-opadowe, które nie powodowały wzrostu stanu wód podziemnych. Jednakże zagrożenie wystąpienia płytkiej niżówki występowało we wszystkich stacjach położonych w strefie młodoglacjalnej Nizy Polskiego. Stacje położone na południe od tej strefy posiadały znacznie lepszy stan warunków hydrometeorologicznych i w konsekwencji warunków hydrogeologicznych. Poza Nizem Polskim w układzie miesięcznym dominował brak zagrożenia wystąpienia niżówki hydrogeologicznej (poza Rostoczem w październiku), (tab. 13).

Tab. 13. Wskaźnik zagrożenia niżówką hydrogeologiczną k_n dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2016 roku hydrologicznym

Stacja ZMŚP	k_n											
	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

 zagrożenie pojawienia się niżówki

 wystąpienie płytkiej niżówki

 brak zagrożenia niżówką hydrogeologiczną

** awaria sprzętu

* analiza niemożliwa z przyczyn metodycznych

Lepsze niż w poprzednim roku warunki alimentacji wód podziemnych w 2016 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 geoekosystemów w postaci wpływu zasilania opadowego i podziemnego widoczna była w 2016 roku w wodach powierzchniowych, zwłaszcza w wodach rzecznych, które stanowią strefę odprowadzania wody z badanych zlewni. Miara reakcji zlewni na dynamikę obiegu wody mogą być geoindykatory hydrologiczne w postaci współczynnika odpływu i wskaźnika odpływu jednostkowego (tab. 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 2016 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)	0,14	2,49	9,00	0,49
Storkowo (Parsęta)	0,24	6,09	32,63	2,49
Wigry (Czarna Hańcza)	0,22	4,69	7,03	3,41
Koniczynka (Struga Toruńska)	0,04	0,89	1,46	0,01
Różany Strumień (Różany Strumień)	0,05	0,82	3,68	0,33
Kampinos (Kanał Olszowiecki)	0,01	0,14	1,01	0,00
Święty Krzyż (C6)	0,49	2,40	-	-
Roztocze (Świerszcz)	0,08	1,93	2,84	1,71
Karkonosze (Wrzosówka)	0,51	20,50	152,90	2,60
Szymbark (Bystrzanka)	0,36	7,80	91,15	0,41

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 2016 roku współczynnik odpływu przyjmował wartości minimalne od 0,01 w Kanale Olszowieckim, 0,04 w Strudze Toruńskiej i 0,05 w Różanym Strumieniu do wartości najwyższych 0,49 we Wieńcu w Górach Świętokrzyskich i 0,51 we Wrzosówce w Karkonoszach. Zlewnie Nizy Polskiego charakteryzują się spowolnionym obiegiem wody i długim krążeniem wody od strefy alimentacji do strefy drenażu. W tych zlewniach zaledwie kilka % (Kanał Olszowiecki, Struga Toruńska, Różany Strumień) a maksymalnie 25% (Parsęta, Czarna Hańcza) wody opadowej odpłynęło systemem fluwialnym poza zlewnię. W tych ciekach jakość wód opadowych odgrywa mniejsze znaczenie na jakość wód rzecznych. Odmienne sytuacja występowała w ciekach górskich (Wieniec, Bystrzanka i Wrzosówka), gdzie udział wód opadowych w wodach rzecznych wynosił nawet 50%. W tych zlewniach migracja wody opadowej do koryta rzeczno jest szybka i krótka. Jakość wód opadowych w zlewniach wyżynnych i górskich może wpływać na jakość wody w rzekach. W zlewniach górskich reakcja opad-odpływ jest szybsza i bardziej wyraźna niż w zlewniach nizinnych.

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

Na niski współczynnik odpływu wody w 2016 roku w badanych ciekach wpłynął proces uzupełniania zasobów wód podziemnych (retencja) po ubiegłym suchym roku. Na przykład w Kanale Olszowieckim przez większość roku woda w korycie nie płynęła, co świadczy o ograniczonej więzi i braku kontaktu hydrologicznego systemu rzecznoego ze strefą alimentacji.

Wskaźnik odpływu jednostkowego

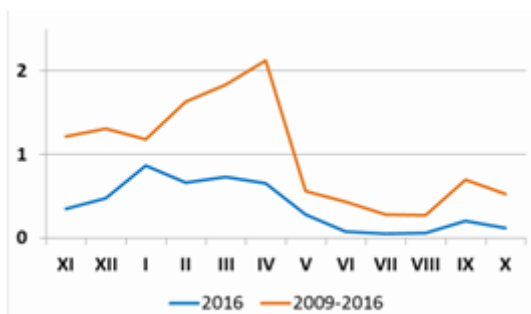
Odpływ jednostkowy q jest miarą odpływu ze zlewni, opisującą odpływ wody w jednostce czasu z jednostki powierzchni zlewni i wyrażaną w $\text{dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$. Obliczenia odpływu jednostkowego dokonuje się z uwzględnieniem średniego przepływu w danym okresie (doba, miesiąc, rok) na podstawie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

W badanych zlewniach ZMŚP w 2016 roku średni miesięczny wskaźnik odpływu jednostkowego przyjmował wartości od 0,14 w Kampinosie do wartości 20,89 w Karkonoszach (tab. 14, ryc. 14). Bardzo niski odpływ jednostkowy w Kanale Olszowieckim, Różanym Strumieniu i Strudze Toruńskiej świadczy o ograniczonym kontakcie hydrologicznym tych systemów rzecznych z zasilającymi je wodami podziemnymi a wręcz o możliwości drenażu wód rzecznych wskutek obniżonego poziomu wód podziemnych oraz o zaburzeniu reżimu rzecznoego przez działalność człowieka. Potwierdzeniem tego faktu był brak odpływu rzecznoego ponad 9 miesięcy w Kanale Olszowieckim. Ponadto w większości zlewni (oprócz zlewni górskich) niski odpływ jednostkowy związany był z uzupełnianiem zasobów wód podziemnych po poprzednim suchym 2015 rokiem.

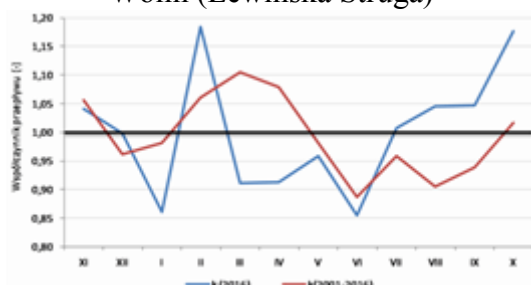
Współczynnik miesięcznego przepływu

Podstawą oceny ustroju rzecznoego 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 5. letnim 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):

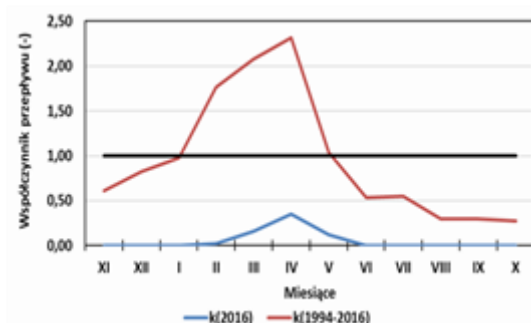
$k = SQ_{mi} / SQ_r$, gdzie: SQ_{mi} – średni przepływ j-tego miesiąca w wieloleciu, SQ_r – średni przepływ roczny w wieloleciu, n – liczba lat w wieloleciu. Wartość współczynnika przekraczająca 1 oznacza miesiąc z występującymi wezbrzeniami i przepływami powyżej wartości średniej rocznej. Wartość poniżej 1 oznacza miesiąc występowania przepływów niższych od średniej.



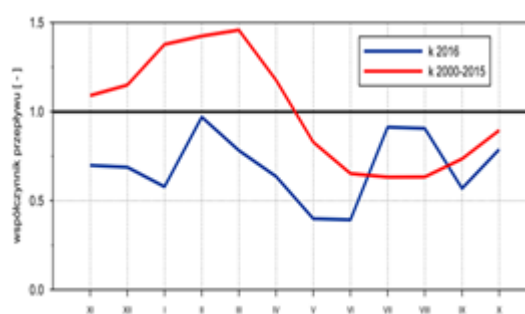
Wolin (Lewińska Struga)



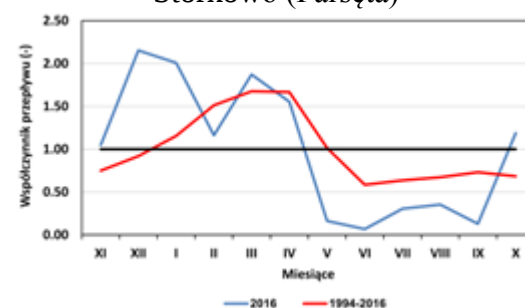
Wigry (Czarna Hańcza)



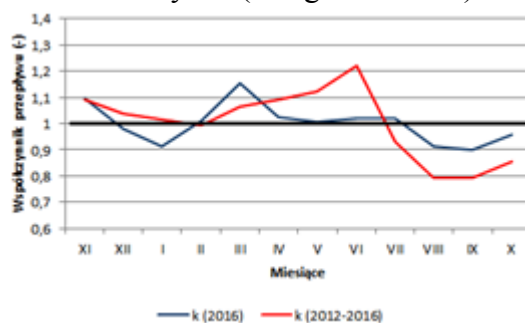
Kampinos (Kanał Olszowiecki)



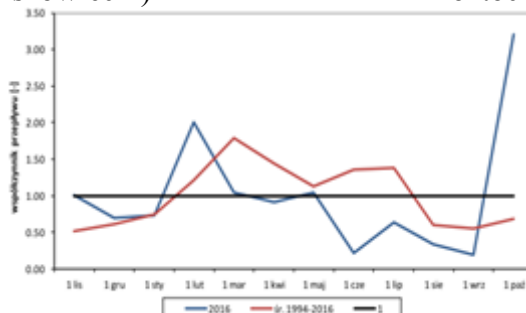
Storkowo (Parsęta)



Koniczynka (Struga Toruńska)



Rostocze (Świerszcz)



Szymbark (Bystrzanka)

Ryc. 7. Zmienność czasowa współczynników miesięcznych przepływu w roku hydrologicznym 2016 na tle zmienności czasowej wartości współczynników miesięcznych przepływu z wielolecia

Współczynnik miesięcznych przepływów w 2016 roku hydrologicznym odbiegał od współczynnika przepływów dla wartości średnich z wielolecia i był bardzo zróżnicowany w poszczególnych zlewniach (ryc. 7). Niskie opady w roku 2015 spowodowały deficyt wody w zlewniach i ograniczanie zasobów wód podziemnych mających kontakt hydrauliczny z systemem fluwialnym. W 2015 roku odpływy ze wszystkich zlewni ZMŚP w całym roku były wyjątkowo niskie, poniżej wartości średnich. Dlatego relatywnie wyższe opady w 2016 roku nie przełożyły się na wyraźne zwiększenie odpływu rzecznoego, ale na uzupełnienie zasobów wód podziemnych. Przez większość miesięcy 2016 roku przepływ w ciekach był niższy od wartości średnich z wielolecia. Jedynie sporadycznie występowały wyższe przepływy miesięczne (krótkotrwałe wezbrania) i były to przypadki o niewielkim zasięgu przestrzennym i niewielkiej dynamice fluwialnej, np., lipiec i sierpień w Parsęcie, październik w Bystrzance (ryc. 7). Relatywnie najmniej sprzyjająca sytuacja do zwiększonego odpływu rzecznoego występowała w Lewińskiej Strudze (Wolin) i Kanale Olszowieckim (Kampinos), gdzie przez cały rok współczynnik miesięcznego przepływu był niższy niż wartość średnia z wielolecia. Sezonem o wyższym współczynniku odpływu były okres jesienny i występował on głównie w Czarnej Hańczy (Wigry), Świerszczu (Roztocze) i Bystrzance (Szymbark), (ryc. 7).

5.4. Skrócony bilans wodny

Jednym ze sposobów opracowania 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 określane 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 wykorzystano wielkości średnie: P - średnia roczna wysokość opadu obszarowego z 2016 roku [mm], H - średnia roczna wielkość odpływu powierzchniowego z 2016 roku [mm], S - średnia roczna wysokość strat bilansowych (parowanie, odpływ podziemny i zmiany retencji), tzw. deficyt odpływu [mm].

Tab. 15. Miesięczne wysokości warstwy opadu i odpływu [mm] oraz skróconego bilansu wodnego [mm] w 2016 roku hydrologicznym w zlewniach ZMŚP

Stacja (zlewnia)	P Opad atmosferyczny	H _{pow} Odpływ powierzchniowy	S Deficyt odpływu
	mm		
Wolin (Lewińska Struga)	529,0	75,3	453,7
Storkowo (Paręta)	794,5	191,8	602,7
Wigry (Czarna Hańcza)	684,5	148,3	536,2
Koniczynka (Struga Toruńska)	541,5	10,2	531,3
Różany Strumień (Różany Strumień)	652,5	26,1	626,4
Kampinos (Kanał Olszowiecki)	580,5	4,2	576,3
Święty Krzyż (Wieniec)	720,7	17,6	703,1
Roztocze (Świerszcz)	736,8	60,8	676,0
Szymbark (Bystrzanka)	958,7	346,5	612,2
Karkonosze (Wrzosówka)	1049,3	540,0	509,3

Analiza uproszczonego bilansu wodnego w 2016 roku wykazała względnie korzystną sytuację hydrometeorologiczną w całej Polsce. Stwierdzono jednakże różnice przestrzenne pomiędzy zlewniami. Największy deficyt odpływu wody występował w regionie wyżynnym, w Stacjach Święty Krzyż 703,1 mm i Roztocze 676,0 mm. W tych geoekosystemach warunki do retencji wody były najbardziej sprzyjające wśród wszystkich badanych zlewni. Zdecydowana większość wody opadowej była zatrzymywana w zlewni a nie odpływała z niej systemem fluwialnym. Wysoki deficyt wody stacji podmiejskiej Różany Strumień 626,4 mm był wynikiem znikomego odpływu wody w badanym cieku. Zlewnia Różanego Strumienia jest przykładem obszaru poddawanego procesowi silnej antropopresji. Postępujący proces przeobrażania zlewni w obszar o cechach typowych dla obszarów zurbanizowanych polega z jednej strony na wkraczaniu na jej teren budownictwa mieszkaniowego i związanej z nim infrastruktury komunalnej, drogowej. Takie przeobrażenia powodują zwiększone parowanie terenowe i ograniczenie infiltracji wody opadowej do wód podziemnych i dalej do systemu korytowego. Ponadto w tej zlewni podmiejskiej zmianie ulegają stosunki wodne poprzez budowę nasypu kolejowego przecinającego jej obszar. Natomiast względnie najmniej korzystna sytuacja w badanych geoekosystemach w 2016 roku pod względem ilości zatrzymanej wody występowała w strefie Niżu Polskiego, zwłaszcza na Wolinie 453,7 mm, Koniczynie i Wigrach (~530 mm). Znaczna ilość dostarczanej wraz z opadami tracona była na parowanie terenowe. W wyniku występowania ciepłego roku straty na parowanie terenowe

mogły wynosić około 380-400 mm rocznie (Awłasiewicz 1953). Generalnie we wszystkich badanych zlewniach w 2016 roku były odpowiednie warunki do odbudowy zasobów wodnych. Wystąpiła korzystna sytuacja do retencji wodnej w badanych geoekosystemach, co miało swoje odzwierciedlenie w dobrej jakości wód krążących w zlewniach i względnie sprzyjających warunków życiowych dla roślin i zwierząt.

6. GEOINDYKATORY JAKOŚCIOWE OBIEGU WODY W ZLEWNIACH ZMŚP

Przedstawione poniżej geowskaźniki zostały zaproponowane przez Szpikowskiego (2012) oraz zostały uwzględnione m. in w ostatnim raporcie. za 2015 rok (Tylkowski 2016).

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

W opracowaniu opisano geowskaźniki 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.

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.

6.1. Opady atmosferyczne

Klasyfikacja pH/SEC opadów atmosferycznych

Wskaźnik ten został określony na podstawie tzw. klasyfikacji austriackiej jakości opadów atmosferycznych (Jansen i in. 1988). Ze względu na jego dużą przydatność do oceny odczynu i przewodności elektrolitycznej opadów atmosferycznych został wprowadzony do obligatoryjnego stosowania w sprawozdaniach Stacji Bazowych ZMŚP. Klasyfikacja pH/SEC ukazuje czasowe zróżnicowanie jakości wód opadowych (trendy i tendencje) w zróżnicowanych geoekosystemach Polski. W zakresie przewodności elektrolitycznej wskaźnik jest podzielony na 6 klas jakościowych (tab. 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 2016 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
SEC $\leq$ 1,5	nieznaczna
1,5 < SEC $\leq$ 3,0	lekko podwyższona
3,0 < SEC $\leq$ 4,5	znacznie podwyższona
4,5 < SEC $\leq$ 6,0	mocno podwyższona
6,0 < SEC $\leq$ 10,0	silnie podwyższona
SEC > 10,0	bardzo silnie podwyższona

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

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

Wskaźnik klasyfikacji SEC opadów atmosferycznych w 2016 roku hydrologicznym w zakresie średniej ważonej przewodności elektrolitycznej (ryc. 8) charakteryzował się następującymi właściwościami:

- przewodność nieznaczna – stwierdzono w 3 Stacjach: Puszcza Borecka, Wigry i Karkonosze,
- przewodność lekko podwyższona – stwierdzono w 7 Stacjach: Wolin, Storkowo, Konieczynka, Różany Strumień, Kampinos, Roztocze i Szymbark,
- przewodność znacznie podwyższona - stwierdzono w 1 Stacji: Święty Krzyż.

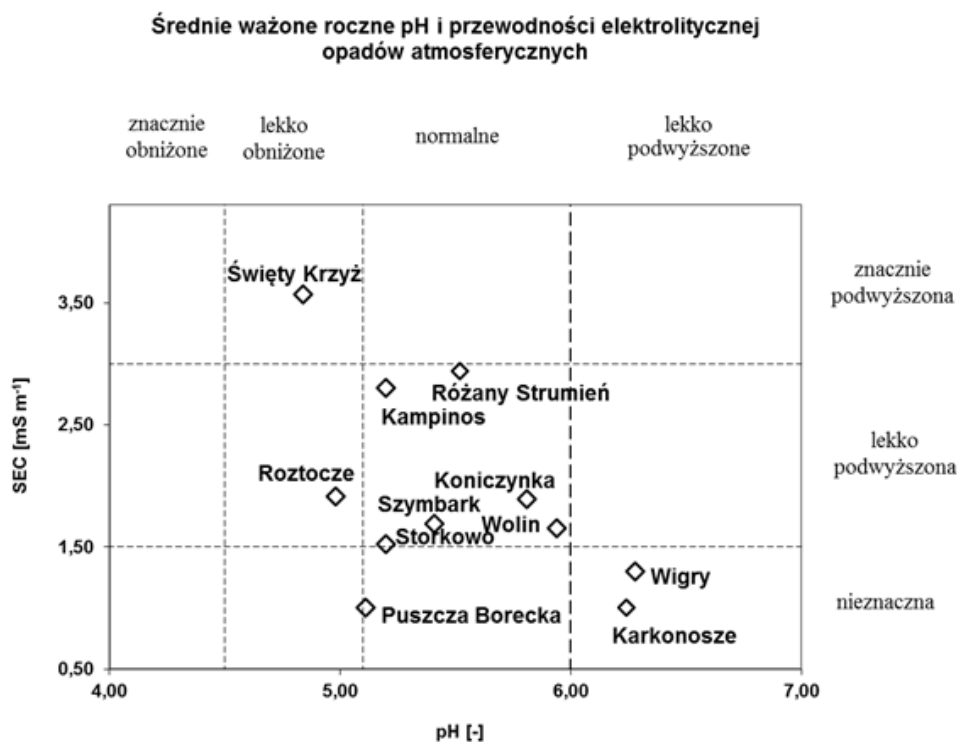
Jakość opadów atmosferycznych w 2016 roku pod względem wskaźnika SEC w porównaniu z ubiegłym rokiem uległa znaczącej poprawie, gdyż tylko w 1 zlewni

stwierdzono przewodność znacznie podwyższoną (Święty Krzyż) – w 2015 roku wysoką mineralizację miały opady w 4 zlewniach (Święty Krzyż, Szymbark, Kampinos i Wigry). Na żadnej ze Stacji klasa mineralizacji opadów w 2016 roku nie była gorsza niż w roku ubiegłym. Na 3 Stacjach (Kampinos, Szymbarka a zwłaszcza Wigry) klasyfikacja SEC opadów uległa poprawie w odniesieniu do 2015 roku (ryc. 9).

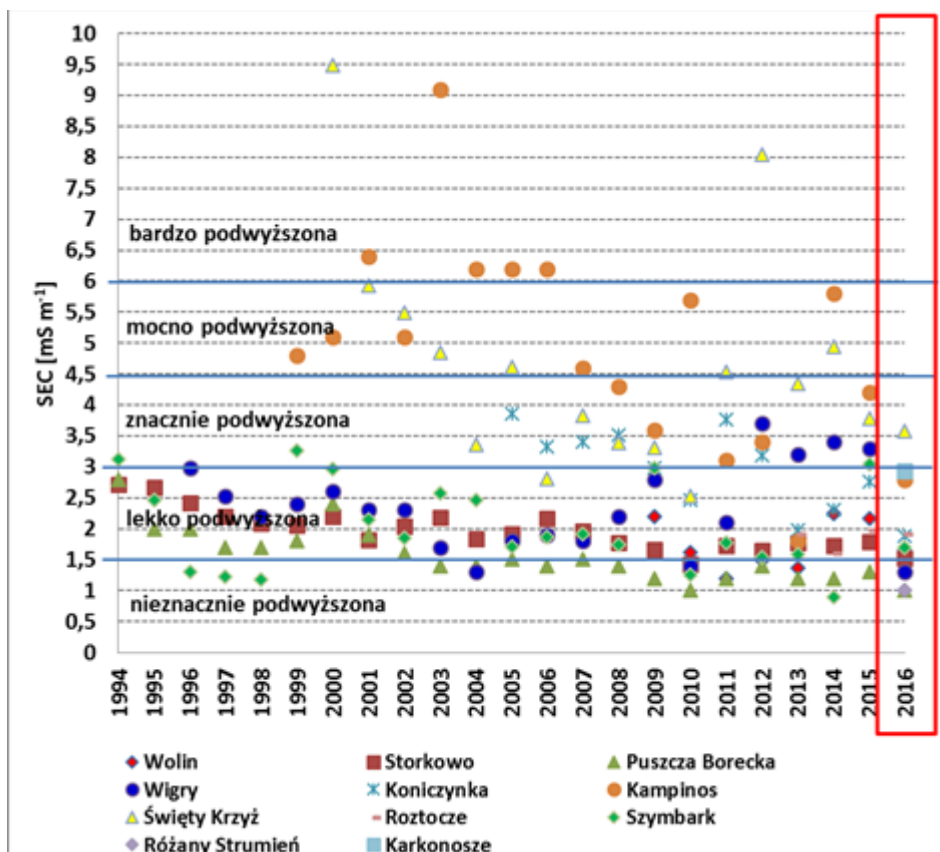
Klasyfikacja odczynu opadów atmosferycznych w 2016 roku hydrologicznym (ryc. 8) charakteryzowała się następującymi właściwościami:

- pH lekko obniżone – stwierdzono w 2 Stacjach: Święty Krzyż i Roztocze,
- pH normalne – stwierdzono w 7 Stacjach: Wolin, Storkowo, Puszcza Borecka, Koniczynka, Różany Strumień, Kampinos i Szymbark,
- pH lekko podwyższone – stwierdzono w 2 Stacjach: Wigry i Karkonosze.

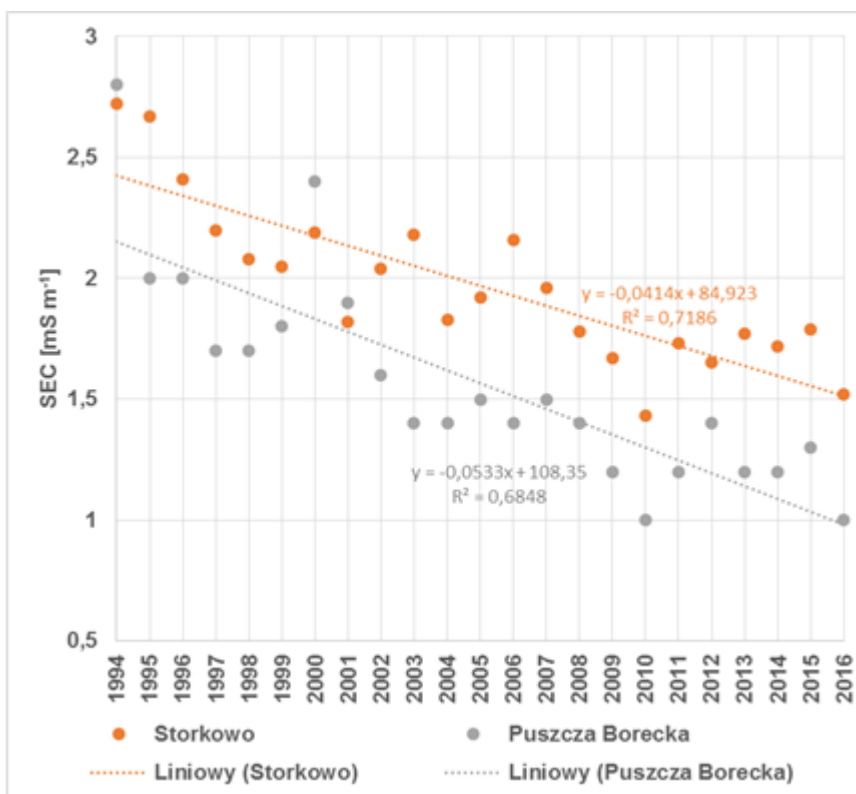
Odczyn opadów atmosferycznych w 2016 roku w porównaniu z poprzednim rokiem pozostał na zbliżonym poziomie (ryc. 11). W 7 Stacjach opady zaliczono do klasy normalnej a w 4 odczyn opadów atmosferycznych zakwalifikowano do klas przyległych: lekko obniżonej i lekko podwyższonej.



Ryc. 8. Klasyfikacja pH i SEC opadów atmosferycznych w Stacja Bazowych ZMŚP w 2016 roku

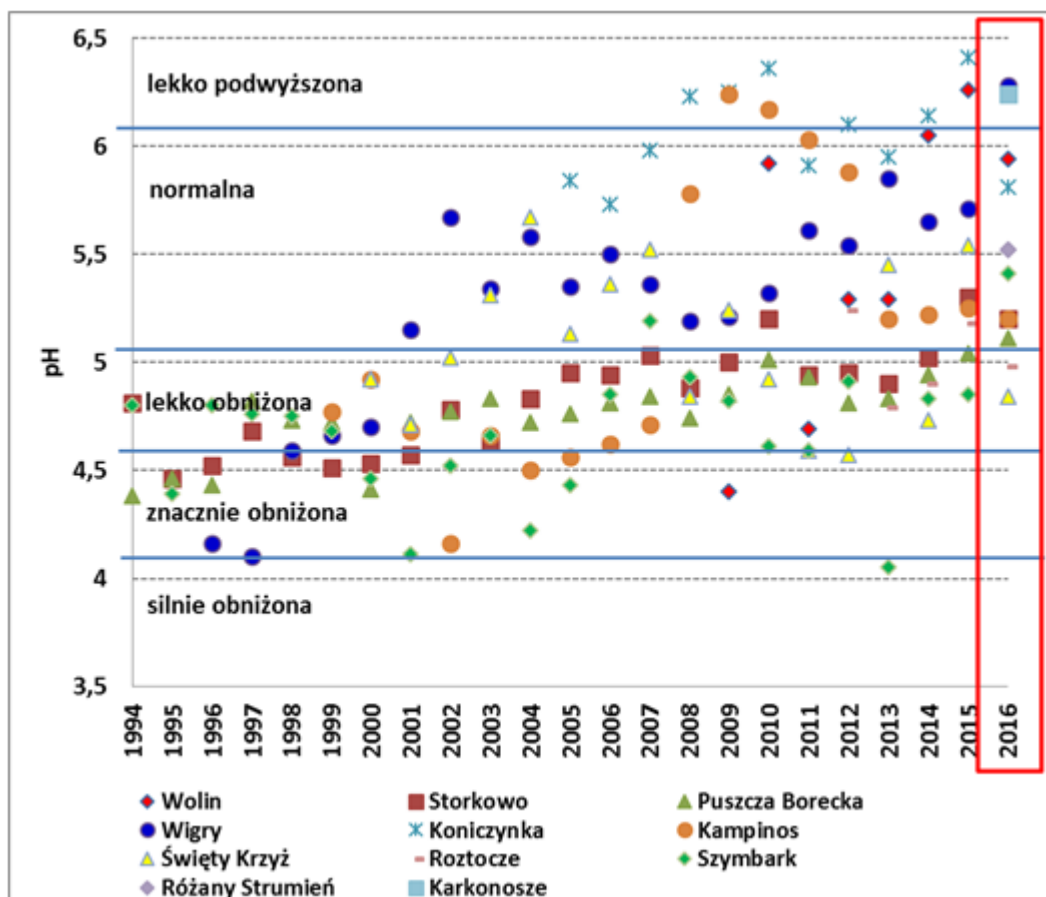


Ryc. 9. Zmienność czasowa SEC opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2016 roku hydrologicznym na tle wielolecia



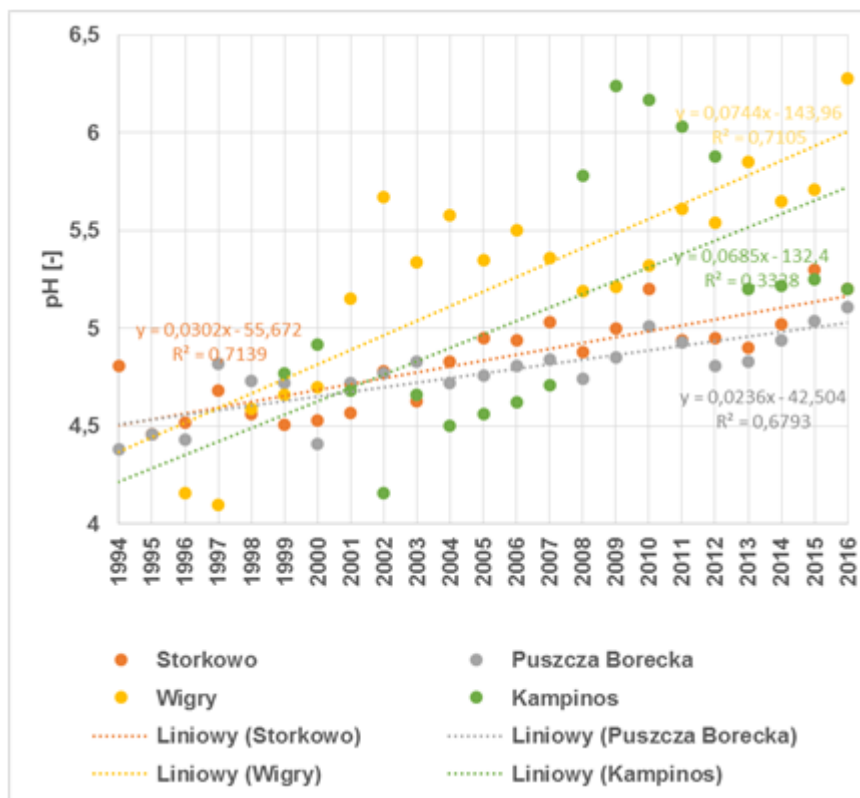
Ryc. 10. Istotne statystycznie trendy spadku SEC w opadach atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP – Storkowo, Puszcza Borecka

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 ($p < 0,05$, test Mann-Kendalla) odnotowano jedynie dla Stacji posiadających bardzo długie serie pomiarowe (1994-2016), tj. dla Storkowa i Puszczy Boreckiej. Trend 10. letni spadku SEC wynosi 0,52 mS/m w Puszczy Boreckiej i 0,39 mS/m w Storkowie (ryc. 10).



Ryc. 11. Zmienność czasowa kwasowości opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2016 roku hydrologicznym na tle wielolecia

Zmienność czasowa odczynu wód opadowych wykazuje korzystną tendencję do zmniejszania zakwaszania opadów - wzrostu wartości pH w Stacjach Bazowych ZMŚP. Istotny statystycznie trend poprawy jakości odczynu opadów ($p < 0,05$, test Mann-Kendalla) odnotowano dla Stacji Bazowej: Storkowo, Puszcza Borecka, Wigry i Kampinos. Trend 10. letni spadku kwasowości wynosi 0,65 pH dla Wigier, 0,48 dla Kampinosu, 0,30 pH dla Storkowa i 0,23 pH dla Puszczy Boreckiej (ryc. 12).



Ryc. 12. Istotne statystycznie trendy spadku odczynu opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP – Storkowo, Puszcza Borecka, Szymbark i Wigry

Cechą charakterystyczną zmienności odczynu opadów w Polsce w ostatnich dwóch dekadach był znaczny spadek kwasowości opadów atmosferycznych. W Stacjach Storkowo, Puszcza Borecka i Wigry odczyn opadów z poziomu charakterystycznego dla wód znacznie zakwaszonych utrzymywał się do lat dziewięćdziesiątych XX w. (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 Stacji w Stacji Święty Krzyż i Szymbark (ryc. 11, ryc. 12).

Należy podkreślić, że w 2016 roku jakość atmosferycznej dostawy wody do badanych zlewni była bardzo dobra. W 2016 roku opady miały raczej niską mineralizację i wysoki odczyn. Mała koncentracja substancji rozpuszczonych i niska kwasowość opadów w 2016 roku w Polsce wynikała z wydajnych opadów oraz świadczy o względnie niskiej antropopresji i małej dostawy 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}].

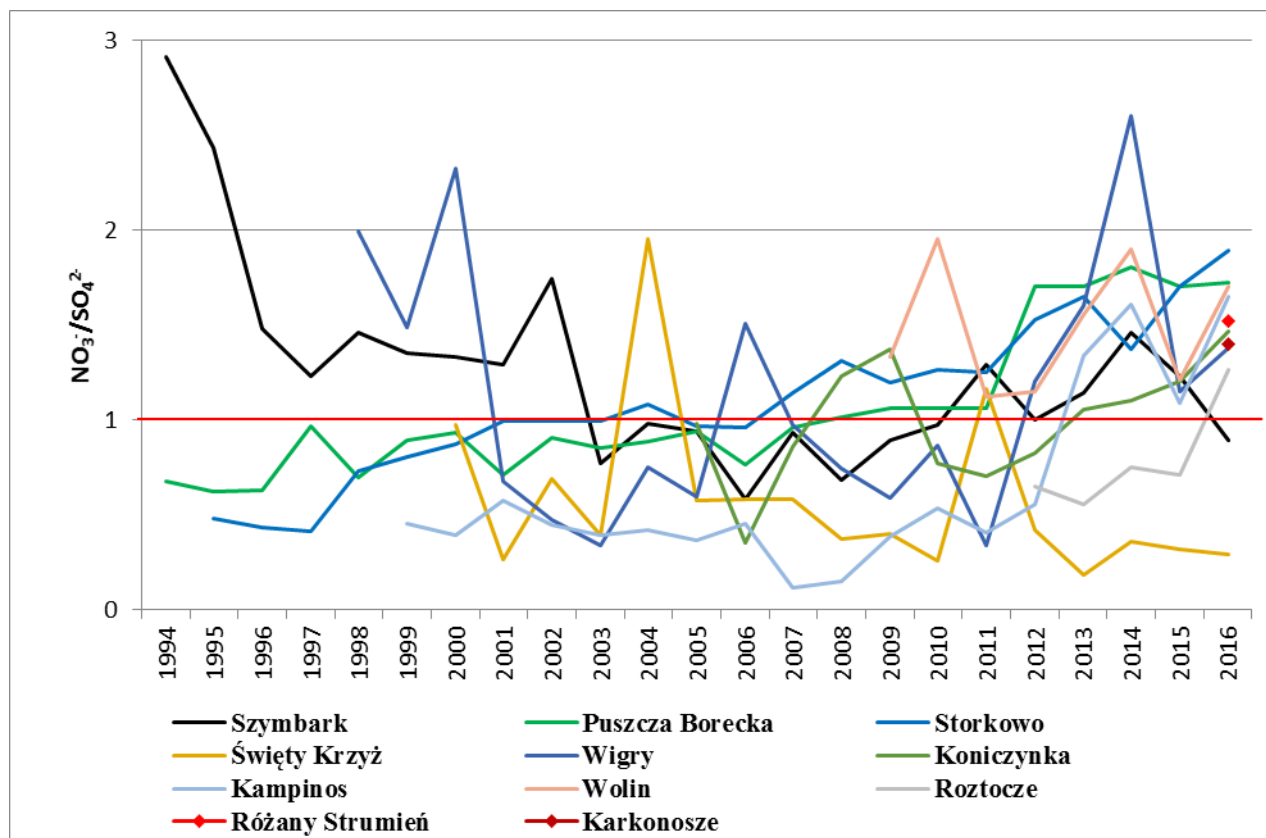
Zmiany zachodzące w chemizmie wód opadowych, podziemnych i powierzchniowych upoważniają do wykorzystywania tego wskaźnika kwasogenności ujmującego relację stężenia jonów azotanowych do jonów siarczanowych. Obecność tych jonów może wskazywać na zmiany zachodzące m.in. w jakości powietrza atmosferycznego oraz opadów, co wywiera wpływ na jakość kolejnych etapów obiegu wody – 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 1994-2016 (ryc. 13):

- przewagę NO_3 nad SO_2 w zakwaszaniu opadów w Storkowie w ostatniej dekadzie a w Puszczy Boreckiej w ostatnich 9 latach,
- oscylacyjne wahania zakwaszania opadów w Szymbarku. W okresie 2003-2010 za zakwaszanie opadów decydowały siarczany a w okresie 1994-2002 i od 2011 do 2015 roku na zakwaszanie opadów wpływały azotany. W 2016 roku ponownie zakwaszanie opadów generowały głównie siarczany.
- większy w 2016 roku udział NO_3 w zakwaszaniu opadów niż SO_2 w Stacjach: Wolin, Storkowo, Puszcza Borecka, Wigry, Koniczynka, Kampinos, Różany Strumień, Roztocze i Karkonosze,
- większy w 2016 roku udział SO_2 niż NO_3 w zakwaszaniu opadów w Stacjach: Święty Krzyż i Szymbark.

Zmienność wieloletnia 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 oraz udziału tych jonów w mineralizacji wód opadowych. 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 Niziny Polskiej (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 - Stacja Roztocze, Święty Krzyż i strefa gór średnich - Stacja Szymbark i Karkonosze).

Przestrzenne zróżnicowanie stężenia chlorków i sodu w wodach opadowych w 2016 roku przedstawiono 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 2016 roku

Stacja	Strefa krajobrazowa - ekologiczna	S-SO ₄	N-NO ₃	N-NH ₄	Cl	Na	K	Mg	Ca
		mg dm ⁻³							
Wolin	nadmorska	0,31	0,36	0,75	0,95	0,85	0,25	0,14	0,52
Storkowo	pojezierzy	0,24	0,31	0,47	0,46	0,35	0,09	0,07	0,51
Puszcza Borecka		0,29	0,34	0,39	0,50	0,18	0,05	0,04	0,17
Wigry		0,34	0,32	0,46	0,69	0,19	0,42	0,04	0,23
Koniczynka		0,55	0,55	1,00	0,71	0,38	0,20	0,24	0,97
Różany Strumień		0,59	0,61	0,33	1,00	0,61	0,58	0,13	1,04
Kampinos	nizin	0,65	0,73	0,82	0,56	0,23	0,31	0,11	0,52
Święty Krzyż	wyżyn	2,14	0,42	0,87	2,08	1,02	1,57	0,68	2,79
Roztocze		0,71	0,61	0,54	0,76	0,38	0,32	0,04	1,61
Szymbark	gór średnich	0,87	0,53	0,44	0,62	0,40	0,25	0,15	1,51
Karkonosze		0,21	0,20	0,27	0,23	0,10	0,08	0,06	0,25

W 2016 roku rozkład przestrzenny stężenia jonów pochodzenia morskiego w Polsce generalnie wykazywał pozytywną prawidłowość spadku koncentracji jonów Cl⁻ i Na⁺ wraz z oddalaniem się od wybrzeża Bałtyku. W strefie nadmorskiej średnie ważone stężenie jonów chlorkowych i sodowych było najwyższe (odpowiednio 0,95 i 0,85 mg dm⁻³). W miarę oddalania się od strefy nadmorskiej stężenie tych jonów malało i wynosiło: strefa pojezierzy Cl 0,67 i Na 0,34 mg dm⁻³, strefa nizin Cl 0,56 i Na 0,23 mg dm⁻³, strefa wyżyn Cl 1,42 i Na 0,70 mg dm⁻³ i strefa gór średnich Cl 0,43 i Na 0,25 mg dm⁻³. Zbyt wysokie stężenia jonów chlorkowych i sodowych stwierdzono w opadach w strefie wyżyn (Święty Krzyż i Roztocze), co świadczyć może o antropogenicznym zanieczyszczeniu opadów atmosferycznych (tab. 18).

W zachodnim transekcje południkowym stwierdzono wyraźny spadek stężenia jonów sodowych i chlorkowych, od pasa nadmorskiego (Wolin Cl 0,95 mg dm⁻³ Na 0,85 mg dm⁻³), poprzez pas pojezierzy (Storkowo Cl 0,46 mg dm⁻³ Na 0,35 mg dm⁻³, Różany Strumień Cl

1,00 mg dm⁻³ Na 0,61 mg dm⁻³) do pasa gór średnich (Karkonosze Cl 0,23 mg dm⁻³ Na 0,10 mg dm⁻³). Normalna tendencja spadku stężenia jonów chlorkowych i sodowych w kierunku południowym została zakłócona w Różanym Strumieniu, gdzie opady atmosferyczne miały nawet wyższe stężenia Cl i Na niż nad wybrzeżem Bałtyku. Przyczyną takiej sytuacji było zanieczyszczenie opadów atmosferycznych w zlewni Różanego Strumienia wskutek oddziaływania aglomeracji Poznania.

We wschodnim transekcje południkowym tendencja spadku stężenia jonów chlorkowych i sodowych została zaburzona w pasie wyżyn (Święty Krzyż Cl 2,08 mg dm⁻³ Na 1,02 mg dm⁻³ i Roztocze Cl 0,76 mg dm⁻³ Na 0,38 mg dm⁻³) i gór średnich (Szymbark Cl 0,62 mg dm⁻³ Na 0,40 mg dm⁻³). W strefie nizin (Kampinos Cl 0,56 mg dm⁻³ Na 0,23 mg dm⁻³) i pojezierzy (Wigry Cl 0,69 mg dm⁻³ Na 0,19 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.

W transekcje równoleżnikowym, w strefie młodoglacjalnej Nizy Polskiego występował spadek stężenia sodu w opadach – od 0,85 mg dm⁻³ w Wolinie, 0,35 mg dm⁻³ w Storkowie do ~0,18 mg dm⁻³ w Puszczy Boreckiej i Wigrach. Dla chlorków spadek stężenia jest również zauważalny w miarę oddalania się od morza – od 0,95 mg dm⁻³ w Wolinie, 0,46 mg dm⁻³ w Storkowie do 0,50 mg dm⁻³ w Puszczy Boreckiej. Tylko w Wigrach stwierdzono względnie wysokie stężenie jonów chlorkowych 0,69 mg dm⁻³, co świadczyć może dostawie tych jonów wskutek działalności człowieka.

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 2015 roku wykazała pewne różnice przestrzenne (tab. 18). Na jakość opadów atmosferycznych największy 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 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), Roztocze (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, temperatura, tlen rozpuszczony, przewodność elektrolityczna),
- elementy nieorganiczne (azotany, jon amonowy, chlorki, fosforany, magnez, potas, siarczany, sól, wapń, wodorowęglany).

Tab. 19. Stan chemiczny wód podziemnych w zlewniach ZMŚP w 2016 roku wg wybranych elementów fizykochemicznych

Stacja ZMŚP	Odczyn	PEW	Ca	Na	Mg	K	PO4	HCO3	Cl	SO4	NO3	NH4	Stan chemiczny
	[pH]	[mS/m]	mg/l										
Wolin	I	I	II	I	I	I	IV	I	I	I	I	IV	Słaby
Storkowo	I	I	II	I	I	I	I	I	I	I	III	I	Dobry
Puszcza Borecka	I	II	III	I	I	I	I	III	I	I	I	I	Dobry
Wigry	I	I	II	I	I	I	-	II	I	I	I	I	Dobry
Koniczynka	III	I	I	I	I	I	I	II	I	I	I	IV	Słaby
Różany Strumień	I	II	III	I	I	I	I	II	II	II	I	I	Dobry
Kampinos	I	II	III	I	I	II	-	III	I	I	I	I	Dobry
Święty Krzyż	IV	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	II	Dobry
Roztocze	IV	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	Dobry
Szymbark	I	I	II	I	I	I	I	II	I	I	II	I	Dobry
Karkonosze	IV	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	Dobry

Klasy jakości: I bardzo dobra, II dobra, III umiarkowana, IV słaba, V zła

W 2016 roku wody podziemne w zdecydowanej większości zlewni ZMŚP posiadały dobry stan chemiczny (tab. 19). Jedynie w 2 zlewniach stan chemiczny wód podziemnych określono jako słaby. W zlewni Strugi Toruńskiej (Stacja Koniczynka) o słabym stanie chemicznym zadecydowały przekroczenia norm stężenia jonów amonowych, co prawdopodobnie związane było z infiltracją wody zanieczyszczonej dostawą nawozów

sztucznych – badana zlewnia jest zlewnią rolniczą. Natomiast o słabym stanie chemicznym wód podziemnych zlewni Jeziora Gardno (Stacja Wolin) zdecydowały wysokie stężenia jonów amonowych i fosforanowych. Prawdopodobnym źródłem zanieczyszczeń jest presja antropogeniczna związana z nieszczelnością systemu kanalizacyjnego w Grodnie. Stan chemiczny w 2016 roku był identyczny jak w roku poprzednim.

6.3. Wody powierzchniowe

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

W 2016 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 ciekach spowodowane m.in. działalnością bobrów. Działalność bobrów zakłócała także wprostproporcjonalną zależność odpływu rzeczno i 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 powierzchniowy ze zlewni stanowi podstawową drogę odprowadzania substancji rozpuszczonych. W odpływie rzeczno 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 2016 roku

Stacja (zlewnia)	Strefa krajobrazowa - ekologiczna	S-SO ₄	N-NO ₃	N-NH ₄	Cl	Na	K	Mg	Ca	HCO ₃	SEC	pH
		mg dm ⁻³									mS m ⁻¹	-
Wolin (Lewińska Struga)	nadmorska	6,32	0,35	0,28	12,76	10,70	2,31	5,94	50,98	159,36	33,79	8,25
Storkowo (Parsęta)	pojezierzy	12,54	1,39	0,20	7,42	6,20	2,12	6,22	81,85	225,79	41,90	8,08
Wigry (Czarna Hańcza)		8,90	1,50	0,20	25,50	24,80	5,10	14,00	79,70	287,60	51,60	8,10
Koniczyna (Struga Toruńska)		41,00	6,92	0,20	43,20	15,90	10,00	18,60	151,00	355,00	80,40	7,90
Różany Strumień (Różany Strumień)		29,36	2,12	0,02	82,08	40,77	4,92	13,85	136,30	342,66	94,55	7,91
Kampinos (Kanał Olszowiecki)	nizin	25,50	0,35	0,31	23,19	11,10	0,93	13,62	130,16	280,56	68,11	7,25
Święty Krzyż (Wieniec)	wyżyn	66,54	5,34	0,58	12,74	8,63	1,12	5,86	24,98	15,45	17,58	5,62
Roztocze (Świerszcz)		7,29	0,38	0,19	3,31	2,31	0,97	1,51	52,36	146,22	28,74	7,78
Szymbark (Bystrzanka)	górn	2,88	0,31	0,05	5,31	10,80	5,36	5,00	36,70	147,20	21,50	7,64
Karkonosze (Wrzosówka)		3,19	0,43	0,10	7,25	5,18	0,50	1,15	4,16	8,26	5,80	6,17

Analiza składu chemicznego wód rzecznych monitorowanych przez Stacje Bazowe w 2016 roku podobnie jak w poprzednich latach pozwala 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, która jest wskaźnikiem 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 zmineralizowanej wody deszczowej i śniegu. Przewodność elektrolityczna właściwa (SEC) w 2016 roku cechuje się dużym zróżnicowaniem przestrzennym (tab. 20). Mineralizacja wody w 2016 roku w większości cieków była niższa niż 2015 roku (kiedy wielokrotnie występowały susze meteorologiczne i niżówki w ciekach). Najwyższa przewodność elektrolityczna właściwa występowała w Różanym Strumieniu $94,55 \text{ mS m}^{-1}$ i Strudze Toruńskiej $80,40 \text{ mS m}^{-1}$, 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 $5,80 \text{ mS m}^{-1}$, Wieńcu w Górach Świętokrzyskich $17,58 \text{ mS m}^{-1}$ i Bystrzance w Beskidzie Niskim $21,50 \text{ mS m}^{-1}$. W strefie wyżynnej i górskiej odpływ wody ze zlewni jest szybszy i udział nisko mineralizowanych wód opadowych w systemie rzeczonym jest największy. W pozostałych monitorowanych ciekach nizinnych (np. Lewińska Struga, Parsęta, Czarna Hańcza) wartość SEC wynosiła od 30 do 70 mS m^{-1} (tab. 20). Zmienność przestrzenna wartości SEC w 2016 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 2016 roku cechował

się mniejszym zróżnicowaniem przestrzennym niż mineralizacja wody. Zdecydowana większość cieków miała odczyn obojętny ~8 pH. Jedynie ciek górskie (Wrzosówka, Święty Krzyż) posiadały odczyn bardziej kwaśny ~6 pH. Kwaśny odczyn w tych ciekach nie jest wynikiem zanieczyszczenia antropogenicznego, ale był efektem specyficznej budowy geologicznej i rozpuszczania kwaśnych skał np. granitowych. Monitorowane ciek odznaczają się dominacją w miarę stabilnego w ciągu roku zasilania podziemnego. Na jakość mineralizacji i odczynu wody nie wpłynęły nawet ekstremalne zdarzenia hydrologiczne związane z brakiem odpływu wody w Kanale Olszowieckim.

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 Podgórznej PLRW60003162889).

Realizacja programu ZMŚP wody powierzchniowe rzeki umożliwia dokonanie oceny wybranych elementów fizykochemicznych wody. Wartości graniczne fizykochemicznych elementów jakości wód odnoszą się do Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 21 lipca 2016 roku. W zlewniach ZMŚP w 2016 roku monitoring jakości wód płynących dotyczył następującego zakresu (tab. 21):

- grupa wskaźników charakteryzujących stan fizyczny, w tym warunki termiczne: temperatura wody, zawiesina

- grupa wskaźników charakteryzujących warunki tlenowe (warunki natlenienia) i zanieczyszczenia organiczne: tlen rozpuszczony,
- wskaźniki charakteryzujące zasolenie (przewodność, substancje rozpuszczone, 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 porównaniu z 2015 rokiem uległa pewnemu pogorszeniu. W 2016 roku dla 3 cieków górskich stwierdzono bardzo dobrą jakość wody (I klasa), (Bystrzanka, Wrzosówka i Wieniec). Dobłą jakością (II klasa) charakteryzowały się 3 cieki (górną Parsętą, Lewińska Struga i Świerszcz). Zakwalifikowanie wód Lewińskiej Strugi do klasy III-V nie wynikało z zanieczyszczeń antropogenicznych generujących słabe wskaźniki BZT₅ ale ze specyfiki krążenia wody w tym systemie rzeczno-jeziornym, gdzie ekstremalnie mały spadek koryta rzeczno powodował stagnację wody. Stan poniżej dobrego (III-V klasa) stwierdzono dla 3 cieków: Strugi Toruńskiej, Czarnej Hańczy, Kanał Olszowieckiego i Różanego Strumienia (tab. 20). Na obniżenie jakości wody do klasy poniżej dobrego stanu zadecydowały głównie podwyższone stężenia przewodności wody, stężenia chlorków, wapnia oraz biogenów.

Tab. 21. Jakość wód płynących w 2016 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	Ciek	Wolin (Lewińska Struga)	Storkowo (Parsęta)	Wigry (Czarna Hańcza)	Koniczynka (Struga Toruńska)	Różany Strumień (Różany Strumień)	Kampinos (Kanał Olszowiecki)	Święty Krzyż (Wieniec)	Roztocze (Świerszcz)	Szymbark (Bystrzanka)	Karkonosze (Wrzosówka)
Temperatura wody	°C	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Zawiesina	mg/l	I	II	I	I	I	I	-	II	-	I
Tlen	mgO ₂ /l	II	I	I	I	II	II	I	I	I	I
Pięciodniowe Biochemiczne zapotrzebowanie na tlen	mgO ₂ /l	III-V	II	I	I	I	II	-	I	I	I
Przewodność	[mS/ m]	I	I	III-V	I	III-V	I	I	I	I	I
Odczyn	[pH]	I	I	I	I	I	I	III-V	I	I	I
Siarczany	mg/l	I	I	II	I	I	I	I	I	I	I
Wapń		I	I	II	II	III-V	III-V	I	I	I	I
Magnez		I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Chlorki		I	I	III-V	I	III-V	I	I	I	I	I
Zasadowość ogólna		I	I	I	I	III-V	II	I	I	I	I
Azot azotanowy		I	I	II	III-V	I	I	I	I	I	I
Azot Amonowy		I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Fosfor ogólny		I	I	II	I	II	I	I	I	I	I

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 2016 roku pozwala na zakwalifikowanie jezior Gardno (Stacja Wolin) i Kamionkowskiego (Stacja Koniczynka) do bardzo dobrej klasy jakości wody a jezior Czarne (Stacja Storkowo) oraz Łękuk (Stacja Puszcza Borecka) do dobrej klasy jakości wody (tab. 22).

Tab. 22. Jakość wód stojących w 2016 roku wg wybranych elementów fizykochemicznych (Rozporządzenie Ministra Środowiska 2016, GIOŚ 2014)

Stacja Bazowa ZMŚP	Wolin	Storkowo	Koniczynka	Puszcza Borecka
Jezioro	Gardno	Czarne	Kamionkowskie	Łękuk
Tlen rozpuszczony [mg O ₂ /l]	I	I	I	I
Przewodność [mS/cm]	I	I	I	I
Fosfor ogólny [mg/l]	I	II	I	II

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 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 2016 roku, w żadnym z monitorowanych cieków nie stwierdzono przekroczenia progowej wartości stężenia fosforu ogólnego $0,25 \text{ mg dm}^{-3}$ (tab. 23). W przypadku azotu azotanowego stężenia dopuszczalne ($2,2 \text{ mg dm}^{-3}$) były przekroczone w Strudze Toruńskiej w profilu Koniczynka $6,92 \text{ mg dm}^{-3}$ oraz na Wieńcu (Góry Świętokrzyskie) $5,34 \text{ mg dm}^{-3}$. Przekroczenie wartości progowych stężenia związków azotu wynika z rolniczego użytkowania zlewni Strugi Toruńskiej i stosowania nawozów azotowych. W pozostałych ciekach zagrożenia eutrofizacji wód płynących nie stwierdzono.

Tab. 23. Wskaźniki eutrofizacji rzek w Stacjach ZMŚP w 2016 roku

Stacja - ciek	Pog. [mg dm^{-3}]	N- NO_3^- [mg dm^{-3}]	NO_3^- [mg dm^{-3}]
Wolin – Lewińska Struga	0,03	0,35	1,40
Storkowo - Parsęta	0,06	1,39	5,56
Wigry – Czarna Hańcza Ujście	0,09	1,50	6,00
Koniczynka – Struga Toruńska	0,21	6,92	27,68
Różany Strumień – Różany Strumień	0,04	2,12	8,48
Kampinos - Kanał Olszowiecki	0,18	0,35	1,40
Święty Krzyż – Wieniec	-	5,34	21,36
Roztocze – Świerszcz Malowany Most	0,11	0,38	1,52
Szymbark - Bystrzanka	0,07	0,31	1,24
Karkonosze - Wrzosówka	0,01	0,43	1,72

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 powyżej $0,1 \text{ mg dm}^{-3}$. Powyższa wartość progowa nie została przekroczona w żadnym z badanych jezior (tab. 24). W 2016 roku zagrożenia eutrofizacją badanych jezior nie stwierdzono.

Tab. 24. Wskaźniki eutrofizacji jezior w Stacjach ZMŚP w 2016 roku

Stacja - jezioro	Pog. [mg dm ⁻³]
Wolin – Jezioro Gardno	0,07
Storkowo – Jezioro Czarne	0,06
Puszcza Borecka – Jezioro Łęku	0,04
Koniczynka – Jezioro Kamionkowskie	0,03

6.4. Bilans jonów denudacyjnych i biogennych

Obieg materii rozpuszczonej w zlewni jest odzwierciedleniem naturalnych procesów geomorfologicznych (wietrzenie i denudacja chemiczna głównie „jonów denudacyjnych”, np. siarczany, chlorki, sól, magnez, wapń) oraz działalności antropogenicznej (dostawa zanieczyszczeń np. „jonów biogennych”: azotany, fosforany, potas).

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 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 w 2016 roku, który stanowi różnicę ładunku substancji rozpuszczonych wnoszonego z wodami opadowymi i odpływającego w wodach rzecznych (tab. 25). W bilansie denudacyjnym uwzględniono jony mierzone zarówno w wodach opadowych jak i rzecznych. Uwzględniono jony, których głównym źródłem jest denudacja chemiczna (SO₄, Cl, Na, Mg, Ca) oraz dostawa biogeniczna (NO₃, NH₄, K).

Analiza bilansu jonowego dla zlewni ZMŚP w ostatnich latach wykazała dodatni budżet dla jonów pochodzenia biogenicznego i dostarczanych przez działalność człowieka (np. poprzez nawożenie) – NO₃, NH₄ 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) 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. 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 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). 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 2016 roku sytuacja hydrometeorologiczna kształtująca bilans wodny i warunki obiegu wody i krążenia materii rozpuszczonej w zlewniach ZMŚP nawiązywała prawidłowości wieloletniej. Relatywnie niski odpływ rzeczny w niektórych zlewniach znacznie ograniczył ujemny bilans jonów denudacyjnych (Czarna Hańcza -2,0 kg/ha, Świerszcz -1,9 kg/ha). Natomiast ekstremalnie niski odpływ fluwialny w zlewniach Kanału Olszowieckiego i Wieńca spowodował anormalny, dodatni bilans jonów denudacyjnych, odpowiednio 9,7 i 9,4 kg/ha. W 2016 roku bilans jonów biogennych był dodatni w większości zlewni (np. Świerszcz 34,5 kg/ha, Kanał Olszowiecki 26,5 kg/ha, Lewińska Struga 10,4 kg/ha, Różany Strumień 11,5 kg/ha). Wysoki dodatni bilans jonów biogennych występował w zlewniach najbardziej zalesionych. Ujemny bilans nutrienów wystąpił w zlewni Bystrzanki - 9,0 kg/ha i Czarnej Hańczy -10,0 kg/ha. W tych zlewniach dostawa biogenów z opadami atmosferycznymi była niższa niż ich odpływ systemem rzeczny. Najniższe wartości

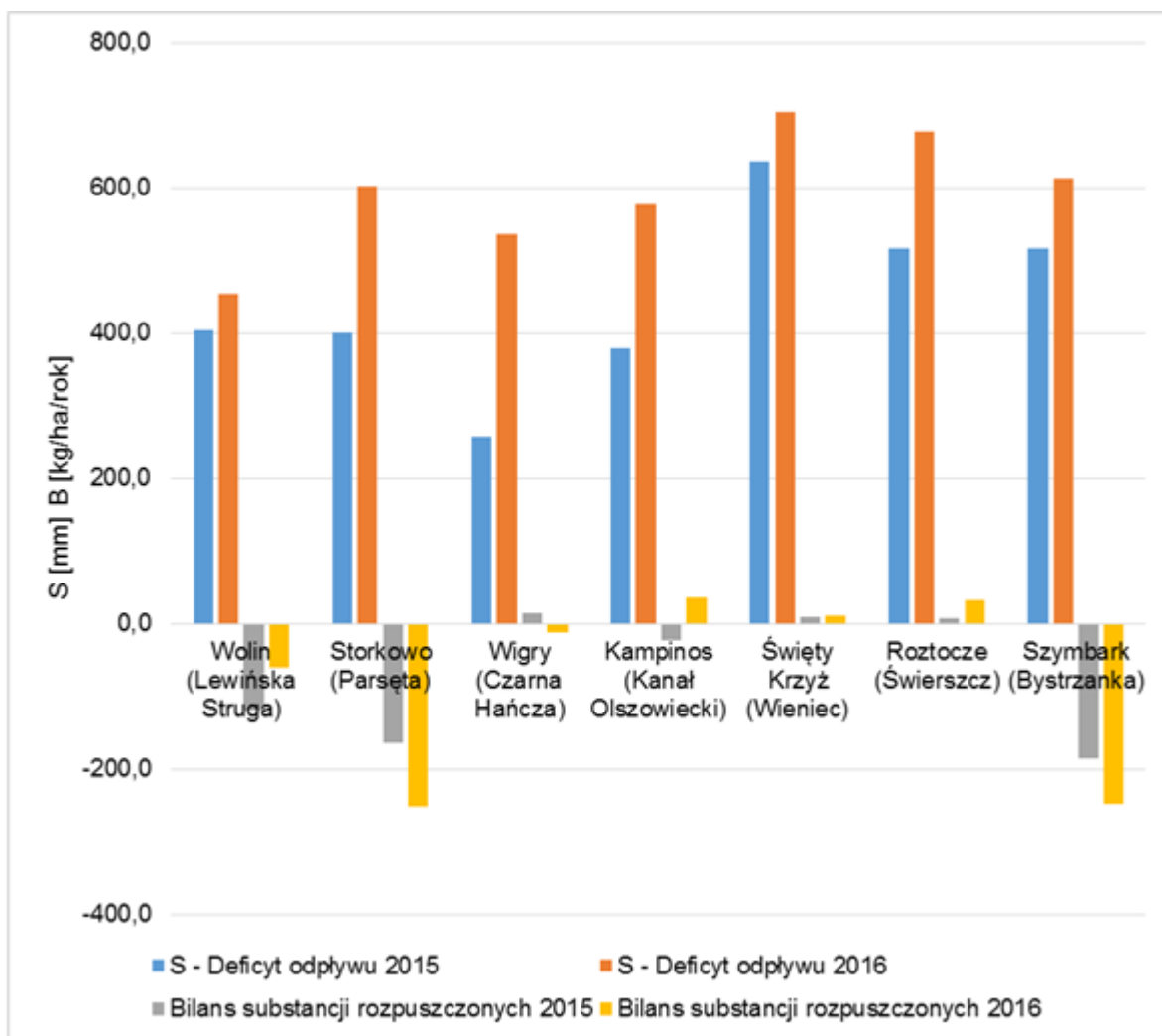
całkowitego bilansu materii rozpuszczonej (tab. 25) stwierdzono w Storkowie -251,3 kg/ha, Szymbarku -248,7 kg/ha i Różanym Strumieniu -163,8 kg/ha. W tych Stacjach obieg energii (wody) i materii (substancji rozpuszczonych) w 2016 był najmniej zaburzony w odniesieniu do prawidłowości wieloletniej. Odmienna, anormalna sytuacja wystąpiła w Kampinosie (35,2 kg/ha), Roztoczu (32,6 kg/ha) i Świętym Krzyżu (10,2 kg/ha) gdzie całkowity bilans obiegu materii był dodatni. Dodatni bilans materii rozpuszczonej tych zlewniach był skutkiem wyjątkowo niskiego odpływu rzeczno, gdyż większość wody opadowej nie dotarła do koryta rzeczno. Infiltrująca woda nie była drenowana do systemu korytowego, gdyż uzupełniała zasoby wód podziemnych, których zwierciadło obniżyło się po suchym 2015 roku.

Tab. 25. Bilans jonów denudacyjnych i biogenicznych w zlewniach badawczych ZMŚP w 2016 roku

Stacja (zlewnia)	Wolin (Lewińska Struga)	Storkowo (Parsęta)	Wigry (Czarna Hańcza)	Różany Strumień (Różany Strumień)	Kampinos (Kanal Olszowiecki)	Święty Krzyż (Wieniec)	Roztocze (Świerszcz)	Szymbark (Bystrzanka)	Karkonosze (Wrzosówka)
Składowe obiegu wody [mm]									
P- Opad atmosferyczny	529,0	794,5	684,5	652,5	580,5	720,7	736,8	958,7	1049,3
Hpow - Odpływ powierzchniowy	75,3	191,8	148,3	26,1	4,2	17,6	60,8	346,5	540,0
S - Deficyt odpływu	453,7	602,7	536,2	626,4	576,3	703,1	676,0	612,2	509,3
Bilans jonów denudacyjnych [kg ha⁻¹]									
SO ₄ ²⁻	-9,4	-66,6	-3,5	-41,0	8,0	2,8	7,2	-64,6	-44,7
Cl ⁻	-9,6	-10,6	-0,6	-39,1	2,3	1,7	5,3	-12,4	-32,9
Ca ²⁺	-38,6	-153,7	-2,8	-69,1	-2,5	3,0	-16,3	-113,1	3,2
Mg ²⁺	-4,5	-11,5	3,5	-6,9	0,1	0,7	-0,5	-16,0	-4,9
Na ⁺	-8,1	-9,1	1,3	-19,0	0,9	1,2	2,2	-33,7	-26,5
Bilans JD	-70,1	-251,4	-2,0	-175,3	8,7	9,4	-1,9	-239,7	-105,7
Bilans jonów biogenicznych [kg ha⁻¹]									
NO ₃ ⁻	7,3	-0,8	-5,7	10,4	18,6	0,2	25,4	1,9	3,5
NH ₄ ⁺	4,9	4,3	-4,0	0,1	6,1	0,1	6,6	5,3	4,7
K ⁺	-1,7	-3,4	-0,3	1,0	1,8	0,2	2,5	-16,2	-1,1
Bilans JB	10,4	0,1	-10,0	11,5	26,5	0,3	34,5	-9,0	7,1
Bilans materii rozpuszczonej [kg ha⁻¹]									
Bilans JD+JB	-59,7	-251,3	-12,0	-163,8	35,2	10,2	32,6	-248,7	-98,6

Analiza deficytu odpływu i bilansu denudacyjnego z ostatnich 2 lat ukazuje geoeosystemy „stabilne” i „niestabilne” w zakresie obiegu energii (woda) i materii (substancje rozpuszczone), (ryc. 14). Mała zmienność odpływu wody i bilansu denudacyjnego występowała w zlewniach Lewińskiej Strugi, Parsęty, Świerszcza, Wienca i Bystrzanki. W tych geoeosystemach pomimo różnych uwarunkowań meteorologicznych (rok 2015 suchy, rok 2016 normalny lub wilgotny) kierunek bilansu denudacyjnego był zachowany a różnice ilościowe nie były drastyczne. Najmniej stabilne geoeosystemy to zlewnie Czarnej Hańczy i

Kanału Olszowieckiego, gdzie różnice ilościowe były znaczne a kierunek bilansu denudacyjnego był zmienny (dodatni lub ujemny).



Ryc. 14 Deficyt odpływu wody i bilans substancji rozpuszczonych w zlewniach ZMŚP w latach 2015 i 2016

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.

7. WPLYW UWARUNKOWAŃ ABIOTYCZNYCH NA PRZYRODĘ OŻYWIONĄ W 2016 ROKU

Wpływ uwarunkowań abiotycznych (związanych ze zmiennością warunków pogodowych oraz właściwościami fizycznogeograficznymi badanych geoeekosystemów) na potencjalny stan przyrody ożywionej obejmuje charakterystykę m. in. występowania w 2016 roku termicznych pór roku i sezonu wegetacyjnego. Przedstawiono także syntetyczne wyniki realizacji programów ZMŚP: zanieczyszczenie powietrza, hydrobiologia rzek – makrofity i ocena hydromorfologiczna koryta rzecznej, struktura i dynamika szaty roślinnej, gatunki inwazyjne obcego pochodzenia – rośliny, zmiany użytkowania terenu.

Sezon wegetacyjny

Rok 2016 był wyjątkowo ciepły i raczej wilgotny, co skutkowało długim czasem trwania sezonu wegetacyjnego (tab. 26), sprzyjającym rozwojowi roślinności. Okres wegetacyjny trwał średnio 227 dni, od 196 dni w Karkonoszach do 295 dni na Wolinie. Natomiast czas trwania sezonu intensywnej wegetacji o średniej dobowej temperaturze powietrza $\geq 10^{\circ}\text{C}$ był w całej Polsce bardzo zbliżony, od 141 dni w Karkonoszach do 185 dni w Puszczy Boreckiej.

Tab. 26. Sezon wegetacyjny w zlewniach badawczych ZMŚP w 2016 roku

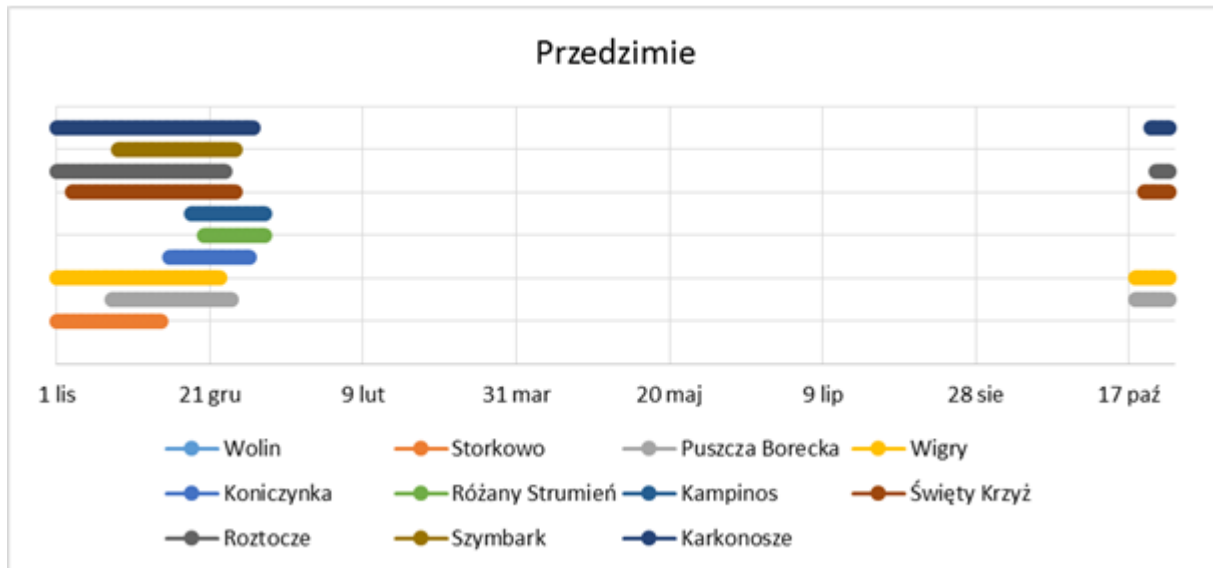
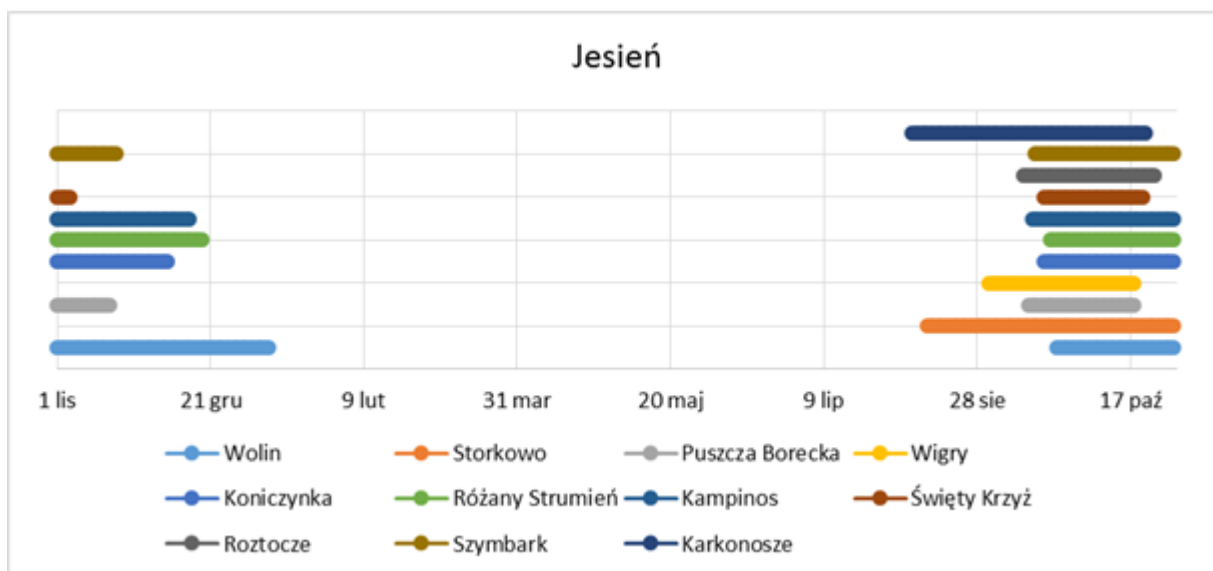
Stacja	Strefa krajobrazowa	Okres wegetacyjny	Okres intensywnej wegetacji
Wolin	nadmorska	295	162
Storkowo	pojezierzy	245	171
Puszcza Borecka		235	185
Wigry		199	152
Koniczynka		226	171
Różany Strumień		245	172
Kampinos	nizin	234	168
Święty Krzyż	wyżyn	207	153
Roztocze		216	164
Szymbark	gór średnich	231	172
Karkonosze		196	141

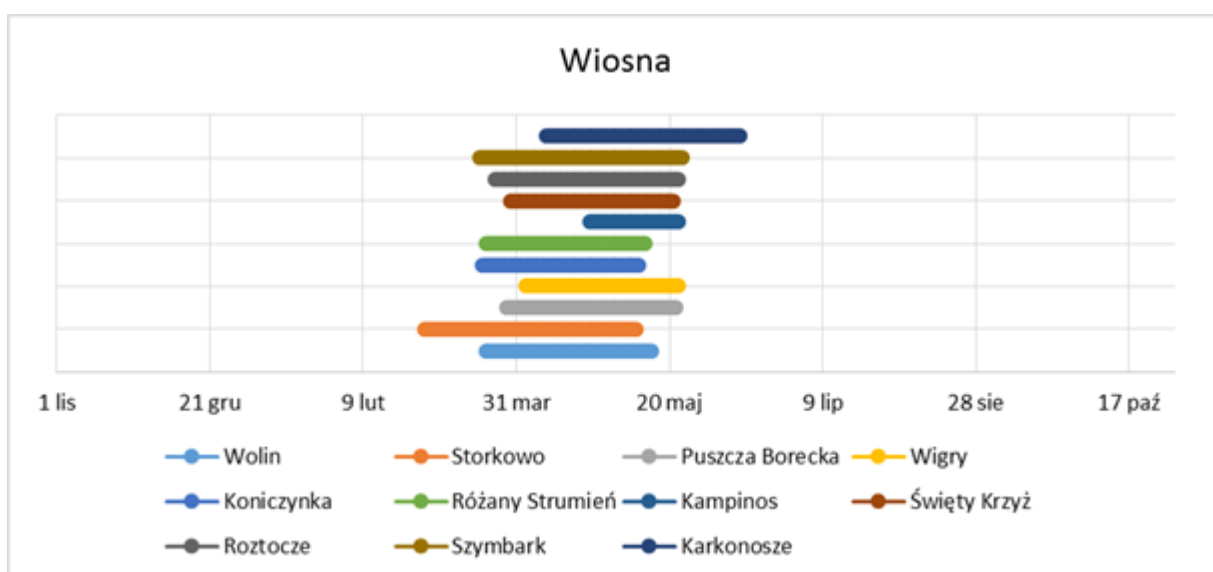
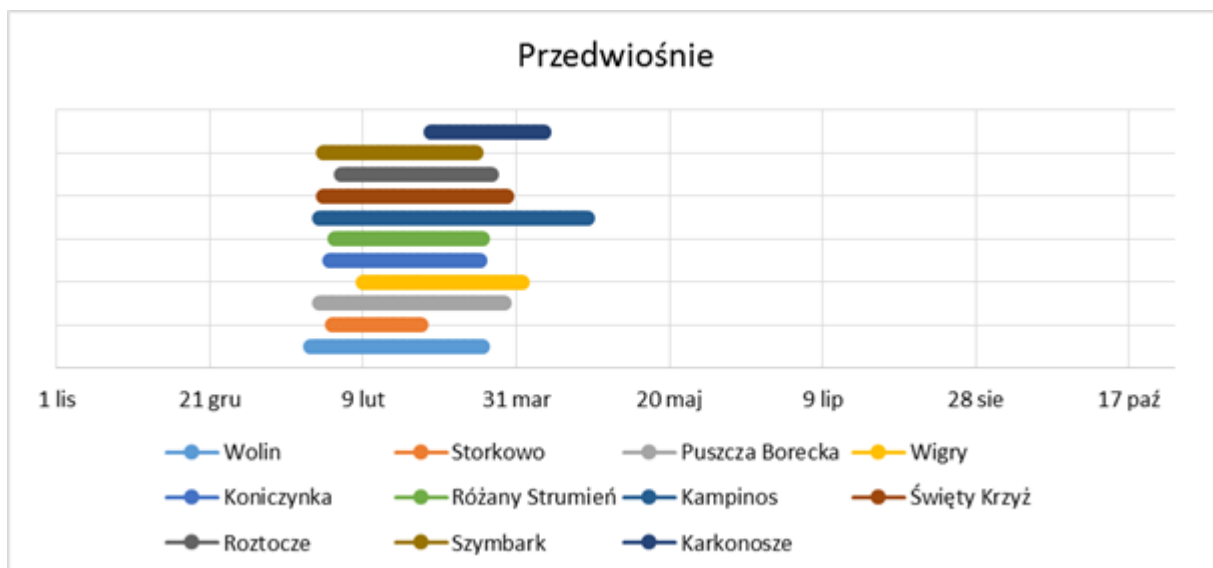
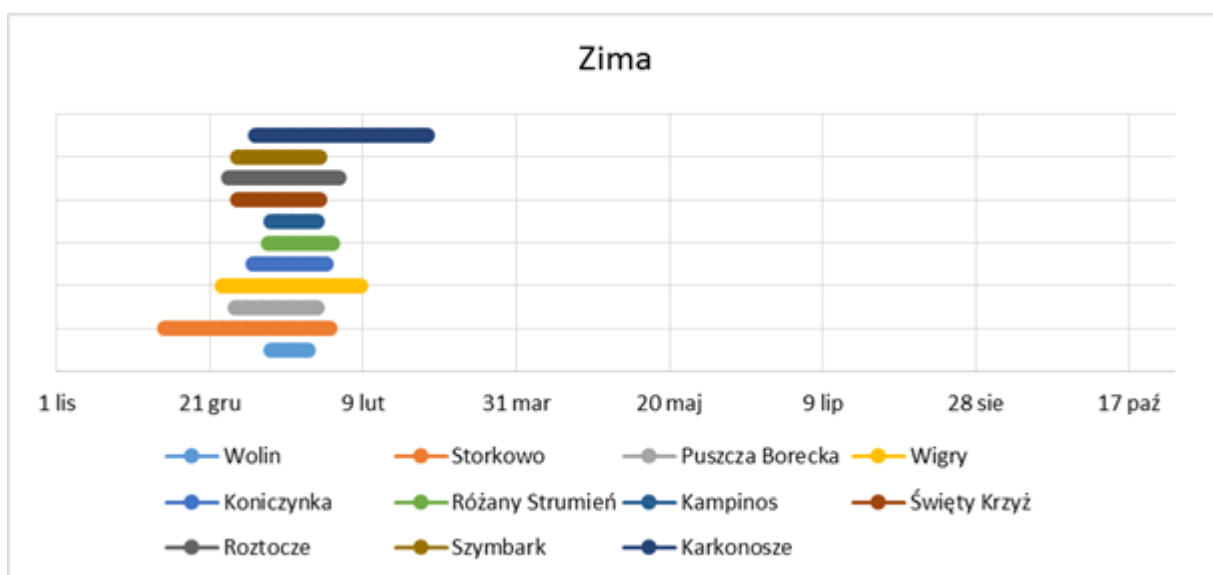
Termiczne pory roku

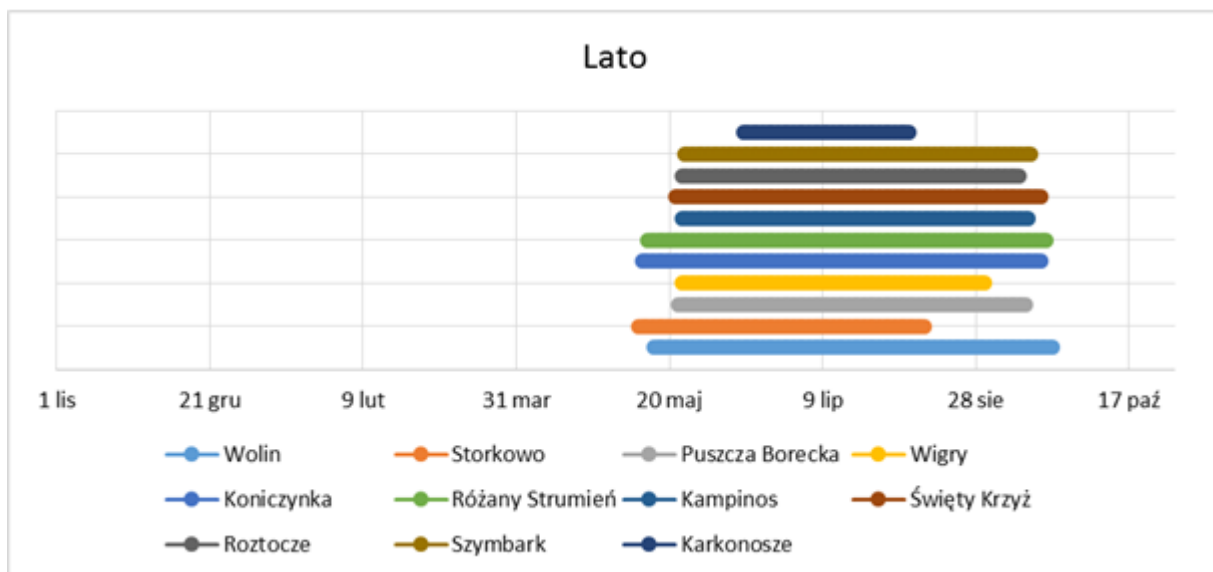
Wyjątkowość warunków cieplnych w 2016 roku znalazła swoje odzwierciedlenie w występowaniu termicznych pór roku. We wszystkich zlewniach, oprócz Karkonoszy wyjątkowo długo trwało termiczne lato (3-4 miesiące), które zaczęło się bardzo wcześnie – w maju. Dominującą porą roku pod względem czasu trwania było lato i jesień (ryc. 15).

Warunki termiczne w 2016 roku były sprzyjające dla rozwoju przyrody ożywionej. Nie występowała wyraźna zmienność regionalna występowania termicznych pór roku. Taka sytuacja świadczy o ponadregionalnych czynnikach meteorologicznych, kształtujących warunki termiczne w 2016 roku i występowanie termicznych pór roku. Jedynie w zlewni

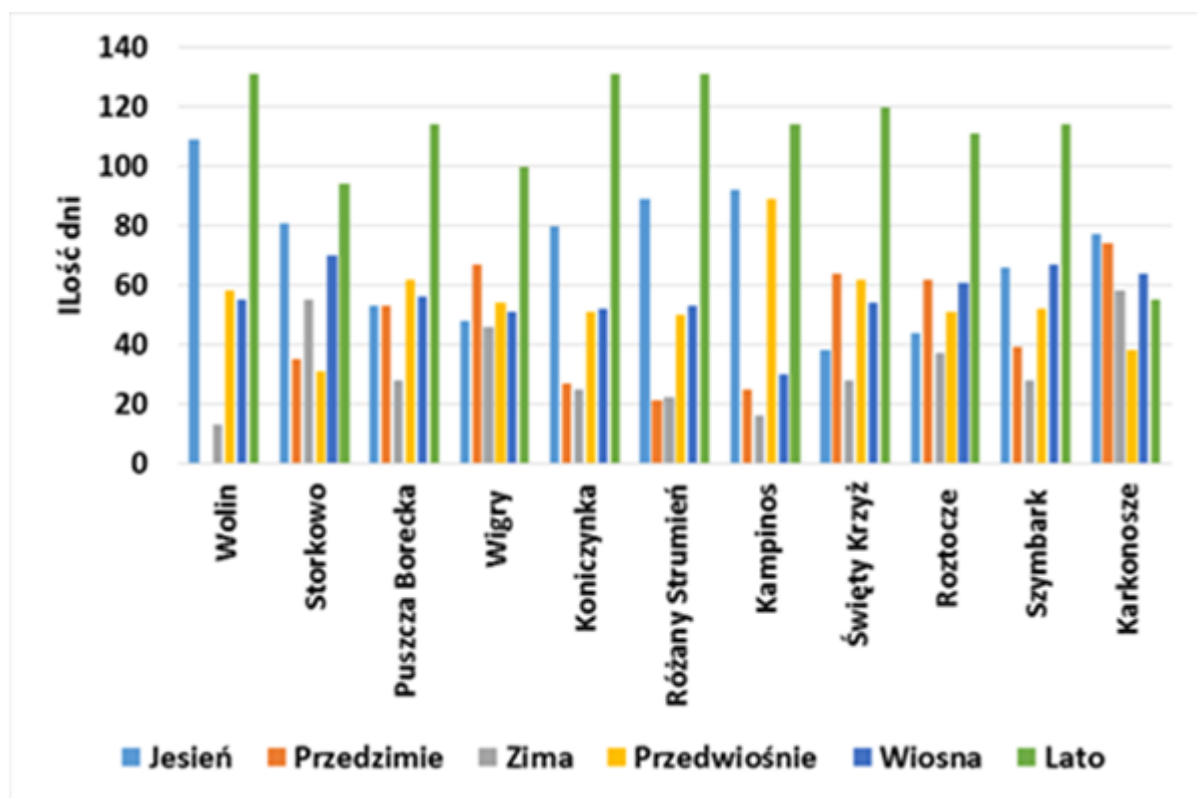
nadmorskiej (Stacja Wolin) i górskiej (Stacja Karkonosze) czynniki lokalne związane z oddziaływaniem Bałtyku (Wolin) oraz wyniesieniem nad poziom morza (Karkonosze) wyraźnie decydowały o zakresie długości termicznych pór roku. W Karkonoszach było najkrótsze lato (55 dni) i najdłuższa zima (58 dni). Wybrzeże Bałtyku wyróżniało się najkrótszą zimą (13 dni), wyjątkowo długą jesienią (109 dni) i brakiem występowania przedzimy (ryc. 15).







Ryc. 23. Przebieg termicznych pór roku w zlewniach badawczych ZMŚP w 2016 roku



Ryc. 15. Czas trwania termicznych pór roku w zlewniach badawczych ZMŚP w 2016 roku

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: $20 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ SO_2 dla roku i pory zimowej (od 1 X do 31 III) oraz $40 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ NO_2 dla roku. Wartości średniego rocznego stężenia dwutlenku azotu i siarki w powietrzu atmosferycznym w 2016 roku hydrologicznym

nie zostały przekroczone we wszystkich Stacjach Bazowych (tab. 27). Dobry stan jakości powietrza nie wpływał negatywnie na stan przyrody ożywionej. Sporadyczne przekroczenia wartości normatywnych stwierdzono tylko w Stacji Różany Strumień położonej w sąsiedztwie miasta Poznania. Oddziaływanie miasta na stan powietrza atmosferycznego było negatywne, gdyż od grudnia do lutego przekroczone były normy stężenia NO_2 a w grudniu przekroczone wartości progowe SO_2 . W pogarszaniu jakości powietrza w tej zlewni podmiejskiej większą rolę odgrywają zanieczyszczenia komunikacyjne (NO_2) niż ze spalania paliw kopalnych w sezonie grzewczym (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 [$\mu\text{g m}^{-3}$] w zlewniach badawczych ZMŚP w 2016 roku

Stacja	Strefa krajobrazowa	NO_2 [$\mu\text{g m}^{-3}$]	SO_2 [$\mu\text{g m}^{-3}$]
Wolin	nadmorska	11.5	1.9
Storkowo	pojezierzy	9.2	1.6
Puszcza Borecka		3.9	0.3
Wigry		4.2	2.6
Koniczynka		10.0	3.1
Różany Strumień		24.7	10.9
Kampinos	nizin	11.3	5.6
Święty Krzyż	wyżyn	10.0	6.5
Roztocze		8.4	2.3
Szymbark	gór średnich	9.8	4.9
Karkonosze		5.5	4.8

Hydrobiologia rzek – makrofity i ocena hydromorfologiczna koryta rzecznego

Korzystne warunki hydrometeorologiczne w 2016 roku nie zaburzały makrofitowej i hydromorfologicznej oceny koryt rzecznych. W 2016 roku w badanych ciekach Polski NE i E nie stwierdzono zaniku odpływu rzeczego, nie było także intensywnych wezbrań i głębokich niżówek. Badania terenowe wykonano na czterech Stacjach Bazowych ZMŚP: Puszcza Borecka, Wigry, Święty Krzyż i Roztocze. Badania prowadzono w pełni sezonu wegetacyjnego, który jest optymalnym okresem do badań makrofitowych i hydromorfologicznych.

Na podstawie wyników badań terenowych, które dostarczyły informacji o składzie gatunkowym makrofitów oraz ich pokryciu na stanowiskach, obliczono Makrofitowy Indeks

Rzeczny (MIR), (Szoszkiewicz i in. 2010). W celu oceny stanu ekologicznego badanych odcinków cieków obliczone wartości wskaźnika MIR odniesiono do wartości granicznych dla pięciu klas stanu ekologicznego, specyficznych dla różnych typów makrofitowych rzek, określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 30 października 2014 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych (Dz.U. 2014 poz. 1482). Wartości wskaźnika MIR wahały się od 35,0 na stanowisku Pokrzywianka Serwis (Stacja Święty Krzyż) do 63,3 na stanowisku Świerszcz górny odcinek (Stacja Rostocze). Trzy stanowiska zaklasyfikowano do bardzo dobrego stanu ekologicznego, siedem do dobrego i dwa do umiarkowanego stanu ekologicznego. W obrębie poszczególnych stanowisk na badanych ciekach występowała duża zgodność klas stanu ekologicznego, związana ze stosunkowo niewielką zmiennością wartości wskaźnika MIR w danej JCWP. Odchylenie standardowe indeksu MIR dla badanych JCWP wynosiło odpowiednio: Świerszcz 7,15, Pokrzywianka i Czarna Woda 2,85, Czarna Hańcza 3,22 oraz dopływ z jeziora Łękuk 4,56. Duże różnice indeksu MIR zaobserwowane w rzece Świerszcz wynikają z nieco innego charakteru odcinka górnego. Mianowicie prawie w pełni jest on zdominowany przez mszaki, a makrofity naczyniowe występują sporadycznie. Podsumowując, w 2016 roku badane rzeki należy uznać za niezdegradowane troficznie. (Szoszkiewicz i in. 2016).

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 rzecznej oraz w mniejszym stopniu doliny rzecznej. 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 i przekształcenia siedliska. Na tej podstawie 9 odcinków zaklasyfikowano do co najmniej dobrego stanu hydromorfologicznego, były to wszystkie odcinki zlokalizowane na rzece Świerszcz, Czarnej Hańczy oraz po jednym odcinku na Pokrzywiance (Serwis) i Dopływie z Jeziora Łękuk (poniżej jeziora). Dwa pozostałe odcinki zlokalizowane na Dopływie z Jeziora Łękuk oraz jeden na Pokrzywiance (Dębno) zaliczono do trzeciej klasy stanu hydromorfologicznego. Stan hydromorfologiczny tylko jednego odcinka badawczego Czarnej Wody (Stacja Święty Krzyż), który charakteryzował się niewielką naturalnością siedliska rzecznej i dość dużym jego przekształceniem oceniono jako zły. (Szoszkiewicz i in. 2016).

Reasumując można stwierdzić, że na podstawie oceny dokonanej w ramach zadania hydrobiologia rzek – makrofity i ocena hydromorfologiczna koryta rzecznej wszystkie

badane cieki można zakwalifikować do co najmniej dobrego stanu. Taka sytuacja potwierdza fakt, że w północno-wschodniej Polsce (Puszcza Borecka i Wigry) oraz w Polsce wschodniej (Święty Krzyż i Roztocze) rzeki i doliny rzeczne charakteryzują się znaczną naturalnością i względnie niskim przekształceniom przez działalność człowieka.

Struktura i dynamika szaty roślinnej

Stan struktury szaty roślinnej odniesiono do jednego z wielu wskaźników jakim jest liczebność gatunków reprezentujących kategorię gatunków „starych lasów”. Badania struktury szaty roślinnej w 2016 roku na wytypowanych powierzchniach leśnych wykonywał zespół ekspertów ZMŚP (Prof. UAM dr hab. Julian Chmiel i dr hab. Zbigniew Celka). Badania te wykonano po raz pierwszy. W tabeli 28 przedstawiono charakterystykę składu gatunków starych lasów w badanych zlewniach ZMŚP, która dobrze oddaje stan badanego zbiorowiska roślinnego. Najbardziej bogate zasoby gatunków starych lasów występowały w strefie pojezierzy w Polsce północno-zachodniej (Puszcza Borecka i Wigry) oraz w strefie wyżynnej (Święty Krzyż i Roztocze). Szczególne bogactwo tych cennych gatunków występowało głównie na obszarze Parków Narodowych o mało zmienionych zbiorowiskach leśnych (Parki: Wigierski, Świętokrzyski i Roztoczański). W Parkach Narodowych gdzie człowiek znacząco dokonał przebudowy drzewostanu zasoby tych gatunków były skromne (Woliński i Karkonoski). Najmniej bogate zasoby gatunków starych lasów albo wręcz ich brak był w zlewniach poddanych silnej antropopresji rolniczej i 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.

Tab. 28. Charakterystyka składu gatunków starych lasów w zlewniach ZMŚP w 2016 roku

Stacja Bazowa	% składu gatunkowego	Gatunki	Zasoby
Wolin	32	8	Skromne
Storkowo	0	-	Brak
Puszcza Borecka	44	40	Bogate
Wigry	39	31	Bogate
Koniczynka	0	0	Brak
Różany Strumień	2	1	Bardzo skromne
Kampinos	23	5	Skromne
Święty Krzyż	44	12	Znaczące
Roztocze	31	5	Znaczące
Szymbark	20	9	Bardzo skromne
Karkonosze	33	6	Bardzo skromne

Gatunki inwazyjne obcego pochodzenia – rośliny

W 2016 roku wykonano szczegółową inwentaryzację gatunków inwazyjnych na powierzchniach stałych oraz badania patrolowe na obszarze całych zlewni. Badania te

wykonano po raz pierwszy. 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.

Tab. 29. Występowanie roślinnych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia w zlewniach ZMŚP w 2016 roku

Stacja Bazowa	Gatunki na powierzchniach badawczych	Gatunki w zlewni	Zagrożenie
Wolin	2	5	małe
Storkowo	11	18	duże
Puszcza Borecka	2	3	małe
Wigry	2	23	duże
Koniczynka	2	68	duże
Różany Strumień	32	23	duże
Kampinos	3	-	małe
Święty Krzyż	-	8	małe
Roztocze	10	38	duże
Szymbark	1	-	małe
Karkonosze	-	5	małe

Pod względem występowania roślinnych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia najlepsza sytuacja występowała w obszarach chronionych, na terenach Parków Narodowych (oprócz Roztoczańskiego). Natomiast szczególnie dużo gatunków inwazyjnych występowało w zlewniach poddanych presji i intensywnemu użytkowaniu przez człowieka – na działalność rolniczą (Koniczynka) i funkcjonowanie ośrodków miejskich (Różany Strumień). Ekspansja roślin inwazyjnych obcego pochodzenia odbywa się głównie dolinami rzecznyymi i szlakami komunikacyjnymi. Zauważono pewną prawidłowość, że mniej gatunków inwazyjnych występowało w zlewniach z dominacją zwartej, leśnego pokrycia terenu (np. Wolin, Kampinos, Karkonosze) niż w zlewniach o znacznym areale gruntów ornych i zabudowań (np. Różany Strumień, Koniczynka, Storkowo).

Uszkodzenia drzew i drzewostanów

W 2016 roku pomimo względnie lepszych warunków termiczno-opadowych niż w roku ubiegłym i braku długotrwałych okresów suszy meteorologicznej stwierdzono w większości badanych zlewni pogorszenie stanu drzewostanów. W 2016 roku w większości badanych zlewni defoliacja i odbarwienie liści była większa niż w 2015 roku (np. Kampinos, Roztocze). Badania zależności przyczynowo-skutkowej (warunki pogodowe danego roku na zdrowotność drzewostanów) wykazują opóźnienie w czasie. W większości badanych geoekosystemów reperkusje bardzo złych warunków wodnych w 2015 roku znalazły swoje odzwierciedlenie w gorszym stanie drzewostanów w 2016 roku niż w 2015 roku. Takim przejawem wydłużenia w czasie negatywnych skutków warunków abiotycznych z roku

poprzedniego była zlewnia monitorowana przez Stację Kampinos. W drzewostanie tej zlewni w 2016 roku średnia defoliacja wyniosła 49% i była o 11% większa niż w poprzednim roku.

Analiza przestrzenna zdrowotności drzewostanów posiada wybitny wymiar regionalny, czego potwierdzeniem była w 2016 roku wartość średniej defoliacji w zlewni górnej Parsęty 17,0%, która była nieznacznie niższa niż podawana dla sosny w wieku powyżej 60 lat z terenu RDLP Szczecinek – 17,84%, czy dla województwa zachodniopomorskiego – 17,57% (Szpikowski i in. 2017). Jednakże w analizie czasowo-przestrzennej stanu drzewostanów w Polsce należy uwzględnić także warunki lokalne, które niekiedy mogą nie w pełni nawiązywać do ujęcia regionalnego. Na przykład w Stacji Bazowej Wolin, która podobnie jak Stacja Storkowo znajduje się w województwie zachodniopomorskim, defoliacji sosen w 2016 nie stwierdzono.

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. 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. PODSUMOWANIE STANU GEOEKOSYSTEMÓW POLSKI W 2016 ROKU

W 2016 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 2016 odznaczał się względnie małym zróżnicowaniem przestrzennym średniej rocznej temperatury powietrza i rocznej sumy opadów atmosferycznych. Warunki termiczne były niekorzystne, gdyż we wszystkich badanych zlewniach 2016 rok był cieplejszy od wartości normalnej. Warunki opadowe zmieniały się od najbardziej korzystnych w Polsce północnej (rok wilgotny - Storkowo, Wigry i Puszcza Borecka) do obojętnych w Polsce środkowej i południowej (rok normalny Koniczynka, Kampinos, Święty Krzyż, Roztocze). Klasyfikacja ilościowa opadów w 2016 roku świadczy o względnej jednorodności przestrzennej opadów, co nie jest typowe dla klimatu Polski. Taka sytuacja świadczy, że na dynamikę 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. W 2016 roku mineralizacja opadów w zlewniach była najbardziej wyrównana na tle całego okresu badawczego. Jakość opadów atmosferycznych w 2016 roku pod względem wskaźnika SEC i odczynu była bardzo dobra. Na żadnej ze Stacji klasa mineralizacji opadów w 2016 roku nie była gorsza niż w roku ubiegłym. Na 3 Stacjach (Kampinos, Szymbark a zwłaszcza Wigry) klasyfikacja SEC opadów uległa poprawie w odniesieniu do 2015 roku. Odczyn opadów atmosferycznych w 2016 roku w porównaniu z poprzednim rokiem pozostał na podobnym poziomie. W 7 Stacjach opady

zaliczono do klasy normalnej a w 4 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 2016 roku było szczególnie widoczne w Stacjach Kampinos i Wigry. Względnie wyższa wydajność opadów w 2016 roku niż w roku ubiegłym wpłynęła na ich dobrą jakość. W 2016 roku potwierdzona została tendencja do większej roli tlenków azotu niż dwutlenku siarki w zakwaszaniu opadów atmosferycznych, którego presja w zakwaszenia opadów jest najważniejsza od połowy lat 90 XX wieku. Taka sytuacja występowała w 7 Stacjach Bazowych zlokalizowanych w centralnej i północnej Polsce. Jedynie dla 2 Stacji (Święty Krzyż i Szymbark) o zakwaszeniu opadów decyduje głównie stężenie dwutlenku siarki. Powyższa prawidłowość odzwierciedla sytuację większego wpływu siarczanów w zakwaszeniu opadów w południowo-wschodniej Polsce, których źródłem jest spalanie paliw kopalnych (główne źródło wzrostu stężenia SO_2). Natomiast w pozostałych regionach kraju (Wolin, Storkowo, Puszcza Borecka, Wigry, Koniczynka, Kampinos, Karkonosze) o zakwaszeniu opadów decydują głównie zanieczyszczenia komunikacyjne (m. in. NO_2).

O dobrym stanie jakości wody w zlewniach badawczych ZMŚP świadczy względnie dobry chemiczny stan wód podziemnych, który był stwierdzony w zdecydowanej większości badanych warstw wodonośnych. W 2016 roku wody podziemne w zdecydowanej większości zlewni ZMŚP posiadały dobry stan chemiczny. Jedynie w 2 zlewniach stan chemiczny wód podziemnych określono jako słaby. W zlewni Strugi Toruńskiej (Stacja Koniczynka) o słabym stanie chemicznym zdecydowały przekroczenia norm stężenia jonów amonowych, co prawdopodobnie związane jest z infiltracją tych związków wraz z dostawą nawozów sztucznych – badana zlewnia jest zlewnią rolniczą. Natomiast o słabym stanie chemicznym wód podziemnych zlewni Jeziora Gardno (Stacja Wolin) zdecydowały także wysokie stężenia jonów amonowych. Prawdopodobnym źródłem zanieczyszczeń tej warstwy wodonośnej jest presja antropogeniczna związana z nieszczelnością systemu kanalizacyjnego w Grodnie. Stan chemiczny wód podziemnych w 2016 roku w odniesieniu do roku 2015 nie zmienił się.

W oparciu o badane wskaźniki fizykochemiczne można stwierdzić, że jakość wód rzecznych w porównaniu z 2015 rokiem uległa pewnemu pogorszeniu. Ponad połowa badanych cieków posiadała w 2016 roku jakość wody bardzo dobrą (3 ciekі górskie: Wrzosówka, Wieniec i Bystrzanka) i dobrą (3 ciekі: Lewińska Struga, górna Parsęta i Świerszcz). Pozostałe ciekі posiadały stan poniżej dobrego (III-V klasa). Na obniżenie jakości wody w Strudze Toruńskiej w profilu Koniczynka do klasy poniżej dobrego stanu

zadecydowały podwyższone wartości stężenia azotu azotanowego, którego przyczyną jest dominacja rolnego użytkowania zlewni i związane z tym nawożenie pól uprawnych. Najgorszy stan chemiczny występował w zlewni Różanego Strumienia, w której kumulują się negatywne wpływy oddziaływania miasta Poznania. Możliwy jest w tej zlewni dopływ ścieków i w efekcie podwyższenie mineralizacji wody i stężenia jonów rozpuszczonych, np. chlorków. Jednakże pozytywnym symptomem w 2016 roku był brak zagrożenia monitorowanych cieków wzmogoną eutrofizacją – poza Wieńcem i Strugą Toruńska. W 2016 roku ocena jakości wody monitorowanych 4 jezior (Gardno, Czarne, Kamionkowskie i Łękuk) 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 wzmogonej 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 2007-2016 (Skotak i in. 2016). W przypadku NO_2 taka tendencja nie występowała, co potwierdza aktualnie większą rolę w kształtowaniu jakości powietrza atmosferycznego przez zanieczyszczenia komunikacyjne niż przemysłowe.

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 geowskaźników, 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 2016 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 2016 roku nie stwierdzono bardzo istotnych zagrożeń dla funkcjonowania środowiska przyrodniczego badanych zlewni. Wśród zagrożeń antropogenicznych warto jednakże zwrócić uwagę na kumulację zanieczyszczeń w zlewni Koniczynki, gdzie w wyniku ekstremalnie niskiego odpływu wody i prowadzenia działalności rolniczej (nawadnianie i nawożenie) stwierdzono wysoką akumulację związków biogenych. Wśród naturalnych zjawisk ekstremalnych przekształcających środowisko przyrodnicze badanych geoekosystemów wyróżnić można wymienić występowanie 1-2 zdarzeń suszy meteorologicznej w Polsce północnej (w strefie młodoglacjalnej Nizżu Polskiego). Jednakże fale upałów (zwłaszcza Różany Strumień – zlewnia podmiejska) i okresów bezopadowych nie spowodowały w większości badanych zlewni większych zmian funkcjonowania środowiska przyrodniczego. Istotnym faktem wpływającym na obieg wody w badanych zlewniach w 2016 roku było uzupełnianie zasobów wód podziemnych w konsekwencji występowania poprzedniego roku suchego. Pomimo faktu, że 2016 rok pod względem opadowym był wilgotny lub normalny, to nie stwierdzono znacznej frekwencji intensywnych wezbrań rzecznych (poza Parsętą). Przejawem wydłużonego czasu relaksacji po suchym 2015 roku poprzednim, był znikomy drenaż wód podziemnych przez system fluwalny Kanalu Olszowieckiego (Kampinos) i ograniczenie odpływu wód rzecznych przez prawie 10 miesięcy. 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 2016 roku na Stacjach Bazowych realizacji programów biotycznych (struktura i dynamika szaty roślinnej, gatunki inwazyjne obcego pochodzenia – rośliny) oraz programów ujmujących zmiany antropogeniczne (zmiany pokrycia i użytkowania terenu i ocena usług geoekosystemów). Wartościowanie środowiska przyrodniczego w zlewniach ZMŚP pozwoliło na wypracowanie metodyki wyceny zasobów środowiska przyrodniczego w innych geoekosystemach Polski.

W oparciu o realizowany w 2016 rok program ZMŚP dokonano waloryzacji stanu środowiska przyrodniczego badanych zlewni (tab. 29). Dokonano oceny poszczególnych programów ZMŚP (brano pod uwagę właściwości ilościowe i jakościowe oraz tendencje zmian danego komponentu środowiska przyrodniczego).

Waloryzacja stanu środowiska dla poszczególnych programów wykonana została w oparciu o następujące kryteria:

- o stan korzystny - pozytywne zmiany ilościowe lub jakościowe danego komponentu w 2016 roku na tle roku poprzedniego +1 pkt,
- o stan obojętny - brak wyraźnej zmiany pozytywnej lub negatywnej danego komponentu w 2016 roku na tle roku poprzedniego 0 pkt,
- o stan niekorzystny - negatywne zmiany ilościowe lub jakościowe danego komponentu w 2016 roku na tle roku poprzedniego -1 pkt.

Tab. 29. Stan środowiska przyrodniczego zlewni badawczych ZMŚP w 2016 roku [1 dobry, 0 – przeciętny, -1 słaby]

Program ZMŚP	Wolin	Storkowo	Puszcza Borecka	Wigry	Koniczynka	Różany Strumień	Kampinos	Święty Krzyż	Roztocze	Symbark	Karkonosze
Meteorologia	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1
Zanieczyszczenie powietrza	1	1	1	1	1	-1	1	1	1	1	1
Chemizm opadów atmosferycznych	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
Chemizm opadu podkoronowego	1	1	1	1		1	1	0	1	1	1
Chemizm spływu po pniach	1		1					1	1	1	
Chemizm roztworów glebowych	0	1	1	0	-1	1	0	-1	0	1	
Wody podziemne	-1	1	0	0	-1	0	0	0	-1	0	0
Opad organiczny	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
Wody powierzchniowe - rzeki	-1	1		-1	-1	-1	-1	0	1	1	1
Wody powierzchniowe - jeziora	1	1	1		0						
Struktura i dynamika szaty roślinnej	0	-1	1	1	-1	-1	0	1	1	-1	-1
Gatunki inwazyjne obcego pochodzenia – rośliny	1	0	1	0	-1	-1	1	1	-1	1	1
Uszkodzenia drzew i drzewostanów	1	1	1	0		1	1	0	0	0	1
Epifity nadrzewne	0	1	1	0	0	-1	0	0	0	1	1
Zjawiska ekstremalne	1	1	1	1	0	-1	0	1	0	1	1
Zmiany pokrycia terenu i użytkowanie ziemi	1	1	1	1	0		0	1	0	0	
STAN GEOEKOLOGICZNY	7	11	10	7	-3	-1	4	4	5	9	8

Łączna suma punktów badanych programów ZMŚP pozwala zakwalifikować badane zlewnie ZMŚP w 2016 roku do stanów: dobrego (>5 pkt), przeciętnego (0-5 pkt) i słabego (<0 pkt). Jest to ujęcie względne, którego celem jest wyłącznie porównanie między sobą

badanych geoekosystemów. Względnie najlepszym stanem geoeekologicznym 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). Przeciętnym stanem odznaczały się geoekosystemy znajdujące się w strefie nizin środkowopolskich (Stacja Kampinos) i w strefie wyżyn (Stacje: Święty Krzyż i Roztocze). Najgorszym stanem charakteryzowały się geoekosystemy poddane silnej antropopresji rolniczej (Stacja Koniczynka) i znajdujące się w strefie oddziaływania ośrodka miejskiego (Stacja Różany Strumień).

W oparciu o długoletnie badania w zlewniach ZMŚP zależności przyczynowo-skutkowych między abiotycznymi i biotycznymi komponentami środowiska przyrodniczego bardzo trudne, a wręcz niemożliwe jest dla tego samego roku badawczego określenie wprostproporcjonalnej zależności liniowej. 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. w programie ZMŚP Uszkodzenia drzew i drzewostanów – parametry defoliacji i odbarwienie) może wynikać z niekorzystnych warunków abiotycznych (np. niedobór opadów, zakwaszenie wód opadowych, zanieczyszczenie powietrza) występujących kilka lata wcześniej. Przykładem takiej nie wprostproporcjonalnej 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 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:

- długofalowego oddziaływania presji wynikającej m. in. ze zmian klimatycznych (np. wzrost średniej rocznej temperatury powietrza może skutkować pogorszeniem zdrowotności i zmianą zasięgu występowania, „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). W polskiej strefie brzegowej Bałtyku stwierdzono występowanie trendu wzrostu średniej rocznej temperatury powietrza $0,32^{\circ}\text{C}/10$ lat. Skutkiem wzrostu zasobów ciepła, zwłaszcza w sezonie wegetacyjnym, będzie występowanie w ciągu najbliższych 20 lat odpowiednich warunków cieplnych do występowania zbiorowisk leśnych typu *Fagetum* i degradacja zbiorowisk leśnych *Piceetum*. Jeśli trend wzrostu warunków termicznych się nie zmieni to za 150 lat będą istniały dogodne warunki termiczne dla rozwoju ciepłolubnych lasów typu *Castanetum* (Tylkowski 2015b),
- krótkookresowej, nagłej antropopresji związanej ze zmianą warunków siedliskowych (np. zmiany warunków wodnych, nadmiernej dostawy biogenów czy zmiany form użytkowania i pokrycia terenu).

Posiadając w Centralnej Bazie Danych ZMŚP ponad dwudziestoletnie ciągi pomiarowe uzasadnione jest prognozowanie przyszłych zmian środowiska przyrodniczego w badanych zlewniach. W 2017 roku w raportach Stacji Bazowych ZMŚP przedstawiona zostanie prognoza 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 ze zlewni w kontekście transformacji składu chemicznego wód i migracji związków kwasotwórczych S-SO_4 , N-NO_3 czy biogenów (związków azotu i fosforu). Przewidywanie przyszłych zmian w badanych zlewniach dotyczyć będzie jednolitych interwałów czasowych, np. za 10, 30 czy 50 lat.

Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego pełni rolę monitoringu naukowo-badawczego i w odróżnieniu od monitoringów specjalistycznych ujmuje kompleksowo ocenę środowiska przyrodniczego w oparciu o standaryzowane badania stacjonarne w zlewniach reprezentatywnych dla danej strefy krajobrazowej Polski. Głównym celem ZMŚP jest rejestracja i analiza krótko- i długookresowych zmian zachodzących w geoekosystemach pod wpływem zmian klimatu i antropopresji. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego dostarcza kompleksowych informacji, nie tylko w ramach

wybranych programów pomiarowych, lecz przede wszystkim o związkach przyczynowo-skutkowych i rezultatach ich oddziaływania na środowisko geograficzne.

Realizacja programu ZMŚP w ramach monitoringu przyrody funkcjonującego w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska posiada duże znaczenie dla ochrony zasobów przyrodniczych Polski. Osiem zlewni badawczych ZMŚP (oprócz Koniczynki, Różanego Strumienia i Szymbarku) znajduje się w granicach obszarów specjalnej ochrony siedlisk Natura 2000 a pięć 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 2016 roku na tle wielolecia przedstawiono w raportach Stacji Bazowych ZMŚP, które stanowią załącznik niniejszego opracowania.

9. LITERATURA

- Awłasiewicz, W., 1953: Sposób badania odpływu rzek przy pomocy mapy parowania. *Gospodarka Wodna* 13 (6): 202-205.
- Bochenek W., Kijowska-Strugała M., Kiszka K., Ptaszek E., Dedo J., 2017: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Szymbark w 2016 roku. Szymbark, maszynopis.
- 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.
- Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, 2014: Stan środowiska w Polsce. Raport 2014. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, 204.
- 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. [W:] *Aura* 4: 18-19.
- Jóźwiak M.A., 2015: Ocena zanieczyszczenia powietrza na podstawie zawartości siarki i metali ciężkich w porostach w 2015 roku. 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”. Kielce. Maszynopis
- Jóźwiak M., Jóźwiak M.A., Kozłowski R., Szwed M., 2017: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Święty Krzyż w 2016 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., Marszałewski W., Paprocki R., Pius B., Sobota I., Stolarczyk A., Uscka-Kowalkowska J., Wojtczak H., 2017: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Koniczynka w 2016 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, s. 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., Rachwalska P., Wierzbński M., 2017: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Karkonosze w 2016 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., Romański M., Mackiewicz A., Krzysztofiak A., Danilczyk M., 2017: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Wigry w 2016 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., Marciniak M., Kolendowicz L., Chmiel J., Majewski M., Kruszyk R., Półrolniczak M., Ochońska M., Gudowicz J., Olejarczyk M., Zięba M., 2017: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Różany Strumień w 2016 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, 151 pp.
- Mizgajski A., Stępniewska M., 2012: Ecosystem services assessment for Poland – challenges and possible solutions. *Ekonomia i Środowisko*, 2 (42): 54-73.

- Olszewski A., Wierzbicki A., Lenartowicz M., 2017: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Kampinos w 2016 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 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.
- Skotak K., Degórska A., Prządka Z., Bratkowski J., Białoskórska U., Typiak-Nowak D., 2017: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Puszcza Borecka w 2016 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 pp.
- Stachyra P., Radliński B., Rawiak A., Sokołowski A., Maciejewski Z., Smoła M., Gleń G., 2017: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Roztocze w 2016 roku. Zwierzyniec, maszynopis.
- Szozzkiewicz 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.
- Szozzkiewicz K., Gebler D. 2012: Polska wersja systemu oceny stanu hydromorfologicznego rzek River Habitat Survey – nowe zastosowania w praktyce. Gospodarka Wodna 4: 141-146.
- Szozzkiewicz K., Gebler D., Jusik S., 2016: Hydrobiologia rzek – makrofity i ocena hydromorfologiczna koryta rzeczne. 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 młodogłacjalnej (Chwalimski Potok, górna Parsęta). [W:] Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Funkcjonowanie i monitoring geoeosystemów 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. Samoląg (red.), Funkcjonowanie geoeosystemów w warunkach zmian użytkowania terenu i narastającej antropopresji. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Vol. XXVIII, Biała Góra: 173-186.
- Szpikowska, G., Tylkowski, J., 2006: Denudation balance of the Upper Parsęta catchment in the years 2000-2004. Quaestiones Geographicae 25A, Series A, Wydawnictwo Naukowe UAM: 75-82.
- Szpikowski J., 2011: Stan geoeosystemów 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 geoeosystemów 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., Kostrzewski A., Celka Z., Chmiel J., Domańska M., Kruszyk R., Majewski M., Szpikowska G., 2017: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Storkowo w 2016 roku. Storkowo, maszynopis.

- 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., Samołyk M., Czyryca P., Winowski M., Chmiel J., Celka Z., Gudowicz J., 2017: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Wolin w 2016 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.