

Dofinansowano ze środków
Narodowego Funduszu Ochrony
Środowiska i Gospodarki Wodnej

**Sprawozdanie z realizacji II 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 2015 roku

Poznań - Biała Góra

2016

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

Stan geoeekosystemów Polski w 2015 roku
na podstawie badań
Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego

Biała Góra 2016

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie	4
2. Zlewnie badawcze ZMŚP	8
3. Zlewnie badawcze ZMŚP a obszary szczególnie cenne przyrodniczo: Parki Narodowe i Natura 2000	14
4. Program badawczo-pomiarowy Stacji Bazowych ZMŚP	20
5. Geoindykatory ilościowe obiegu wody w geoekosystemach ZMŚP	28
6. Geoindykatory jakości wody w zlewniach ZMŚP	47
7. Wpływ uwarunkowań abiotycznych na stan bioindykacji w 2015 roku	66
8. Podsumowanie stanu geoekosystemów Polski w 2015 roku	71
9. Literatura	76

1. WPROWADZENIE

Opracowanie zostało wykonane zgodnie z umową 18/2015/F z dnia 21 maja 2015 roku. Umowa została zawarta pomiędzy Głównym Inspektorem Ochrony Środowiska w Warszawie a Uniwersytetem im. Adama Mickiewicza w Poznaniu i jest finansowana ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej pozyskanych przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Przedmiotowe opracowanie zostało wykonane w ramach 2 etapu „Opracowanie corocznych sprawozdań stanu geoekosystemów Polski” ww. umowy, które dotyczy „Realizacji programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego – nadzór merytoryczny oraz prowadzenie badań w latach 2015-2017”. W pracy przedstawiono stan geoekosystemów Polski w 2015 roku, z uwzględnieniem danych wieloletnich z okresu 1994-2014. Podstawę opracowania stanowiły merytoryczne raporty za 2015 rok hydrologiczny (1 listopada – 31 października), które dotyczą funkcjonowania geoekosystemów (zlewni) reprezentatywnych dla wybranych strefach krajobrazowych Polski. Program badawczo-pomiarowy w 2015 roku realizowano w dziewięciu Stacjach Bazowych Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (SB ZMŚP): Wolin, Storkowo, Puszcza Borecka, Wigry, Koniczynka, Kampinos, Święty Krzyż, Roztocze, Szymbark. Szczegółowe, merytoryczne przedstawienie stanu środowiska przyrodniczego w badanych zlewniach ZMŚP przedstawiono w raportach Stacji za 2015 rok (Bochenek i in. 2016, Jóźwiak i in. 2016, Kejna i in. 2016, Kostrzewski i in. 2016, Krzysztofiak i in. 2016, Olszewski i in. 2016, Tylkowski i in. 2016, Skotak i in. 2015, Stachyra i in. 2016). W opracowaniu wykorzystano także dane monitoringowe zgromadzone w Centralnej Bazie Danych ZMŚP za lata 1994-2015.

Celem ZMŚP jest dostarczenie danych i określenie aktualnego stanu i tendencji zmian, rozwoju środowiska przyrodniczego w oparciu o wieloletnie cykle obserwacyjne ze zlewni ZMŚP. Przemiany środowiska przyrodniczego odnoszone są m.in. do obserwowanych obecnie zmian klimatu oraz narastającej antropopresji. Uzyskane wyniki z prowadzonych badań stanowią podstawę do sporządzenia prognoz krótko i długoterminowych rozwoju środowiska przyrodniczego oraz przedstawienia kierunków zagrożeń i sposobów ich ochrony. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego w odróżnieniu od monitoringów branżowych dostarcza kompleksowych informacji, nie tylko w ramach wybranych programów pomiarowych, lecz przede wszystkim dostarcza wiedzy o związkach przyczynowo-skutkowych i rezultatach ich oddziaływania na środowisko geograficzne (Kostrzewski i in. 2013). Metodologia programu ZMŚP podporządkowana jest

kompleksowemu ujęciu funkcjonowania środowiska przyrodniczego (Kostrzewski 1995), który realizuje cele badawcze w określeniu bilansu energii i materii w zlewni rzecznej lub jeziornej. W zintegrowanym monitoringu badaniom poddane są również wybrane biotyczne elementy geoekosystemu, które spełniają rolę biowskaźników. Monitorowane elementy abiotyczne dotyczące aspektów ilościowych i jakościowych obiegu wody przedstawiono za pomocą wskaźników i klasyfikacji, spełniających rolę geoindykatorów (Szpikowski 2012; Tylkowski 2015).

Program ZMŚP merytorycznie nawiązuje do ICP Integrated Monitoring, funkcjonującego w ramach Konwencji w sprawie transgranicznego zanieczyszczenia powietrza na dalekie odległości, sporządzonej w Genewie, z dnia 13 listopada 1979 r.

Program ZMŚP jest programem naukowo-badawczym funkcjonowania geoekosystemów, służy ochronie i zachowaniu struktury krajobrazowej Polski. Pod względem metodologicznym program ZMŚP opiera się na koncepcji funkcjonowania systemu i realizuje założenia zachowania georóżnorodności i bioróżnorodności całego 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).

Podstawowym celem opracowania jest syntetyczne przedstawienie informacji o stanie oraz tendencjach rozwoju wybranych geoekosystemów Polski w 2015 roku na tle okresu 1994-2014. W raportach rocznych ze 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. Prowadzony w wytypowanych zlewniach reprezentatywnych monitoring naukowo-badawczy dotyczył dwóch aspektów:

- przepływu energii (wody) i obiegu materii (substancji rozpuszczonych) w geoekosystemach, który umożliwia wykonanie ilościowego bilansu wodnego i prawidłowości obiegu substancji rozpuszczonych dla dwóch układów przestrzennych:
 - wertykalnego - traktowanego jako ujęcie endogeniczne związane głównie z migracją wody i materii rozpuszczonej w wodzie krążącej w zlewni w podsystemach: atmosfera – roślinność – profil glebowy – wody podziemne-wody powierzchniowe)
 - horyzontalnego - traktowanego jako ujęcie allochtoniczne związane zarówno z atmosferyczną dostawą wody i substancji rozpuszczonej do badanej zlewni jak i późniejsze odprowadzanie drogą fluwialną wody i materii rozpuszczonej 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 (7 na 9) położonych jest w granicach obszarów wchodzących w skład sieci NATURA 2000.

W oparciu o założenia metodologiczne i metodyczne ZMŚP sporządzono coroczne opracowania syntetyczne o stanie geoeosystemów Polski (Kruszyk 2003, 2004, 2005, 2006, 2009, 2010, Major 2007, 2008, Szpikowski 2011, 2012, Tylkowski 2013, 2014, 2015). Wykonywane od 2003 roku kompleksowe oceny o stanie środowiska przyrodniczego stanowiły postęp w stosunku do pierwszych opracowań ZMŚP (od 1997 do 2002 roku). 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).

Syntetyczne opracowania o stanie geoeosystemów Polski zawierają informacje o aktualnym stanie, trendach i zagrożeniach rozwoju środowiska geograficznego. Przedstawiony poniżej raport za 2015 rok, podobnie jak syntezy za lata 2011, 2012, 2013 i 2014 został sporządzony w oparciu o wybrane geowskaźniki ilościowe i jakościowe obiegu wody wdrożone przez Szpikowskiego (2011, 2012). Ponadto wskazano trendy zmian w środowisku przyrodniczym badanych zlewni w ostatnim dwudziestoleciu, ze szczególnym uwzględnieniem zdarzeń ekstremalnych w 2015 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 zastosowano w syntetycznych raportach ZMŚP za

lata 2010 – 2014 (Szpikowski 2011, 2012, Tylkowski 2014, 2014, 2015). Geowskażniki przedstawione w opracowaniu dotyczą jakościowych i ilościowych właściwości obiegu wody w monitorowanych zlewniach. Charakterystyka jakościowa i ilościowa dostawy wody do zlewni, wody krążącej i odpływającej ze zlewni 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 abiotycznej jak i biotycznej sfery środowiska przyrodniczego jest określenie ilości wody krążącej w geoekosystemie wraz ze wskazaniem dynamiki jej obiegu w odniesieniu do uwarunkowań meteorologicznych (rozkład czasowy opadów i odpływu rzeczno, 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 krainach 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 (różnicy pomiędzy opadami i parowaniem) 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 1,2 mln rekordów rzeczywistych danych z okresu 1994-2015. 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 zakresie określenia jakości środowiska.

2. ZLEWNIE BADAWCZE ZMŚP

Podstawowym obiektem badań w sieci Stacji Bazowych Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego jest reprezentatywna dla regionu geograficznego zlewnia rzeczna lub jeziorna. W zlewni i jej otulinie zlokalizowane są testowe powierzchnie badawcze i stanowiska pomiarowe. W 2015 roku komplementarne badania terenowe i analitykę laboratoryjną prowadzono wg standaryzowanych metod na 9 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) oraz mezoregionów w odniesieniu do dominujących form pokrycia terenu (Łowicki, Mizgajski 2013), (ryc. 1, tab. 1 Kostrzewski i in. 2014).

Najwięcej Stacji Bazowych ZMŚP położonych jest w strefie pojezierzy (Stacja Bazowa: Storkowo, Puszcza Borecka, Wigry i Koniczynka) oraz w strefie wyżyn (Stacja Bazowa: Święty Krzyż i Rostocze). Po jednej stacji występuje na wybrzeżu Morza Bałtyckiego (Stacja Bazowa Wolin), na obszarze nizin (Stacja Bazowa Kampinos) i gór średnich (Stacja Bazowa Szymbark), (ryc. 1).



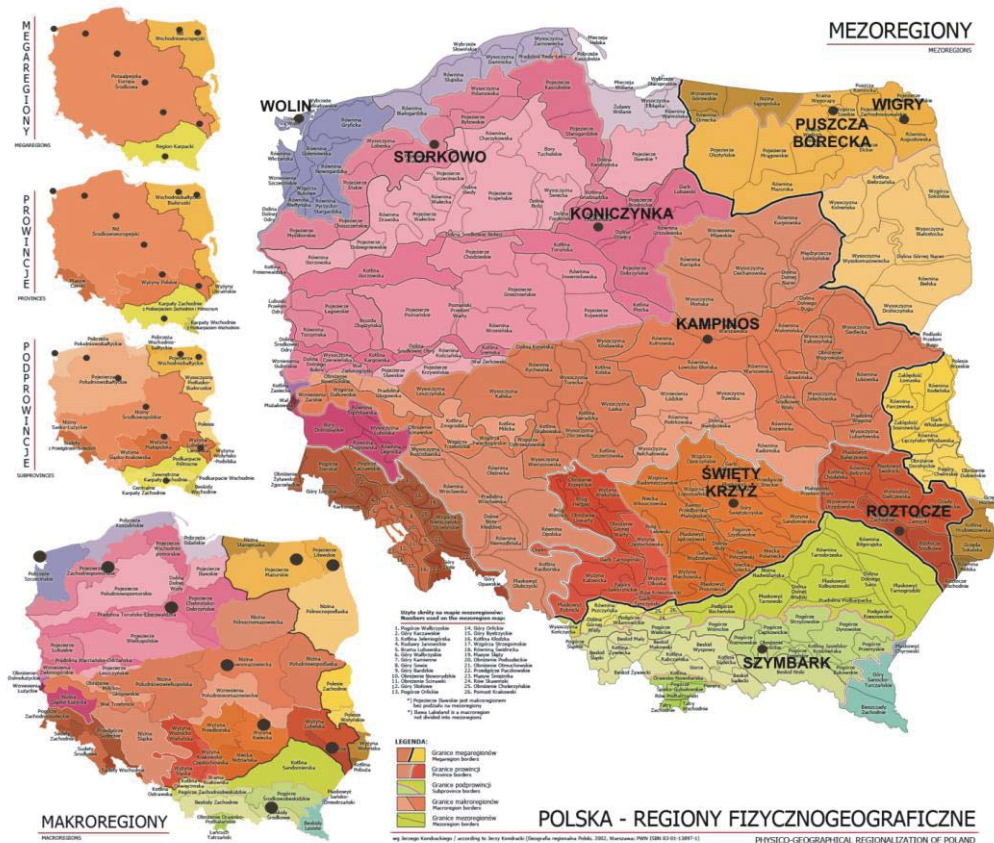
Ryc. 1. Lokalizacja Stacji Bazowych ZMŚP w strefach krajobrazowo-ekologicznych Polski (Kostrzewski i in. 2014)

Pod względem dominujących form pokrycia terenu w zlewniach ZMŚP występuje duże zróżnicowanie (tab. 1). Najmniej przekształcone przez człowieka formy pokrycia terenu występują w zlewni Świerszcz (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 I rzędu i Bystrzanki dominuje pokrycie terenu w formie zdecydowanie rolniczej i średnio nienaturalnej. Największym stopniem antropogenicznej przemiany pokrycia terenu cechuje się zlewnia Strugi Toruńskiej oraz Czarnej Hańczy, które zakwalifikowano jako zdecydowanie rolniczą. Zlewnia Parsęty i zlewnia Jeziora Łękuk charakteryzują się dużym zróżnicowaniem form pokrycia terenu, bez dominacji określonego typu.

Tab. 1. Charakterystyka położenia zlewni reprezentatywnych ZMŚP w strefach krajobrazowo-ekologicznych i dominującej formy pokrycia terenu (Kostrzewski i in. 2014)

Stacja ZMŚP	Zlewnia	Strefa krajobrazowo-ekologiczna	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
Kampinos	Olszowiecki Kanał	Niziny	zdecydowanie nienaturalna i średnio leśna
Święty Krzyż	Zlewnia I rzędu	Wyżyny	zdecydowanie rolnicza i średnio nienaturalna
Roztocze	Świerszcz	Wyżyny	zdecydowanie leśna
Szymbark	Bystrzanka	Góry średnie	zdecydowanie rolnicza i średnio nienaturalna

Badane zlewnie w systemie ZMŚP posiadają zróżnicowaną wielkość, o powierzchni mniejszej niż 100 km². Do największych geoeekosystemów należą: zlewnia górnej Parsęty (74,0 km²), Świerszcz (46,5 km²) i Struga Toruńska (35,2 km²). Natomiast najmniejsze zlewnie w sieci ZMŚP to Jezioro Gardno (2,4 km²) i Ciek I rzędu (1,3 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).



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

Ryc. 2. Lokalizacja Stacji Bazowych Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w 2015 roku w regionach fizycznogeograficznych Polski, (Kondracki 2000, zmienione)

Tab. 2 Charakterystyka fizycznogeograficzna zlewni reprezentatywnych ZMŚP w 2015 roku

Zlewnia	Powierzchnia zlewni [km ²]	Zlewnia/Dorzecze	Mezoregion fizycznogeograficzny	Makroregion fizycznogeograficzny
Jez. Gardno	2,4	Morze Bałtyckie	Uznam i Wolin	Pobrzeże Szczecińskie
Parsęta	74,0	Parsęta	Pojezierze Drawskie	Pojezierze Zachodniopomorskie
Jez. Łękek	13,3	Węgorapa/Pregoła	Kraina Wielkich Jezior	Pojezierze Mazurskie
Czarna Hańcza	7,4	Niemen	Równina Augustowska	Pojezierze Litewskie
Struga Toruńska	35,2	Wisła	Pojezierze Chełmińskie	Pojezierze Chełmińsko-Dobrzyńskie
Kanał Olszowiecki	20,2	Łasica/Wisła	Kotlina Warszawska	Nizina Środkowo-Mazowiecka
Zlewnia I rzędu	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 Ciężkowskie Doły Jasielsko-Sanockie	Beskidy Środkowe/ Pogórze Środkowobeskidzkie

W funkcjonującym obecnie rozmieszczeniu przestrzennym Stacji Bazowych ZMŚP można wyróżnić transekt południkowy, który nawiązuje do równoleżnikowego układu głównych stref krajobrazowych Polski: strefa młodoglacjalna Niżu Polskiego, Stacja Bazowa: Wolin, Storkowo, Koniczynka, Puszcza Borecka, Wigry, strefa staroglacjalna Niżu Polskiego, Stacja Bazowa: Kampinos, strefa wyżynna, Stacja Bazowa: Roztocze, Święty Krzyż oraz górską Stacją Bazową, Szymbark. W strefie młodoglacjalnej Niżu Polskiego można wyznaczyć transekt równoleżnikowy, przebiegający przez Stację Bazową: Biała Góra, Storkowo, Koniczynka, Puszcza Borecka, Wigry.

W strefie młodoglacjalnej Niżu 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) i Strugi Toruńskiej (Stacja Bazowa Koniczynka). Pierwsze cztery spośród wymienionych zlewni są w niewielkim stopniu przekształcone antropogenicznie.

Zlewnia Jeziora Gardno (Stacja Bazowa Wolin) reprezentuje geoekosystem nadmorski, położony na wyspie Wolin, na obszarze Wolińskiego Parku Narodowego. Zlewnia jeziora Gardno położona jest w zasięgu mikroregionu Pasma Wolińskiego. 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 brak odpływu powierzchniowego, niemal całkowite zalesienie zlewni z dominacją drzewostanu bukowego, duży udział aerozoli morskich w obiegu wody i materii rozpuszczonej oraz względnie niska antropopresja. Stacja Bazowa Wolin (poprzednia nazwa Biała Góra) włączona jest do programu ZMŚP od roku 2009. Wskazane cechy fizycznogeograficzne pozwalają uznać badaną zlewnię ZMŚP Jeziora Gardno jako zlewnię reprezentatywną dla podobnych obiektów 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, pozostającą jeszcze obszarem stosunkowo mało szkodliwych zmian środowiska przyrodniczego.

Szczególne uwagę w północnym pasie pojezierzy zwraca Stacja Bazowa Puszcza Borecka, gdzie przy braku większych lokalnych źródeł zanieczyszczeń, badania jakości powietrza i wód docierających do podłoża zlewni dostarczają informacji na temat dostawy i depozycji składników będących efektem transportu transgranicznego oraz ich wpływu na

funkcjonowanie ekosystemów leśnych i jeziornych. Na omawianym terenie występuje większość podstawowych zespołów leśnych, typowych dla północno-wschodniej Polski.

Zlewnia badawcza Stacji Bazowej Wigry zajmuje obszar należący do przyrzecza Czarnej Hańczy. O jej krajobrazie decydują utwory i formy lodowcowe oraz wodnolodowcowe z okresu recesji lądolodu fazy pomorskiej. Obszar ten ma najsurowsze warunki klimatyczne w całej nizinnej części kraju. Zlewnia badawcza odznacza się niezwykle wysoką wartością przyrodniczą, zwłaszcza ze względu na bogate i zróżnicowane florystycznie zespoły roślinne występujące na dnie podmokłej doliny. Tereny wzdłuż rzeki zajmuje kompleks torfowisk niskich i przejściowych, z których wiele zachowało swój pierwotny charakter.

Zlewnia Strugi Toruńskiej w Stacji Bazowej Konieczynka reprezentuje młodoglacjalny geoekosystem przeobrażony rolniczo, silnie zagrożony obszarowymi zanieczyszczeniami rolniczymi, zanieczyszczeniami powietrza z pobliskich szlaków komunikacyjnych oraz emitowanymi przez zakłady produkcyjne Torunia i Bydgoszczy. W krajobrazie zlewni dominują kompleksy pól uprawnych, na których prowadzona jest wielkołanowa i wysokotowarowa produkcja rolnicza. Cały obszar jest prawie bezleśny i silnie zmeliorowany. Zlewnia Strugi Toruńskiej jest reprezentatywna dla krajobrazów pojeziernych ostatniego zlodowacenia bałtyckiego (Wisły). Jej indywidualność wynika z intensywniej antropopresji, braku lasów i intensywnego rolnictwa. Zlewnia jest położona w strefie podmiejskiej Torunia i podlega coraz większej presji ze strony rozbudowującego się miasta oraz rozwoju sieci transportowej.

Krajobraz staroglacjalny Polski centralnej reprezentuje zlewnia Kanału Olszowieckiego (Stacja Bazowa Kampinos), położona w pasie Puszczy Kampinoskiej, zajętej przez geoekosystem bagienno-łąkowy w różnych fazach naturalnej sukcesji. Obszar ten 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 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 stwarzają możliwość częstego i długotrwałego bezpośredniego oddziaływania mas powietrza

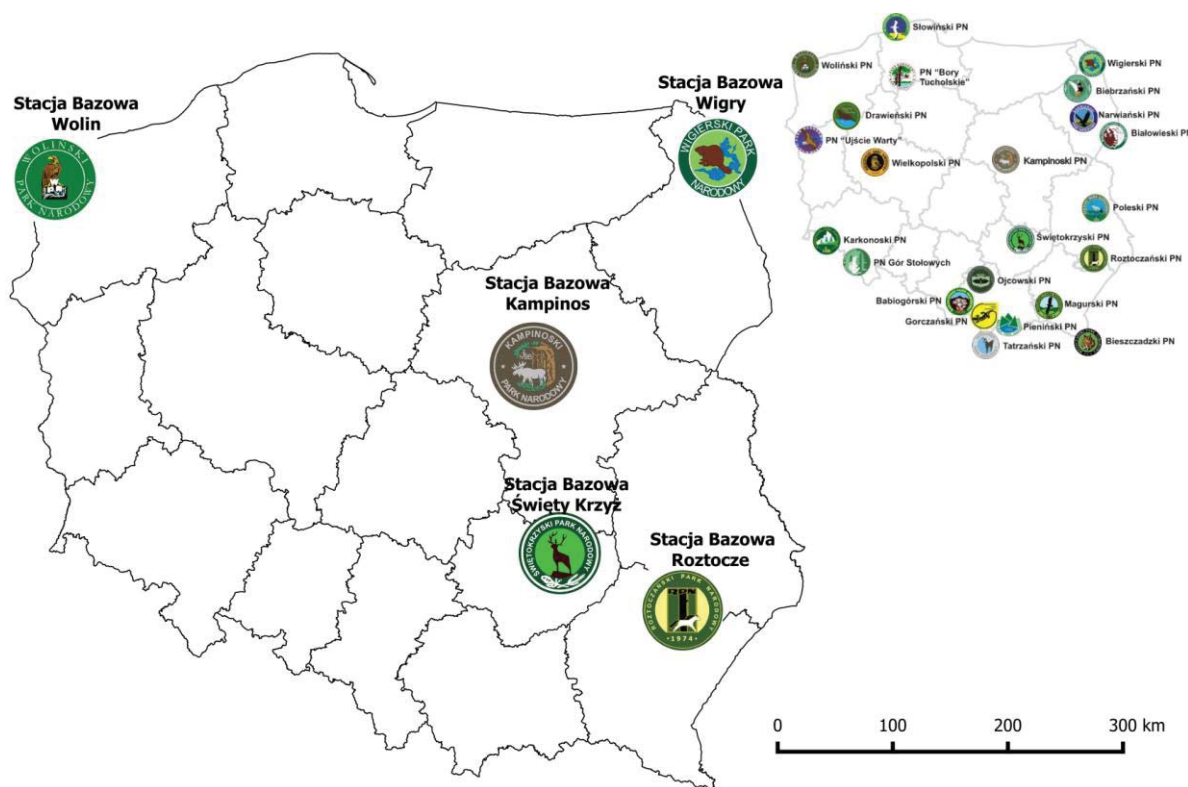
atmosferycznego nasyconego emisjami przemysłowymi i komunikacyjnymi na elementy hylo-, pedo- i hydrosfery.

Stacja Bazowa Roztocze realizuje badania w wyżynnej zlewni Świerszcza, która położona jest w mezoregionach Roztocza Środkowego i Roztocza Zachodniego. Rzeką Świerszcz jest śródleśnym ciekim. Swoją początek ma ulokowany w obszarze mokradłowym (w systemie borów bagiennych oraz torfowisk wysokich o ombrofilnym charakterze gospodarki wodnej). Rzeką Świerszcz na przeważającej długości biegu ma naturalny charakter i przecina stare drzewostany olchowe, sosnowe i jodłowe. Stacja Roztocze włączona została do programu ZMŚP w 2012 roku.

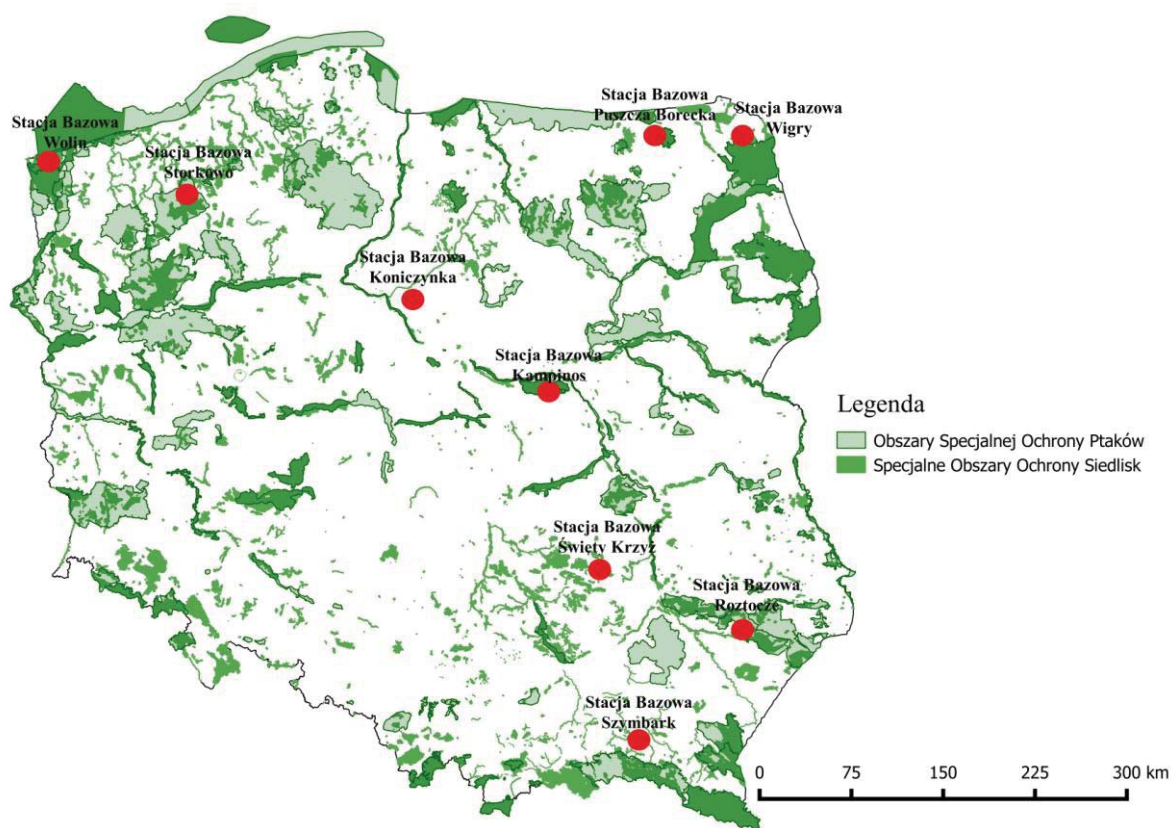
Stacja Bazowa Szymbark, zlokalizowana w zlewni Bystrzanki, reprezentuje geoekosystem Karpat Fliszowych, który narażony jest na zanieczyszczenia transgraniczne ze Słowacji, a obecnie w mniejszym stopniu z Gorlic. Monitoring w Stacji Szymbark uwzględnia specyfikę wynikającą z piętrowości występowania i natężenia procesów oraz zjawisk przyrodniczych w górach, m.in. ruchów osuwiskowych i procesów erozji wodnej gleb.

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

Pięć zlewni ZMŚP położonych jest w Parkach Narodowych: Wolińskim, Wigierskim, Kampinoskim, Świętokrzyskim i Roztoczańskim (ryc. 3). Siedem zlewni badawczych ZMŚP położonych jest na obszarach włączonych do sieci Natura 2000 (ryc. 4). Położenie zlewni ZMŚP w obszarach cennych przyrodniczo zwiększa znaczenie ZMŚP w innych programach dotyczących m. in. ochrony siedlisk cennych przyrodniczo i dla 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.



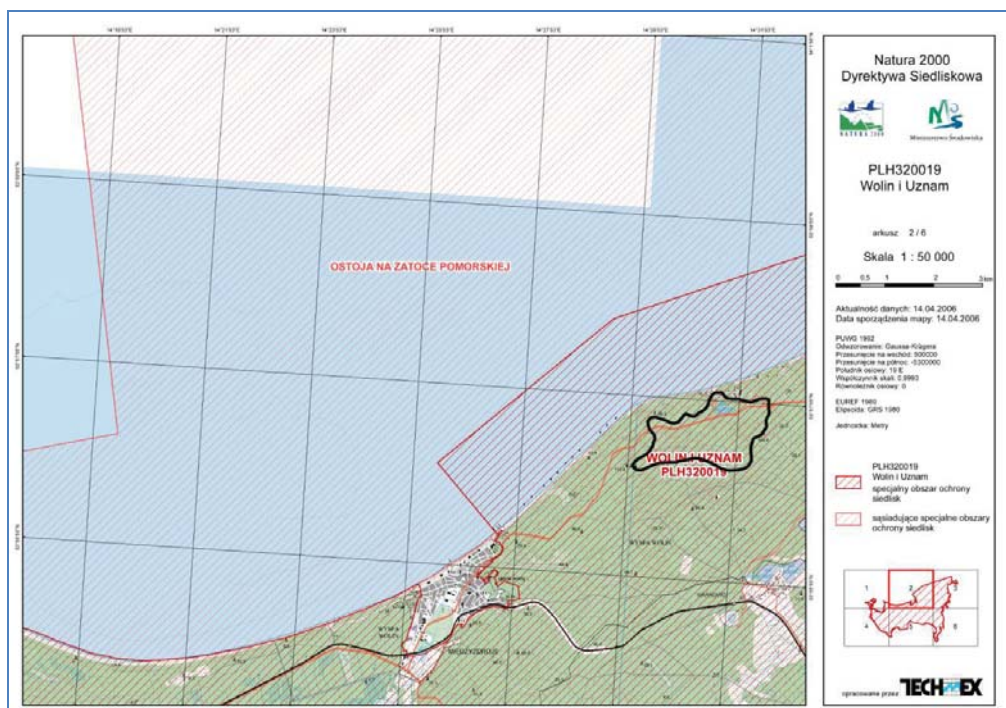
Ryc. 3. Lokalizacja Stacji Bazowych ZMŚP w Parkach Narodowych Polski



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

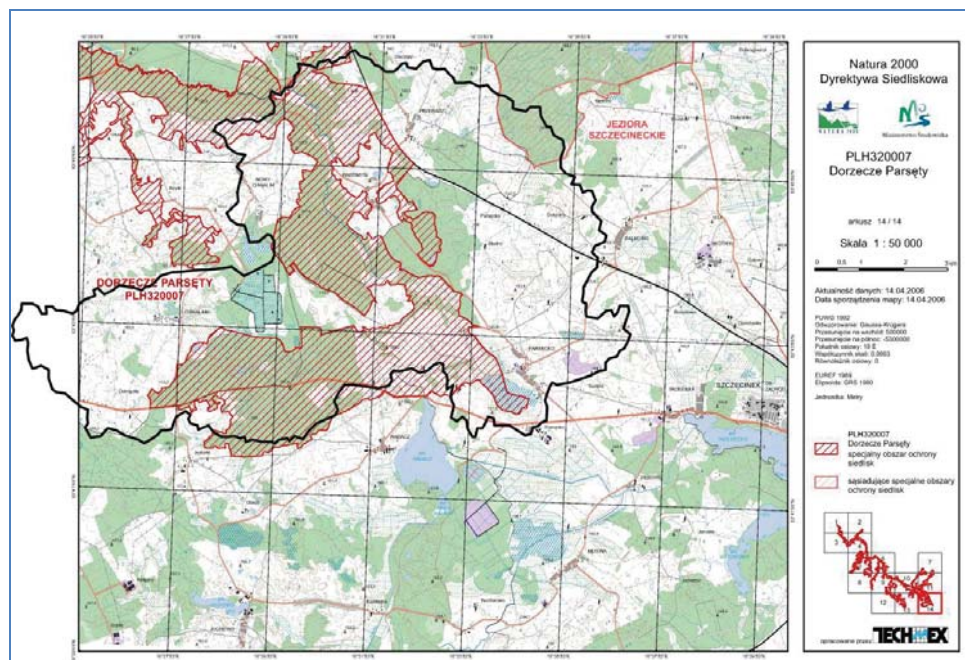
Spośród dziewięciu Stacji Bazowych ZMŚP siedem jest położonych całkowicie, albo w znacznej części na obszarach Natura 2000. Jedynie zlewnie Stacji Bazowych w Koniczynie oraz w Szymbarku są położone poza granicami obszarów Natura 2000.

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).



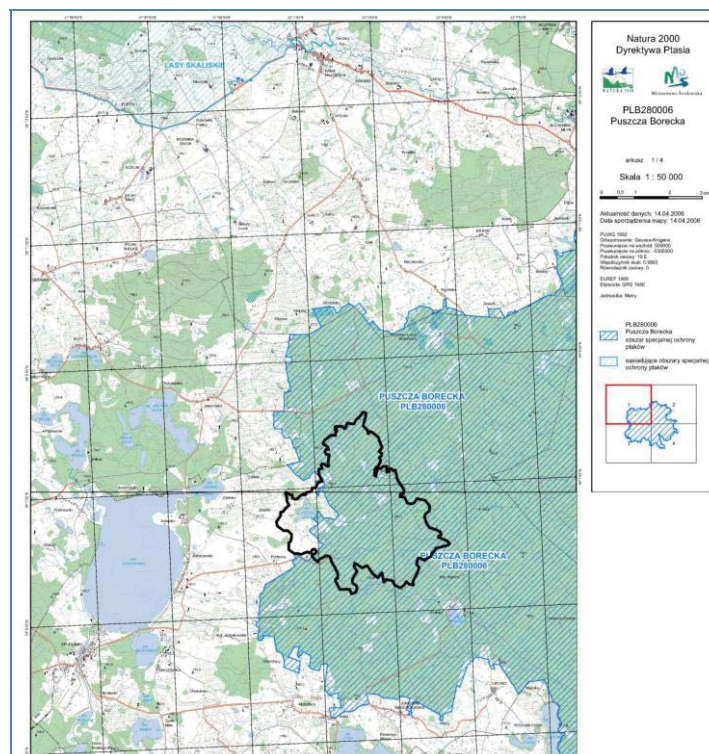
Ryc. 5. Zlewnia jeziora Gardno (Stacja Bazowa Biała Góra) na tle obszarów Natura 2000 (mapa za Techmex 2006)

Około 35% powierzchni zlewni górnej Parsęty w Stacji Bazowej Storkowo wchodzi w skład Obszaru Natura 2000 *Dorzecze Parsęty* (PLH320007) i *Jeziora Szczecińskie* (PLH320009), (ryc. 6).



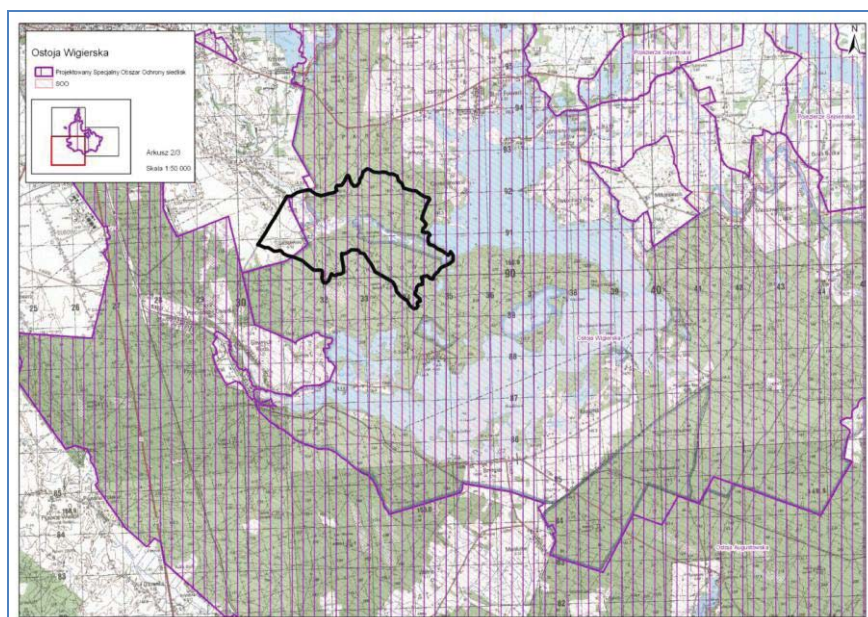
Ryc. 6. Zlewnia górnej Parsęty (Stacja Bazowa Storkowo) na tle obszarów Natura 2000 (mapa za Techmex 2006)

Zlewnia jeziora Łękek monitorowana przez Stację Bazową Puszcza Borecka w około 80% położona jest w granicach obszaru Natura 2000 *Puszcza Borecka* (PLH280006), (ryc. 7).



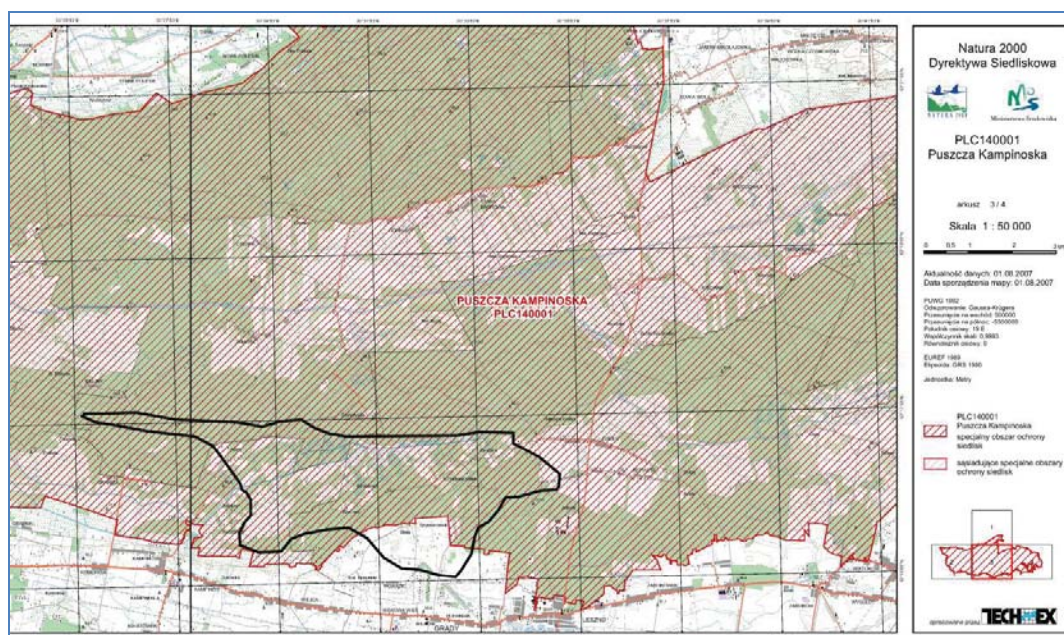
Ryc. 7. Zlewnia jeziora Łękek (Stacja Bazowa Puszcza Borecka) na tle obszarów Natura 2000 (mapa za Techmex 2006)

Zlewnia Czarnej Hańczy, objęta monitoringiem w Stacji Bazowej Wigry, wchodzi w około 80% w skład obszaru Natura 2000 *Ostoja Wigierska* (PLH200004), (ryc. 8). Ponadto zlewnia leży w Wigierskim Parku Narodowym.



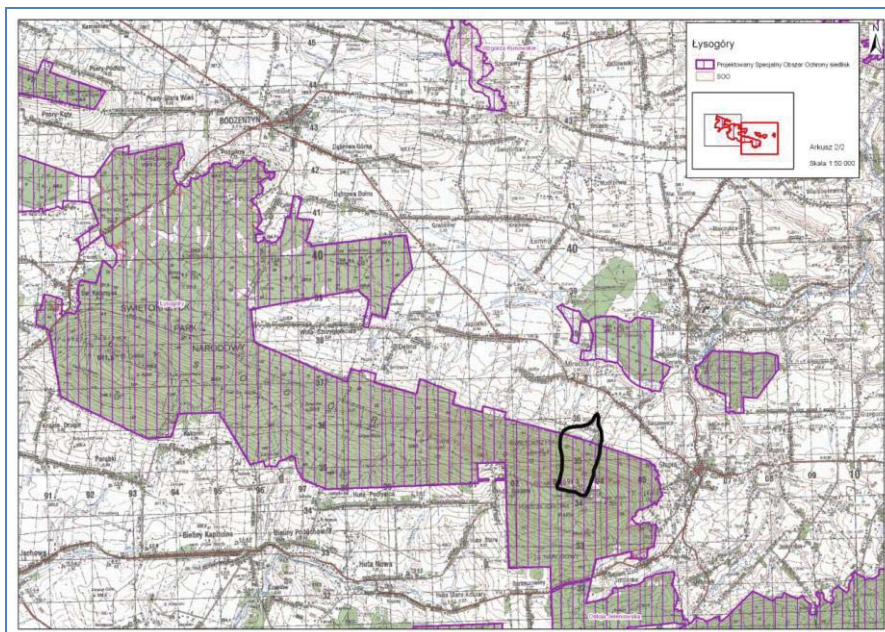
Ryc. 8. Zlewni różnicowa Czarnej Hańczy (Stacja Bazowa Wigry) na tle obszarów Natura 2000 (mapa za Techmex 2006)

Zlewnia Kanału Olszowieckiego w Stacji Bazowej Kampinos w około 85% położona jest na terenie obszaru Natura 2000 *Puszcza Kampinowska* (PLC140001) oraz w Kampinoskim Parku Narodowym (ryc. 9).



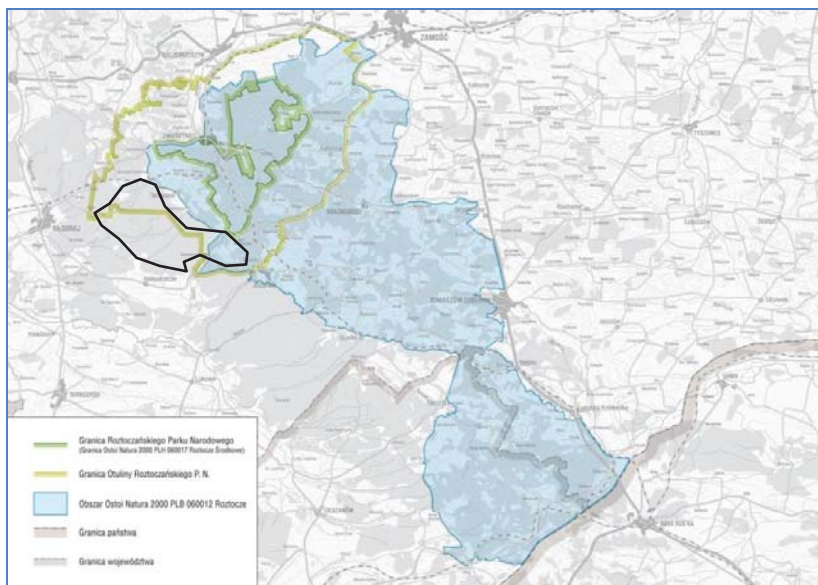
Ryc. 9. Zlewnia Kanału Olszowieckiego (Stacja Bazowa Kampinos) na tle obszarów Natura 2000 (mapa za Techmex 2007)

Okolo 75% zlewni badawczej w Stacji Bazowej Święty Krzyż leży w granicach obszaru Natura 2000 *Łysogóry* (PLH260002) oraz na terenie Świętokrzyskiego Parku Narodowego (ryc. 10).



Ryc. 10. Położenie zlewni badawczej w Stacji Bazowej Święty Krzyż na tle obszarów Natura 2000 (mapa za Techmex 2007)

Zlewnia Świerszcza monitorowana w Stacji Bazowej 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. 11).



Ryc. 11. Zlewnia Świerszcza (Stacja Bazowa Roztocze) na tle obszarów Natura 2000 (<http://www.roztozczanski.pn.pl/RPNA4nr3.jpg>)

Z powyższego zestawienia wynika, że zlewnie badawcze Stacji Bazowych ZMŚP mogą w zasadniczy sposób wspierać krajowy system ochrony przyrody w ramach projektu Natura 2000. Mają ważne znaczenie dla podstawowych celów powołania projektu Natura 2000 i zachowania dziedzictwa przyrodniczego Polski oraz kształtowania polityki zrównoważonego rozwoju (Herbich 2003).

4. PROGRAM BADAWCZO-POMIAROWY STACJI BAZOWYCH ZMŚP

W 2015 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.

Tab. 3. Podstawowy program pomiarowy realizowany przez Stacje Bazowe ZMŚP w 2015 roku

Program pomiarowy	Wolin	Storkowo	Puszcza Borecka	Wigry	Koniczynka	Kampinos	Święty Krzyż	Roztocze	Szymbark
Meteorologia A1									
Zanieczyszczenie powietrza B1									
Chemizm opadów atmosferycznych C1									
Chemizm opadu podkoronowego C2									
Chemizm spływu po pniach C3									
Roztwory glebowe F1									
Wody podziemne F2									
Opad organiczny G2									
Wody powierzchniowe - rzeki H1									
Wody powierzchniowe – jeziora H2									
Struktura i dynamika szaty roślinnej J2									
Gatunki inwazyjne obcego pochodzenia – rośliny J3									
Uszkodzenia drzew i drzewostanów K1									
Epifity nadrzewne M1									
	zrealizowany bezpośrednio przez Stacje		nie wykonywany – brak w zlewni danego komponentu środowiska geograficznego				nie realizowany w 2015 roku – program obligatoryjnie do wykonania w 2016 roku		
	zrealizowany we współpracy z zespołami specjalistycznymi, np. WIOŚ, IOŚ		nie zrealizowany – brak sprzętu, lub inne przyczyny				nie zrealizowany		

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

wykonywano 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 zbiorniki jeziorne, 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. Program struktura i dynamika szaty roślinnej J2 wykonywany jest 1 raz/5 lat. W 2015 roku program ten wykonano w Stacji Storkowo. Obligatoryjnie program J2 wykonany będzie przez pozostałe Stacje Bazowe ZMŚP w 2016 roku.

W tabeli 4 przedstawiono programy i parametry pomiarowe zrealizowane w 2015 roku w Stacjach Bazowych ZMŚP, zarówno w ramach zakresu obligatoryjnego jak i rozszerzonego.

Tab. 4. Zakres programów i parametrów pomiarowych ZMŚP wykonanych w Stacjach Bazowych w 2015 roku

Program	Parametr	Kod parametru	Częstotliwość pomiarów/ czas uśredniania	Status Uwagi
METEOROLOGIA AI	Zakres obligatoryjny			
	ciśnienie atmosferyczne (zredukowane do poziomu morza)	PRES	pomiar ciągły/średnia dobową	Wszystkie Stacje
	temperatura powietrza na 2 m	TA_D	pomiar ciągły/średnia dobową	
	minimalna temperatura powietrza na 2 m	TA_N	pomiar ciągły/minimalna dobową	
	maksymalna temperatura powietrza na 2 m	TA_X	pomiar ciągły/maksymalna dobową	
	temperatura minimalna powietrza przy powierzchni gruntu (5 cm nad gruntem)	TA_G	pomiar ciągły/minimalna dobową	
	temperatura gruntu na głębokościach 5, 20 i 50 cm	T_S	pomiar ciągły/średnia dobową	
	wilgotność względna powietrza na 2 m	HH	pomiar ciągły/średnia dobową	
	wysokość opadów na 1 m	RR_T	1/dobę/suma dobową	
	rodzaj opadów		1/dobę	
	prędkość wiatru na 10 m	WIV	pomiar ciągły/średnia dobową	
	kierunek wiatru na 10 m	WID	pomiar ciągły/wartość modalna	
	grubość pokrywy śnieżnej	SC_H	1/dobę	
	natężenie promieniowania całkowitego – suma dobową	SOL_T_S	pomiar ciągły/suma dobową ze średnich godzinnych	
	uśłonecznienie	SOL_P	pomiar ciągły/suma dobową	Wszystkie Stacje; oprócz Storkowa (brak aparatury, realizowany od XI 2015)

Stan geoekosystemów Polski w 2015 roku

	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				
	ozon O ₃	O3				
	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-SO ₄	SO4S				
	azot azotanowy N-NO ₃	NO3N				
	azot amonowy N-NH ₄	NH4N				
	chlorki Cl	CL				
	sód Na	NA				
	potas K	K				
	wapń Ca	CA				
	magnez Mg	MG				
	Zakres rozszerzony					
	fosfor ogólny P _{ogól.}	PTOT	12/rok z próbek dobowych lub tygodniowych	Puszcza Borecka		
	kadm Cd	CD				
	miedź Cu	CU				
	ołów Pb	PB				
	mangan Mn	MN				
	żelazo Fe	FE				
	cynk Zn	ZN				
	nikiel Ni	NI				
	arsen As	AS				
	chrom Cr	CR				
	glin Al	AL				
OPAD PODKORONOWY C2	Zakres obligatoryjny					
	opad podkoronowy	RR_TF	12/rok	Wszystkie Stacje		
	przewodność elektrolityczna właściwa (SEC)	COND	12/rok z próbek tygodniowych			
	odczyn (pH)	PH				
	siarka siarczanowa S-SO ₄	SO4S				
	azot azotanowy N-NO ₃	NO3N				
	azot amonowy N-NH ₄	NH4N				
	chlorki Cl	CL				
	sód Na	NA				
	potas K	K				
	wapń Ca	CA				
	magnez Mg	MG				
	Zakres rozszerzony					

Stan geoekosystemów Polski w 2015 roku

	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; Koniczynka (brak wody – susza),
	odczyn (pH)	PH		
	siarka siarczanowa S-SO4	SO4S		
	azot azotanowy N-NO3	NO3N		
	azot amonowy N-NH4	NH4N		
	fosfor ogólny Pogól.	PTOT		
	chlorki Cl	CL		Wszystkie Stacje; Koniczynka (brak wody – susza), Kampinos (zbyt mała ilość wody)
	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		Wszystkie Stacje; oprócz Roztocza
	Zakres rozszerzony			
	krzemionka SiO2	SIO2	1/kwartał	Storkowo, Puszcza Borecka

Stan geoekosystemów Polski w 2015 roku

	rozpuszczony węgiel organiczny RWO	DOC		Puszcza Borecka		
	mangan Mn	MN				
	żelazo Fe	FE				
	kadm Cd	CD				
	miedź Cu	CU				
	ołów Pb	PB				
	cynk Zn	ZN				
	nikiel Ni	NI				
	arsen As	AS				
	chrom Cr	CR				
OPAD ORGANICZNY G2	Zakres obligatoryjny			Wszystkie Stacje – oprócz Koniczynki (brak powierzchni leśnej)		
	opad organiczny (masa sucha)	LDEP_D_f	12/rok			
	całkowity węgiel organiczny Corg	TOC	1 rok z próbek miesięcznych			
	azot ogólny Nogól.	NTOT				
	fosfor ogólny Pogól.	PTOT				
	potas K	K				
	Zakres rozszerzony			1 rok z próbek miesięcznych	Puszcza Borecka, Kampinos, Roztocze, Szymbark	
	siarka ogólna Sogól.	STOT	Puszcza Borecka, Roztocze, Szymbark			
	wapń Ca	CA				
	magnez Mg	MG				
	sód Na	NA				
	mangan Mn	MN				
	cynk Zn	ZN				
	bor B	B				
	miedź Cu	CU				
	molibden Mo	MO				
	ołów Pb	PB				
	kadm Cd	CD				
	WODY POWIERCHNIOWE RZEKI H1	Zakres obligatoryjny			Wszystkie Stacje – oprócz Puszczy Boreckiej (brak cieku)	
poziom wody		WL				ciągła rejestracja
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				1/miesiąc	Storkowo	
krzemionka SiO2		SIO2				
fosfor fosforanowy P-PO4		PO4P				
mangan Mn		MN				
		żelazo Fe	FE			

Stan geoekosystemów Polski w 2015 roku

WODY POWIERZCHNIOWE JEZIORA H2	Zakres obligatoryjny			
	poziom wody	WL	1/miesiąc	Wolin, Storkowo, Puszcza Borecka, Koniczynka
	temperatura wody	TEMP	1/kwartał	
	przewodność elektrolityczna (SEC)	COND		
	odczyn pH	PH		
	wodorowęglany (jeżeli pH > 4,5)	HCO3		
	sód Na	NA		
	potas K	K		
	wapń Ca	CA		
	magnez Mg	MG		
	azot azotanowy N-NO3	NO3N		
	azot amonowy N-NH4	NH4N		
	siarka siarczanowa S-SO4	SO4S		
	chlorki	CL		
	fosfor ogólny Pogól.	PTOT		
	fosfor fosforanowy PO4P	PO4P		
	tlen rozpuszczony O2	O2D		
	BZT5	BZT5		
	glin Al	AL		
	Zakres rozszerzony			
	zawiesina	SUS	1/kwartał	Storkowo, Puszcza Borecka
	krzemionka SiO2	SIO2		
	mangan Mn	MN		
	żelazo Fe	FE		
	fosfor fosforanowy PO4P	PO4P		Puszcza Borecka
	rozpuszczony węgiel organiczny RWO	DOC		
	kadm Cd	CD		
	miedź Cu	CU		
	ołów Pb	PB		
	cynk Zn	ZN		
	nikiel Ni	NI		
	arsen As	AS		
STRUKTURA I DYNAMIKA SZATY ROŚLINNEJ J2	Zakres obligatoryjny			
	ilość drzew żywych (gatunkami)	NUM_L	1/5 lat W 2016 roku obligatoryjnie przez wszystkie Stacje	Storkowo
	ilość drzew martwych stojących (gatunkami)	NUM_D		
	ilość drzew martwych leżących (gatunkami)	NUM_F		
	ilość pniaków (gatunkami)	NUM_S		
	pierśnica (średnica na wys. 1,3 m) drzew żywych (gatunkami)	DBH_L		
	pierśnica (średnica na wys. 1,3 m) drzew martwych stojących (gatunkami)	DBH_D		

	pierśnica (średnica na wys. 1,3 m) drzew martwych leżących (gatunkami)	DBH_F		
	średnica (na wysokości ścięcia) pniaków (gatunkami)	DBH_S		
MONITORING GATUNKÓW INWAZYJNYCH OBCEGO POCHODZENIA – ROŚLINY J3	Zakres obligatoryjny			
	liczba gatunków	NSPEC	Co roku, przez cały sezon wegetacyjny	Zgodnie z założeniami w 2015 roku dokonano rozpoznania i zebrania materiału dokumentacyjnego n.t. występowania gatunków inwazyjnych na badanym obszarze.
	liczebność osobników juvenilnych (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_SPEC	1/rok	Wszystkie Stacje (oprócz Koniczynki – brak powierzchni leśnej)
	zdrowotność plechy	HEALTH_L		
	liczba osobników na pniu			

W 2015 roku na Stacjach Bazowych wykonywane były przez Ekspertów ZMŚP zadania specjalistyczne, które dotyczyły określenia stanu środowiska przyrodniczego (tab. 4). Wyniki badań dotyczące metali ciężkich i siarki w porostach, hydrobiologii rzek i usług geoekosystemów przedstawiono w rozdziale podsumowującym niniejsze opracowanie.

Tab. 4. Programy badawczo-pomiarowe ZMŚP zrealizowane w Stacjach Bazowych ZMŚP przez Ekspertów ZMŚP w 2015 roku

Program pomiarowy	Wolin	Storkowo	Puszcza Borecka	Wigry	Koniczynka	Kampinos	Święty Krzyż	Roztocze	Szymbark
Metale ciężkie i siarka w porostach D1									
Gleby E1									
Hydrobiologia rzek – makrofity i ocena hydromorfologiczna koryta rzeczno-jeziornego II									
Ocena usług geoekosystemów R1									
	zrealizowany przez Eksperta ZMŚP		nie zrealizowany w 2015 roku – obligatoryjnie do realizacji w latach 2016 i 2017						

Stacje Bazowe ponadto realizowały w 2015 roku programy specjalistyczne, które wynikają z indywidualności przyrodniczej położenia obszaru badań:

- 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 zimujących nietoperzy i bociana białego (Stacja Bazowa Kampinos),
- funkcjonowanie geoekosystemu 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).

5. GEOINDYKATORY ILOŚCIOWE 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 roku hydrologicznego 2015.

Warunki pogodowe

Charakterystyka warunków pogodowych uwzględnia następujące wskaźniki i klasyfikacje meteorologiczne, mające największe 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,
- liczbę dni charakterystycznych pod względem termiczno-wilgotnościowym,
- tendencje zmian warunków cieplnych i wilgotnościowych,
- klasyfikację termiczno-opadową,
- zdarzenia ekstremalne.

Średnia roczna temperatura powietrza i suma opadów atmosferycznych na tle wielolecia

Warunki termiczne wyrażone w postaci średniej rocznej temperatury powietrza są dla Stacji Bazowych zróżnicowane i determinowane położeniem badanych zlewni w określonym regionie klimatycznym Polski. Polska znajduje się w strefie klimatu umiarkowanego przejściowego, która charakteryzuje się w regionach północno-zachodnich cechami oceanizmu dla Stacji Bazowej Wolin oraz Storkowo) a w regionach południowo-wschodnich cechami kontynentalizmu dla Stacji Bazowej Roztocze oraz Szymbark. O zmienności przestrzennej warunków termicznych świadczyć może np. spadek średniej temperatury powietrza w północnej strefie młodoglacjalnej Niżu Polskiego, z zachodu na wschód, od wartości 9,3°C w SB Wolinie, 8,3°C w SB Storkowie, 7,7°C w SB Puszczy Boreckiej do 7,4°C w SB Wigrach (2009-2015). W powyższym transekcie równoleżnikowym bardzo dobrze zaznacza się wpływ oceanizmu (Stacja Bazowa Wolin i Storkowo) oraz kontynentalizmu (Stacja Bazowa Puszcza Borecka, Wigry) klimatu strefy młodoglacjalnej Polski. Współczynnik kontynentalizmu wg Gorczańskiego w 2015 roku wynosił od 19% w Stacji Bazowej Wolin do 22% w Stacji Bazowej Wigry. Wzrost wskaźnika kontynentalizmu

Gorczyńskiego stwierdzono także w transekcie południkowym, gdzie w 2015 roku jego wartość wynosiła od 19% w Stacji Bazowej Wolin do 25% w Stacji Bazowej Szymbark.

Wzrost kontynentalizmu klimatu w Polsce północnej przejawia się m. in. pewną tendencją spadku rocznej sumy opadów w kierunku wschodnim (tab. 5). Średnia roczna suma opadów (1995-2015) w strefie młodoglacjalnej maleje, od Storkowa 653 mm do 611 mm w Stacji Bazowej Puszczy Boreckiej. Zmniejszanie się ilości opadów zachodzi również w transekcie południkowym w Niżu Polskiego (1995-2014), od Stacji Bazowej Storkowo (653 mm) do Stacji Bazowej Konieczynka (488 mm) i Stacji Bazowej Kampinos (463 mm). W Stacjach Bazowych położonych dalej na południe wyższe opady są efektem ich położenia na obszarach górskich, Stacja Bazowa Szymbark 794 mm.

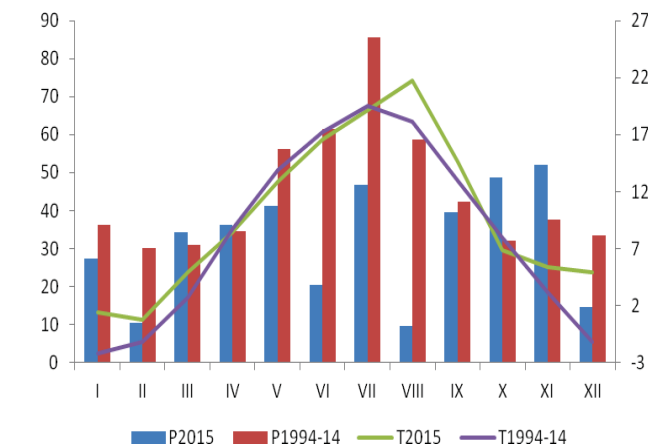
Poza regionalnymi czynnikami kontynentalno-oceanicznymi na warunki termiczne i opadowe w zlewniach ZMŚP wpływają czynniki lokalne, związane m. in. z położeniem nad poziomem morza (np. SB Święty Krzyż w Górach Świętokrzyskich, SB Szymbark w Beskidzie Niskim) czy odległością od dużych zbiorników wodnych (np. SB Wolin nad Morzem Bałtyckim).

Tab. 5. Średnia temperatura powietrza i suma opadów atmosferycznych dla Stacji Bazowych ZMŚP (dla wielolecia 2009-2014 i 2015).

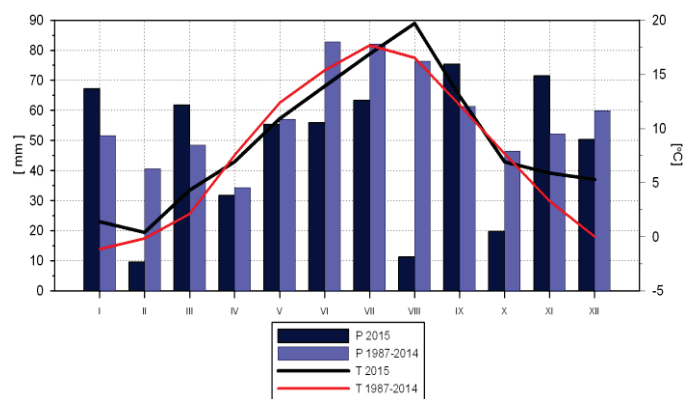
Stacja ZMŚP (Okres pomiarowy)	Średnia temperatura powietrza		Suma opadów atmosferycznych	
	°C		mm	
	2015	wielolecie	2015	wielolecie
Wolin (2009-2014)	9,7	9,1	573,0	639,0
Storkowo (1995-2014)	8,9	7,9	599,4	706,2
Puszcza Borecka (1995-2014)	8,4	7,2	539,7	683,1
Wigry (2002-2014)	7,9	7,2	418,6	612,5
Konieczynka (1995-2014)	9,8	8,4	403,0	573,1
Kampinos (1995-2014)	9,8	8,1	381,4	543,8
Święty Krzyż (1999-2014)	8,2	7,3	650,6	723,4
Roztocze (2012-2014)	9,1	8,1	635,0	680,4
Szymbark (1995-2014)	9,7	8,6	715,5	873,1

We wszystkich zlewniach badawczych ZMŚP 2015 rok był znacznie cieplejszy i bardziej suchy niż wartość średnia z wielolecia (tab. 5). Szczególnie wysoka średnia roczna temperatura powietrza występowała w centralnej Polsce 9,8°C (Konieczynka i Kampinos) co

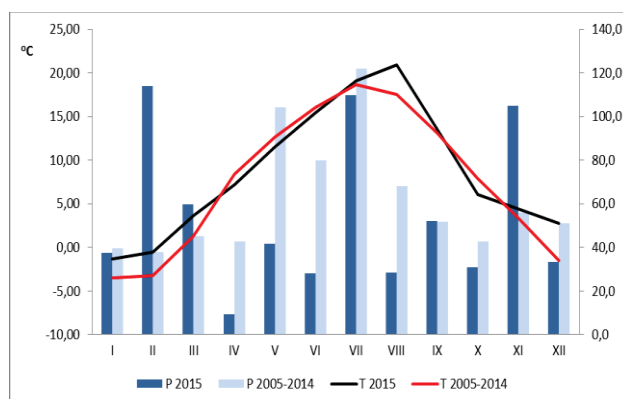
przy niskich opadach atmosferycznych (Koniczynka 403,0 mm i Kampinos tylko 381,4 mm) zadecydowało o pogorszeniu warunków wodnych w 2015 roku. Względnie najmniejszy ubytek zasobów wodnych występował w zlewniach górskich (Święty Krzyż i Szymbark), gdzie opady były o 1/3 wyższe niż w centralnej części kraju.



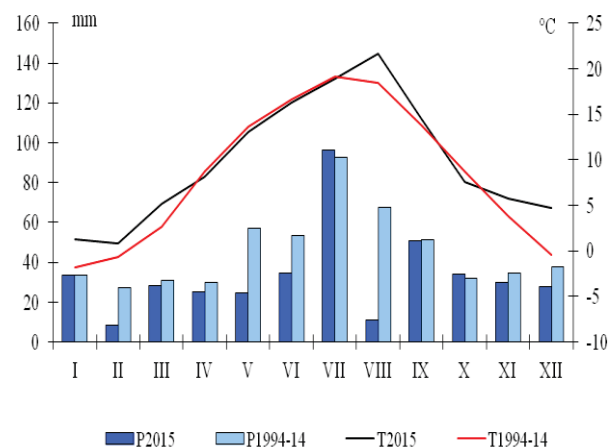
Stacja Bazowa Kampinos



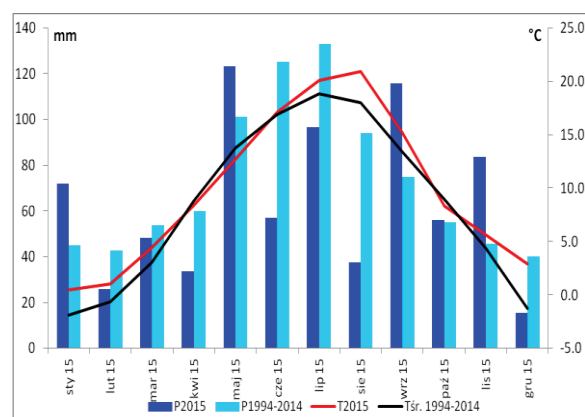
Stacja Bazowa Storkowo



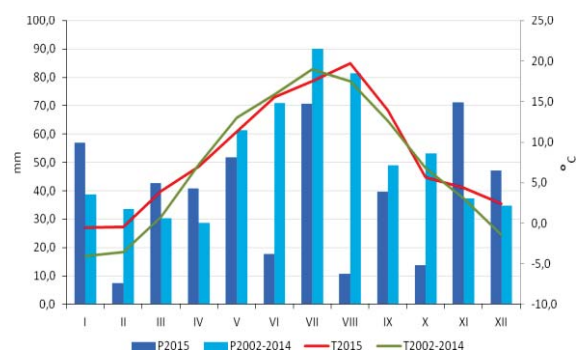
Stacja Bazowa Święty Krzyż



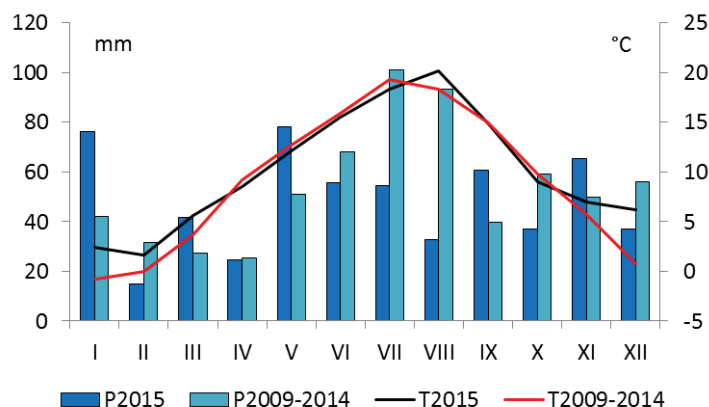
Stacja Bazowa Koniczynka



Stacja Bazowa Szymbark



Stacja Bazowa Wigry



Stacja Bazowa Wolin

Ryc. 12. Przebieg miesięczny temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2015 roku na tle wielolecia

Analiza zmienności miesięcznej warunków termiczno-opadowych (ryc. 12) ukazuje bardzo niekorzystny ich rozkład czasowy w 2015 roku na tle wielolecia. Przebieg miesięczny temperatury powietrza i opadów atmosferycznych ukazuje bardzo niekorzystną sytuację spadku zasobów wodnych w całym kraju, a zwłaszcza w regionach NE (SB Wigry), centralnych (SB Konieczynka, SB Kampinos) i SE (SB Szymbark). Miesięczny przebieg średniej temperatury powietrza we wszystkich Stacjach Bazowych ZMŚP odbiegał znacząco od tendencji wieloletniej, co przejawiało się zwłaszcza wyższymi wartościami temperatury powietrza w okresie zimowym, od stycznia do marca oraz w sierpniu i od listopada do grudnia. Jedynie w okresie od kwietnia do lipca oraz wrzesień wartości średniej miesięcznej temperatury powietrza nawiązywały do tendencji wieloletniej. Pod względem opadowym dynamika miesięczna atmosferycznej dostawy wody w 2015 roku była bardzo zła. Prawie przez cały sezon wegetacyjny opady były niższe od prawidłowości wieloletniej. Od maja do sierpnia na większości Stacji Bazowych występował deficyt opadów atmosferycznych, co w maju i czerwcu jest szczególnie niekorzystne zwłaszcza dla rozwoju roślinności, gdyż w tym czasie występuje ich najszybszy rozwój. Względnie najmniej niekorzystna sytuacja w 2015 roku występowała w NW części Polski, w regionie nadmorskim (SB Wolin), gdzie miesięczne dysproporcje termiczno-wilgotnościowe były najmniejsze.

Liczba dni charakterystycznych pod względem termiczno-wilgotnościowym

Na dynamikę sezonową obiegu wody w zlewniach ZMŚP w największym stopniu wpływają uwarunkowania meteorologiczne, ujęte m.in. w postaci liczby dni charakterystycznych pod względem termiczno-wilgotnościowym (tab. 6). Najwięcej dni upalnych ($T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$) w 2015 roku wystąpiło w centralnej i SE Polsce, np. w Szymbarku było takich dni 33, w Kampinosie 29 a na Roztoczu 26. Znaczna ilość dni upalnych na tych Stacjach generowała wysokie parowanie terenowe i pogarszanie warunków retencji wody. Najmniej dni upalnych wystąpiło w Polsce północnej (Wolin tylko 5, Puszcza Borecka 8) i w zlewni gór Świętokrzyskich (tylko 5). Na mniej ekstremalne warunki cieplne (termika, ewaporacja) tych zlewni ZMŚP oprócz uwarunkowań pogodowych wpłynął fakt dominacji leśnego użytkowania terenu, który łagodzi ekstrema termiczne. O wyjątkowych warunkach termicznych 2015 roku świadczy także niska ilość dni przymrozkowych a zwłaszcza mroźnych. Pod tym względem ($T_{\text{sr}} < 0^{\circ}\text{C}$) najwięcej takich przypadków stwierdzono w Polsce centralnej i NE, w pasie od Wigier (31 dni), poprzez Kampinos (37 dni) do Świętego Krzyża (71 dni). Opady atmosferyczne w 2015 roku charakteryzowały się małą frekwencją i niską wydajnością (tab. 6). Stwierdzono występowanie opadów od 180 przypadków (Koniczynka) do zaledwie 83 dni z opadem na Roztoczu. O bardzo złej możliwości retencji wody w 2015 roku w badanych zlewniach ZMŚP świadczy nie tylko niska frekwencja opadów ale przede wszystkim ich bardzo mała wydajność. Mała wydajność opadów przy wysokiej termice powietrza i parowaniu terenowym powodowały spadek zasobów wód powierzchniowych i podziemnych. Pod tym względem szczególnie niekorzystna sytuacja wystąpiła w Polsce NE, gdzie opadów o sumie dobowej ≥ 10 mm było bardzo mało – w Wigrach i Kampinosie zaledwie 8 przypadków a w Koniczynie 9. Pod względem struktury opadów atmosferycznych względnie najkorzystniejsza sytuacja (poza stacjami górskimi) w 2015 roku była w Polsce północnej (od Wolina poprzez Storkowo do Puszczy Boreckiej), gdzie opadów o sumie ≥ 10 mm było najwięcej. O złych warunkach pluwiometrycznych w 2015 roku świadczy także niska maksymalna wartość opadu dobowego, gdzie na żadnej Stacji ZMŚP nie była ona wyższa niż 50 mm. Warunki śnieżne odgrywały marginalną rolę w retencji wody w badanych zlewniach. Pokrywa śnieżna zalegała krótko (od 9 dni w Kampinosie do 57 dni w Wigrach) i miała małą maksymalną miąższość (od 3 cm w Kampinosie do 32 cm w Wigrach).

Tab. 6. Przebieg miesięczny temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2015 roku na tle wielolecia

Element pogody	Stacja ZMŚP								
	Wolin	Storkowo	Puszcza Borecka	Wigry	Koniczynka	Kampinos	Święty Krzyż	Roztocze	Szymbark
Dni bardzo upalne T _{max} >35°C	0	1	0	1	2	7	0	0	6
Dni upalne T _{max} >30°C	5	12	8	14	18	29	5	25	33
Dni gorące T _{max} >20°C	24	40	34	41	47	57	35	26	68
Dni przy-mrozkowe T _{min} <0°C	42	114	97	116	78	103	107	58	86
Dni mroźne T _{sr} <0°C	8	15	23	31	16	37	71	25	19
Dni bardzo mroźne T _{min} <-10°C	0	4	2	9	3	3	7	5	5
Dni z opadem ≥0,1 mm	154	147	169	143	180	143	135	83	167
Dni z opadem ≥1,0 mm	93	104	125	91	77	82	88	66	105
Dni z opadem ≥10,0 mm	17	16	15	8	9	8	19	13	22
Maksymalny opad dobowy [mm]	22,9	32,1	28,1	22,4	31,2	24,7	48,2	29,4	28,1
Dni z pokrywą śnieżną	25	17	49	57	18	9	b.d.	42	42
Maksymalna grubość pokrywy śnieżnej [cm]	18	6	28	32	5	3	b.d.	31	15

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

Wskaźnik termiczno-opadowy

Klasyfikacja termiczno-opadowa pozwala zaklasyfikować interwały czasowe (roczne i miesięczne) pod względem klimatycznych właściwości dostawy i dalszego krążenia wody w zlewni (Szpikowski 2012, Tylkowski 2015). Do ilościowego określenia właściwości klimatycznych poszczególnych lat zastosowano powszechnie stosowaną, także w raportach

Stacji Bazowych ZMŚP, 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 odniesienia wskaźników meteorologicznych w odniesieniu do lat hydrologicznych.

Opadową klasyfikację wyznaczono w oparciu o roczną sumę opadów atmosferycznych, 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 w stosunku do rocznej sumy opadu z wielolecia (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	$p \geq 110\% p_{\text{norm.}}$

Klasyfikacja opadowa potwierdza dużą zmienność warunków opadowych we wszystkich Stacjach Bazowych w analizowanym wieloleciu (tab. 8). Bardziej suchy okres przypadł na lata 2003-2006 (poza Wigami). Okres 2007-2012 charakteryzował się występowaniem rocznych opadów o sumie normalnej bądź wyższej od wartości normalnych, co stanowiło mogło o odbudowie zasobów wodnych w zlewniach badawczych. Natomiast lata 2013 i 2014 pod względem opadowym cechowały się bardzo dużym zróżnicowaniem przestrzennym. W 2015 roku w zdecydowanej większości Stacji stwierdzono deficyt opadów atmosferycznych. Jedynie na północy kraju w strefie nadmorskiej (Wolin), w Puszczy Boreckiej i na południu w strefie górskiej (Szymbark) był to rok normalny. Klasyfikacja opadów w 2015 roku świadczy o dużej niejednorodności przestrzennej opadów, co jest typowe dla klimatu Polski (tab. 8).

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									

dla lat

do 90%	90-110%	powyżej 110%

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

Wskaźnik klasyfikacji termicznej przedstawia znaczną zmienność czasową i przestrzenną średniej rocznej temperatury powietrza (tab. 10). Znaczne różnice termiczne na Stacjach Bazowych dla poszczególnych lat stwierdzone 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 2013 roku występuje kolejny okres o podwyższonych warunkach cieplnych. Rok 2014 a zwłaszcza rok 2015 we wszystkich Stacjach był rokiem cieplejszym od wartości normalnej. Taka sytuacja w ostatnich 2 latach świadczy o dominacji czynnika kontynentalizmu klimatu nad oceanizmem klimatycznym. Na właściwości cieplne w 2015 roku w badanych zlewniach ZMŚP nie mały większego wpływu uwarunkowania lokalne, związane m. in. z wysokością położenia zlewni i jej odległością od morza. W kontekście obiegu wody w zlewniach ZMŚP w 2015 roku szczególnie niekorzystna sytuacja termiczna występowała w Koniczynie i na Roztoczu, gdzie był to rok anomalnie ciepły. Wysokiemu parowaniu i niskiej retencji wody sprzyjały również warunki cieplne w Polsce NE (Puszcza Borecka i Wigry) i w strefie górskiej (Szymbark), dla których 2015 rok był bardzo ciepły. W Stacjach Wolin i Święty Krzyż ostatni rok badawczy był rokiem ciepłym a w Stacjach Storkowo i Kampinos był to rok lekko ciepły (tab. 10).

Tab. 10. Roczna klasyfikacja termiczna 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									

	ekstremalnie ciepły		normalny		lekko chłodny
	anomalnie ciepły				chłodny
	bardzo ciepły				bardzo chłodny
	ciepły				anomalnie chłodny
	lekko ciepły				ekstremalnie chłodny

Klasyfikacja termiczno-opadowa w 2015 dla wszystkich Stacji Bazowych ZMŚP w Polsce wskazuje na bardzo niekorzystne zjawisko, które związane jest z brakiem retencji i deficytem wody w zlewniach ZMŚP co przejawiało się spadkiem zasobów wód powierzchniowych i podziemnych. Dotyczy to zwłaszcza zlewni Strugi Toruńskiej w Konieczynie i Świerszcza na Roztoczu. Dla tych zlewni 2015 rok był anomalnie ciepły i suchy. Takie warunki wzmagają ewapotranspirację i spadek poziomu wód w badanych ciekach i warstwach wodonośnych zasilanych wodami infiltracyjnymi. Szczególnie zła sytuacja meteorologiczna wystąpiła w zlewni Strugi Toruńskiej, która jest zlewnią melioracyjną, rolniczą, prawie bezleśną o wysokim potencjale parowania terenowego.

Pomimo normalnego pod względem opadowym roku w Puszczy Boreckiej i Szymbarku warunki termiczne zakwalifikowane jako rok bardzo ciepły nie sprzyjały retencji wody w badanych zlewniach. Względnie najlepsza sytuacja, aczkolwiek także niekorzystna, występowała w 2015 roku w nadmorskiej zlewni Jeziora Gardno na wyspie Wolin, gdzie był to rok ciepły i normalny pod względem opadowym. Prawie pełne zalesienie tej zlewni oraz jej duża bezwładność hydrologiczna spowodowała, że skutki występowania niekorzystnych warunków pogodowych w 2015 roku na tym obszarze były najmniej widoczne.

Tab. 11. Klasyfikacja termiczno-opadowa dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2015 roku

2015 ROK	WOLIN	STORKOWO	PUSZCZA BORECKA	WIGRY	KONICZYŃKA	KAMPINOS	ŚWIĘTY KRZYŻ	ROZTOCZE	SZYMBARK
Klasyfikacja termiczna									
Klasyfikacja opadowa									

Klasyfikacja termiczna	
	anomalnie ciepły
	bardzo ciepły
	ciepły
	lekko ciepły

Klasyfikacja opadowa	
	suchy
	normalny

Zdarzenia ekstremalne

Zróznicowanie przestrzenne wskaźnika oceanizmu i kontynentalizmu klimatu Polski oraz wyniesienie nad poziomem morza przejawiają się mniejszymi kontrastami termicznymi w regionach NW niż w regionach SE. W 2015 roku wartości ekstremalne temperatury powietrza wynosiły w nadmorskiej Stacji Wolin od -4,9°C do 27,6°C (amplituda 32,5°C) a w górskiej Stacji Szymbark od -19,6°C do 36,7°C (amplituda 56,3°C).

W 2015 roku nie stwierdzono znacznego występowania wyjątkowych zdarzeń ekstremalnych, determinujących obieg wody w badanych zlewniach. W żadnej zlewni nie wystąpiły długotrwałe opady rozlewne o ≥ 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 w NW Polsce 2 razy: na Wolinie w dniach 5II-1III i 26IX-14X oraz w Storkowie w okresie 6-21VIII i 22IX-11X. W Polsce NE ciągów bezopadowych było mniej. W Puszczy Boreckiej wystąpiły 2 zdarzenia suszy, 27V-11VI i 29IX-14X a w Wigrach takich zdarzeń nie stwierdzono. W Koniczynie również wystąpiły fale suszy, zwłaszcza w sierpniu. W Kampinosie pomimo roku suchego nie stwierdzono występowania 15 dniowego okresu bezopadowego, ale susza meteorologiczna, glebowa i

hydrologiczna z pewnością występowała. Na Roztoczu susza meteorologiczna wystąpiła od 6 do 24 sierpnia i trwała przez 19 dni. Na południu Polski w Szymbarku także stwierdzono zjawisko suszy meteorologicznej, we wrześniu i październiku 2015 roku. Do innych zjawisk ekstremalnych ograniczających obieg wody były fale upałów, które odnotowano m. in. w Wigrach i Koniczynie. Fale upałów w sezonie letnim przełożyły się m. in. na zrzucanie liści w piętrze podszytu w Kampinosie.

W 2015 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 2015 roku hydrologicznym do najbardziej uciążliwych zjawisk ekstremalnych należały głównie susze i fala upałów w okresie letnim. Niska wydajność opadów atmosferycznych, wysokie temperatury powietrza i parowanie terenowe. Susza meteorologiczna była przyczyną suszy glebowej i suszy hydrologicznej, np. w zlewni Strugi Toruńskiej, która od lipca do połowy września nie prowadziła wody – rzeka wyschła.

Wody podziemne

Charakterystykę zmiany zasobów pierwszego poziomu wód podziemnych o zwierciadle swobodnym w zlewniach badawczych ZMŚP 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 decydująca o prędkości infiltracji wody. Ponadto duże znaczenie posiadają formy rzeźby użytkowania terenu 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 2015 roku hydrologicznym wartości wskaźnika miesięcznych zmian retencji wykazują duże zróżnicowanie czasowe i przestrzenne. Najmniejsza dynamikę miesięczną zmian retencji stwierdzono w Wigrach i Kampinosie, gdzie przez cały rok hydrologiczny uśredniona wartość wskaźnik R_M mieści się w przedziale jako retencja bez zmian. W pozostałych zlewniach dynamika tego wskaźnika była większa, zwłaszcza w Roztoczu, Szymbarku i Wolinie. Analiza przebiegu wskaźnika zmian retencji w 2015 roku wykazała pogorszenie zasobów wód podziemnych, zwłaszcza w okresie od kwietnia do czerwca oraz w sierpniu i październiku. Pogorszenie warunków wodnych w okresie letnim wynikało z małej wydajności opadów w tym czasie oraz dużej frekwencji dni gorących wzmagających ewaporację i w konsekwencji infiltracja wody do warstw podziemnych była ograniczona. Z kolei spadek retencji w okresie jesiennym był spowodowany występowaniem suszy meteorologicznej we wrześniu i październiku. Generalnie przebieg wskaźnika retencji wód podziemnych potwierdza słaby stan ilościowy wód podziemnych badanych zlewni w 2015 roku (tab. 12), co w konsekwencji prowadziło do możliwości wystąpienia zagrożenia niżówki hydrogeologicznej (tab. 13).

Tab. 12. Wskaźnik miesięcznych zmian retencji R_M dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2015 roku hydrologicznym

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

 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 :

$$k_n = 1 - G / \text{SNGW}_{(1994-2015)}$$

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

$SN_{Gw(1994-2015)}$ – 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 2015 roku hydrologicznym uśredniona wartości wskaźnika zagrożenia niżówką hydrogeologiczną wykazują mniejsze zróżnicowanie czasowo-przestrzenne niż wskaźnik miesięcznych zmian retencji. W rozkładzie przestrzennym można stwierdzić wyraźną strefę zagrożenia i występowania płytkiej niżówki przez cały rok w zlewniach młodogłacjalnych Niżu Polskiego (Stacja Bazowa: Wolin, Storkowo, Puszcza Borecka, Wigry i Koniczynka). Zagrożenie wystąpienia płytkiej niżówki występowało w półroczu letnim, zwłaszcza od czerwca do października. Stacja Bazowa Kampinos, w większości monitorowanych stanowisk wód podziemnych nie było zagrożenia wystąpienia niżówki hydrogeologicznej. W Stacjach SE wschodniej Polski (Stacja Bazowa: Roztocze, Szymbark) przez większość roku hydrologicznego, do czerwca, niżówka hydrogeologiczna nie występowała. Jednakże od sierpnia do października warunki hydrogeologiczne znacznie się pogorszyły, zwłaszcza na Stacji Roztocze, gdzie we wrześniu stwierdzono występowanie niżówki głębokiej (tab. 13).

Tab. 13. Wskaźnik zagrożenia niżówką hydrogeologiczną k_n dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2015 roku hydrologicznym

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

 wystąpienie głębokiej niżówki

 zagrożenie pojawienia się niżówki

 wystąpienie płytkiej niżówki

 brak zagrożenia niżówką hydrogeologiczną

** awaria sprzętu

* analiza niemożliwa z przyczyn metodycznych

Niekorzystne warunki hydrogeologiczne występujące w 2015 roku poprzez ograniczenie ich drenażu przez systemy rzeczne i jeziorne miały swoje odzwierciedlenie w spadku zasobów wód powierzchniowych.

Wody powierzchniowe

Reakcja badanych geoekosystemów w postaci wpływu zasilania opadowego i podziemnego widoczna jest w wodach powierzchniowych, zwłaszcza w wodach rzecznych stanowiących 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 2015 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)	0,30	5,60	11,70	2,40
Storkowo (Parsęta)	0,55	6,17	11,88	4,38
Wigry (Czarna Hańcza)	0,36	7,65	3,38	4,7
Koniczynka (Struga Toruńska)	0,02	0,30	0,80	0,00
Kampinos (Kanał Olszowiecki)	0,10	1,26	5,26	0,00
Święty Krzyż (C6)	0,47	5,44	-	-
Roztocze (Świerszcz)	0,14	2,42	6,61	1,87
Szymbark (Bystrzanka)	0,28	8,45	1,40	79,38

Współczynnik odpływu

Współczynnik odpływu α jest ilorazem warstw odpływu (O) i opadu (P). Wyrażany jest w % lub jako liczba 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 2015 roku współczynnik odpływu przyjmował wartości od 0,02 w Strudze Toruńskiej i 0,10 w Kanale Olszowieckim do wartości 0,47 w cieku C6 w Górach Świętokrzyskich i 0,55 w górnej Parsęcie. Zlewnie o szybkim drenażu wód podziemnych, w których dodatkowo notowano niską roczną wydajność opadów atmosferycznych i wysokie parowanie terenowe cechują się niską wartością współczynnika odpływu. Taka sytuacja świadczy o ograniczonej więzi i braku kontaktu hydrologicznego systemu rzeczno z zasilającymi go wodami podziemnymi, np. Struga Toruńska i Kanał Olszowiecki oraz Świerszcz.

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].

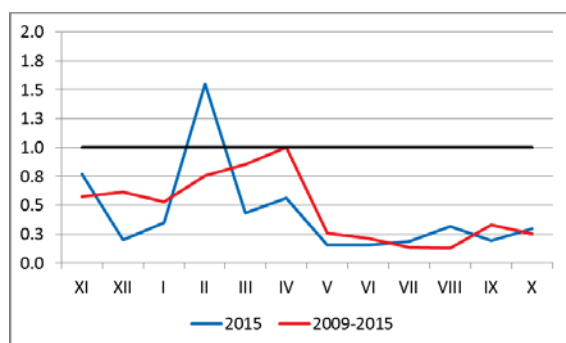
W badanych zlewniach ZMŚP w 2015 roku średni miesięczny wskaźnik odpływu jednostkowego przyjmował wartości od 0,30 w Koniczynie i 1,26 w Kampinosie do wartości 7,65 w Wigrach i 8,45 w Szymbarku. Niski odpływ jednostkowy w Strudze Toruńskiej i Kampinosie świadczy o braku kontaktu hydrologicznego tych systemów rzecznych z zasilającymi wodami podziemnymi a wręcz o możliwości drenażu wód rzecznych wskutek obniżonego poziomu wód podziemnych. Potwierdzeniem tego faktu jest brak odpływu rzeczno-egzogenicznego w Strudze Toruńskiej i Kanale Olszowieckim od lipca do września 2015 roku (tab. 14, ryc. 13).

Współczynnik miesięcznego przepływu

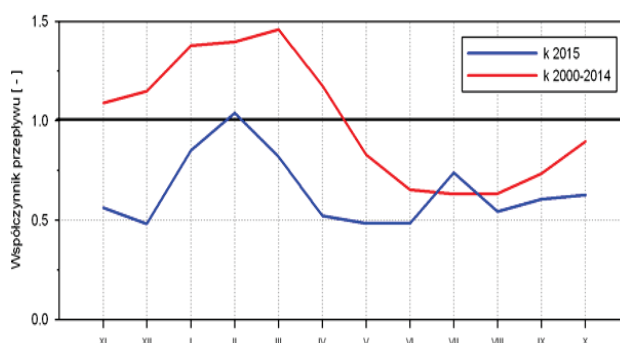
Podstawą oceny ustroju rzeczno-egzogenicznego w zlewni jest analiza zmienności przepływu w cyklu rocznym z uwzględnieniem danych z wielolecia. Wykorzystuje się w tym celu średnie miesięczne wartości przepływu z wielolecia oraz średnie roczne wartości odpływu z wielolecia. Wartości miesięcznych współczynników 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): $k=\text{SQ}_{\text{mi}}/\text{SQ}_{\text{r}}$, 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.

Współczynnik miesięcznych przepływów w 2015 roku hydrologicznym wyraźnie odbiegał od współczynnika przepływów dla wartości średnich z wielolecia (ryc. 13). Niskie opady w roku 2015 jak i w poprzednim roku spowodowały, że odpływy ze wszystkich zlewni ZMŚP w całym roku były wyjątkowo niskie. Jedynie sporadycznie występowały wyższe przepływy miesięczne od wartości średnich z wielolecia i były to przypadki o niewielkim zasięgu przestrzennym i niewielkiej dynamice fluwialnej, np., listopad w Czarnej Hańczy i

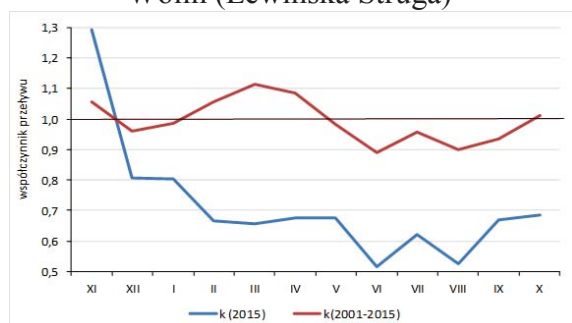
Strudze Toruńskiej, styczeń w Świerszczu, Bystrzance, luty w Lewińskiej Strudze czy lipiec w Parsęcie (ryc. 13). Trzy cieki Kanał Olszowiecki, Struga Toruńska i ciek C6 w okresie letnim wyschły i współczynnik przepływu wynosił wtedy 0 (ryc. 13).



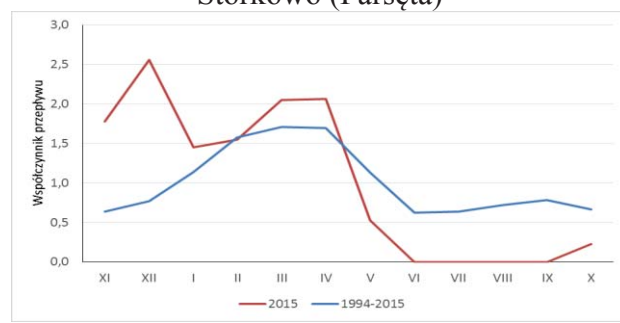
Wolin (Lewińska Struga)



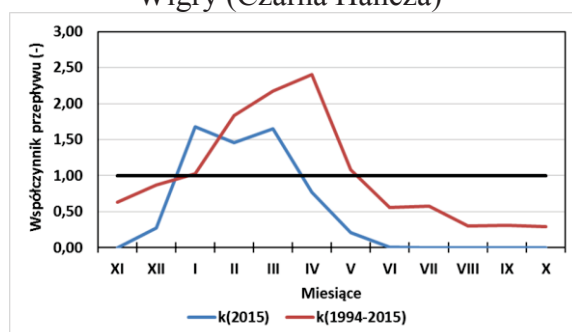
Storkowo (Parsęta)



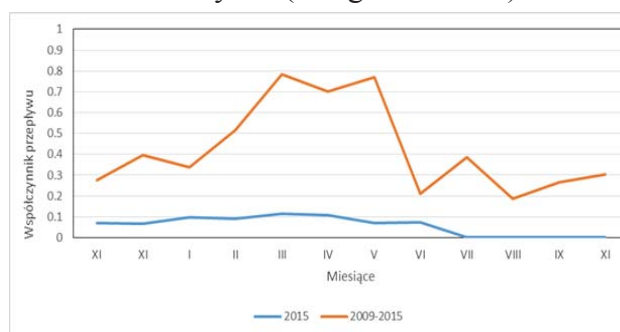
Wigry (Czarna Hańcza)



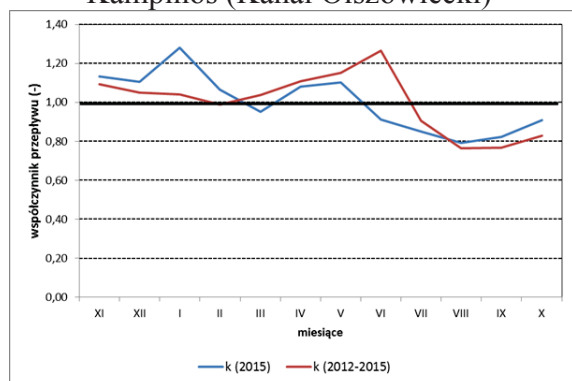
Koniczynka (Struga Toruńska)



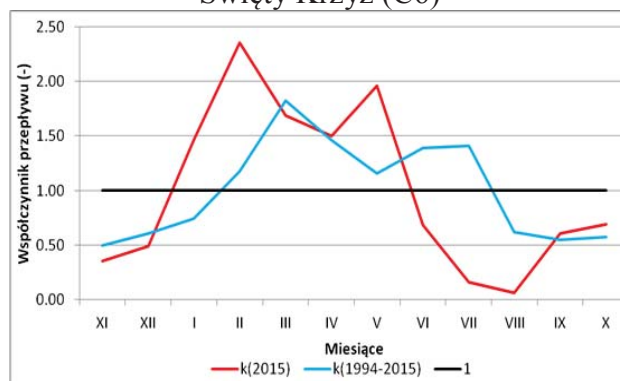
Kampinos (Kanał Olszowiecki)



Święty Krzyż (C6)



Roztocze (Świerszcz)



Szymbark (Bystrzanka)

Ryc. 13 Zmienność czasowa współczynników miesięcznych przepływu w roku hydrologicznym 2015 [-] na tle zmienności czasowej wartości współczynników miesięcznych przepływu z wielolecia [-]

Skrócony bilans wodny

Jednym ze sposobów opracowania bilansu wodnego jest porównanie ilości wody jaka dostaje się do zlewni z wodą zatrzymaną w zlewni oraz ilością jaka z niej odpływa w danym przedziale czasu (np. miesiąc, rok, wielolecie). Dla długich okresów i dużych powierzchniowo obszarów wprowadza się uogólnienia pozwalające na uzyskanie skróconego bilansu wodnego, polegającymi na zestawieniu opadu atmosferycznego i odpływu powierzchniowego.

W niniejszym opracowaniu skrócony bilans wody stanowi wówczas 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 2015 roku [mm], H - średnia roczna wielkość odpływu powierzchniowego z 2015 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 2015 roku hydrologicznym w zlewniach ZMŚP

Stacja (zlewnia)	P Opad atmosferyczny	H_{pow} Odpływ powierzchniowy	S Deficyt odpływu
	mm		
Wolin (Lewińska Struga)	580,0	175,8	404,2
Storkowo (Parsęta)	599,4	194,4	405,0
Wigry (Czarna Hańcza)	418,6	149,6	269,0
Koniczynka (Struga Toruńska)	437,3	10,3	427,0
Kampinos (Kanał Olszowiecki)	419,0	39,8	379,2
Święty Krzyż (C6)	650,6	14,2	636,4
Roztocze (Świerszcz)	561,2	76,9	484,3
Szymbark (Bystrzanka)	715,5	199,9	515,6

Analiza uproszczonego bilansu wodnego w 2015 roku wykazała bardzo dużą zmienność przestrzenną i niekorzystną sytuację hydrometeorologiczną w całej Polsce. Największy deficyt odpływu wody występował w regionie wyżyn i gór, w Stacjach Święty Krzyż 636,4 mm, Szymbark 515,6 mm i Roztocze 484,3 mm. W tych geoekosystemach warunki retencji wody były najbardziej sprzyjające wśród wszystkich badanych zlewni. Natomiast niekorzystna sytuacja pod względem ilości wody krążącej w badanych geoekosystemach ZMŚP w 2015 roku występowała w strefie Nizy Polskiego, zwłaszcza w

Wigrach 269,0 mm i Kampinosie 379,2 mm. W pasie nizin i pojezierzy deficyt odpływu w 2015 roku był najniższy, co świadczy o dużych stratach wody na parowanie terenowe, ograniczonej odbudowie zasobów wód podziemnych i powierzchniowych oraz braku retencji wody. Największa ilość dostarczanej wraz z opadami wody, która w 2015 roku była niska, tracona była na parowanie terenowe. Straty na parowanie terenowe wskutek ciepłego 2015 roku mogły wynosić około 380-400 mm rocznie (Awłasiewicz 1953). Biorąc pod uwagę niskie opady roczne i znikomy odpływ powierzchniowy najgorsza sytuacja występowała w zlewni Strugi Toruńskiej i Kanału Olszowieckiego. W tych zlewniach niski deficyt odpływu, wysokie parowanie terenowe skutkowały spadkiem zasobów wód podziemnych i w dalszej kolejności zerwaniem więzi hydraulicznej z ciekami powierzchniowymi. W konsekwencji w okresie letnim w Strudze Toruńskiej i Kanale Olszowieckim nie było odpływu fluwialnego.

Generalnie we wszystkich badanych zlewniach w 2015 roku nie było warunków do odbudowy zasobów wodnych. Wystąpiła bardzo niekorzystna sytuacja ujemnej retencji wodnej w badanych geoekosystemach, co miało swoje odzwierciedlenie w pogorszeniu jakości wód krążących w zlewniach i niesprzyjających warunków życiowych dla roślin i zwierząt.

6. GEOINDYKATORY JAKOŚCIOWE OBIEGU WODY W ZLEWNIACH ZMŚP

Przedstawione poniżej geowskaźniki zostały zaproponowane w syntetycznych opracowaniach raportów ZMŚP przez Szpikowskiego (2012) oraz stanowią kontynuację raportu za 2014 rok (Tylkowski 2015).

W określeniu prawidłowości funkcjonowania badanych geoekosystemów ZMŚP istotne jest określenie stanu jakościowego tych etapów obiegu wody, które związane są z jej dostawą i odprowadzaniem ze zlewni, czyli wód opadowych i rzecznych. Charakterystyka jakości opadów pozwala na określenie roli czynników allochtonicznych (zewnętrznych), które kształtować mogą dynamikę dostawy substancji rozpuszczonych w zlewniach 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 i zanieczyszczeń antropogenicznych.

Klasyfikacja pH/SEC opadów atmosferycznych

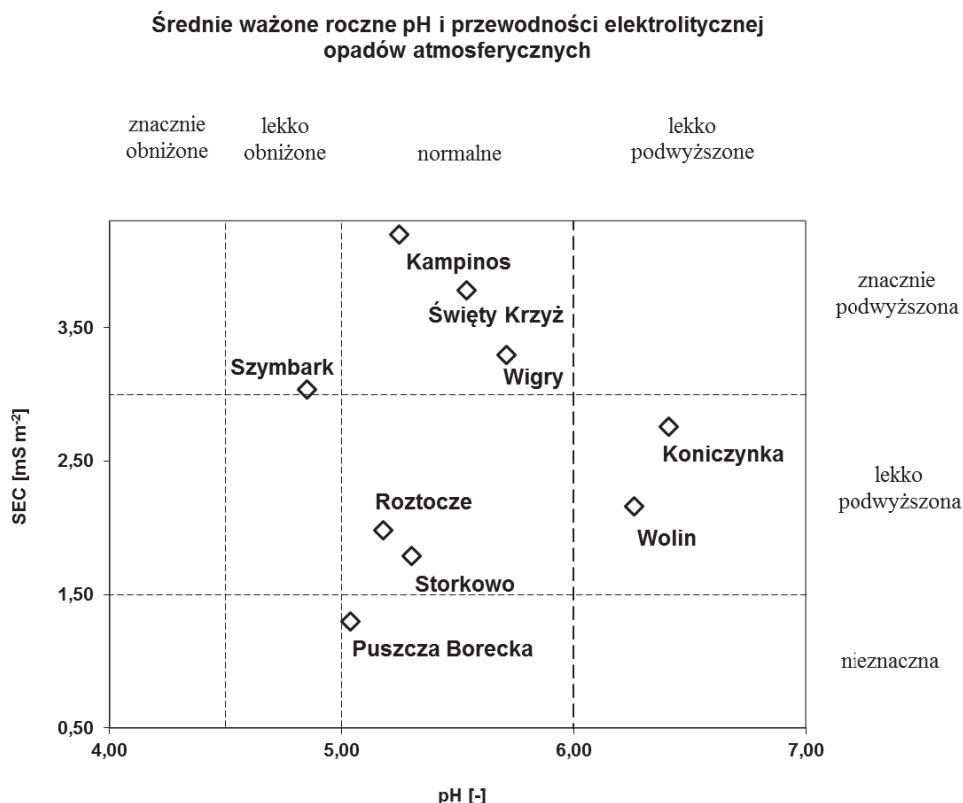
Wskaźnik ten został określony na podstawie tzw. klasyfikacji austriackiej jakości opadów atmosferycznych (Jansen i in. 1988). Ze względu na dużą przydatność do oceny odczynu i przewodności elektrolitycznej opadów atmosferycznych został wprowadzony do obligatoryjnego stosowania w sprawozdaniach Stacji Bazowych ZMŚP. Klasyfikacja pH/SEC ukazuje czasowe zróżnicowanie jakości wód opadowych (trendy i tendencje) w zróżnicowanych geoeekosystemach 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 2015 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

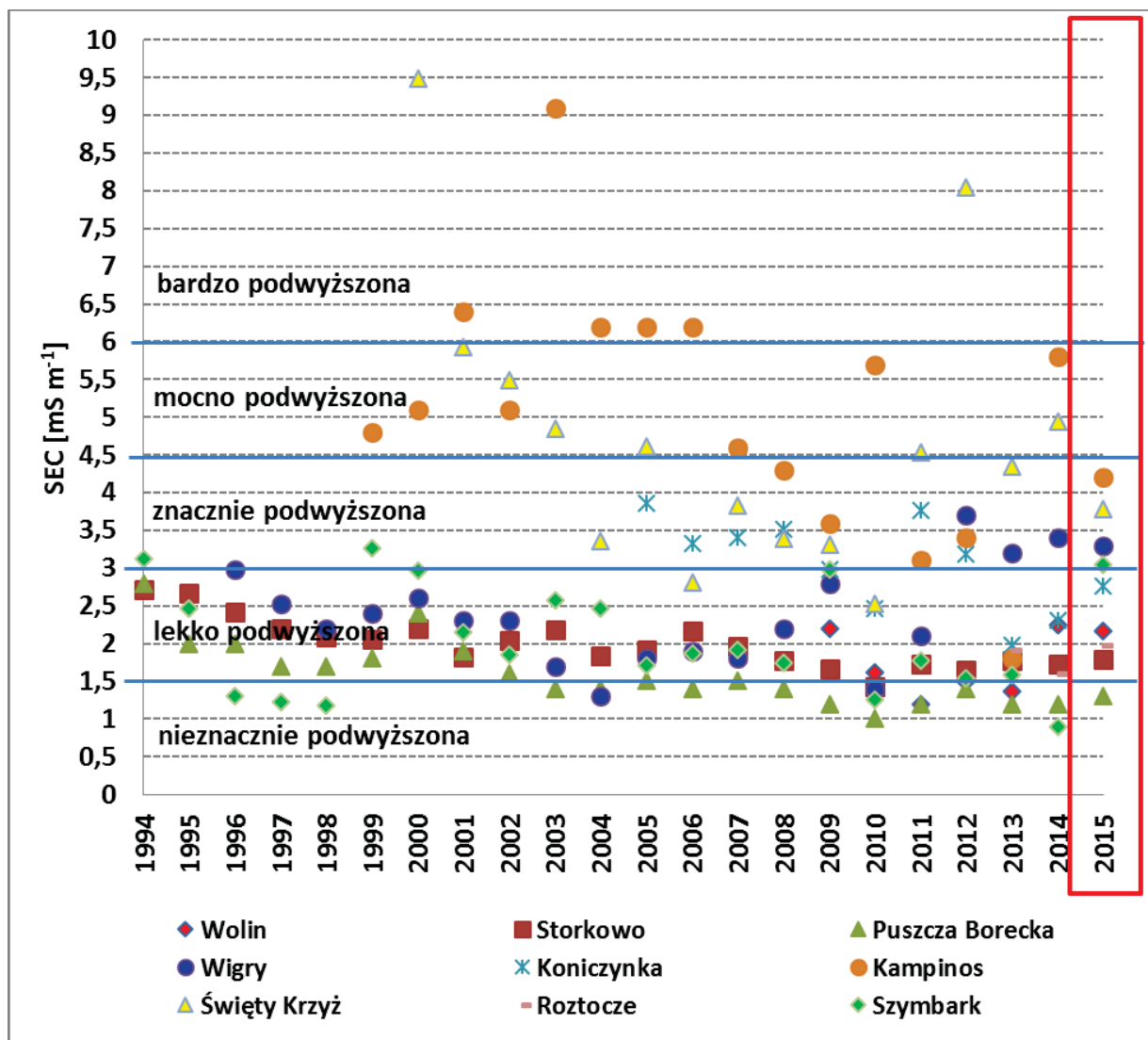


Ryc. 14. Klasyfikacja pH i SEC opadów atmosferycznych w Stacja Bazowych ZMŚP w 2015 roku

Wskaźnik klasyfikacji SEC opadów atmosferycznych w 2015 roku hydrologicznym w zakresie średniej ważonej przewodności elektrolitycznej (ryc. 14) charakteryzował się następującymi właściwościami:

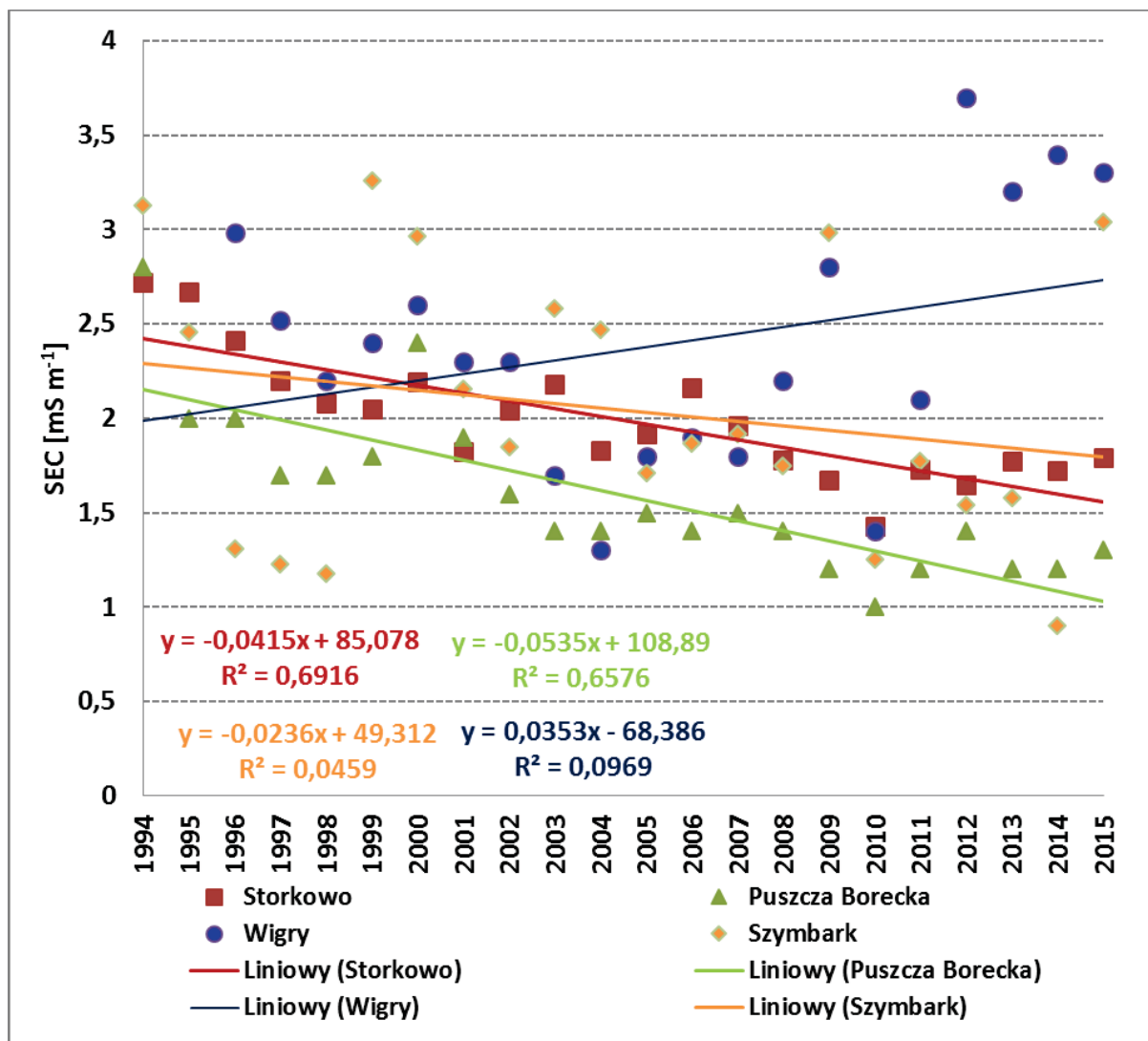
- przewodność nieznaczna – stwierdzono w 1 Stacji: Puszczy Boreckiej,
- przewodność lekko podwyższona – stwierdzono w 4 Stacjach Bazowych: Wolin, Storkowo, Koniczynka i Roztocze,
- przewodność znacznie podwyższona - stwierdzono w 4 Stacjach: Szymbarku, Świętym Krzyżu, Kampinosie i Wigrach.

Jakość opadów atmosferycznych w 2015 roku pod względem wskaźnika SEC w porównaniu z ubiegłym rokiem uległa poprawie, gdyż w żadnej zlewni nie stwierdzono przewodności mocno i bardzo podwyższonej – w 2014 roku wysoką mineralizację miały opady w Kampinosie i Wigrach. Jedynie opady w Szymbarku pogorszyły swoją jakość, gdyż ich SEC w 2015 roku mieściła się w klasie przewodności znacznie podwyższonej. Szczególnie pozytywne jest mniejsze zanieczyszczenie opadów atmosferycznych w Wigrach, dla których w ostatnich 3 latach przewodność elektrolityczna była bardzo podwyższona (ryc. 15).



Ryc. 15. Zmienność czasowa SEC opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2015 roku hydrologicznym na tle wielolecia

Wieloletni przebieg zmienności przewodności elektrolitycznej dla większości Stacji Bazowych wskazuje na korzystny trend obniżania się stężenia substancji rozpuszczonych w wodach opadowych. Istotny statystycznie trend ($p < 0,05$, test Mann-Kendalla) odnotowano jedynie dla Stacji posiadających bardzo długie serie pomiarowe (1994-2015), tj. dla Storkowa, Puszczy Boreckiej, Szymbarku i Wigier (ryc. 16). Trend 10. letni spadku SEC wynosi 0,52 mS/m w Puszczy Boreckiej, 0,44 mS/m w Storkowie i 0,27 mS/m w Szymbarku. Jedynie w Stacji Wigry kierunek trendu wykazuje niekorzystny dla jakości opadów wzrost ich mineralizacji 0,35 mS/m na 10 lat.

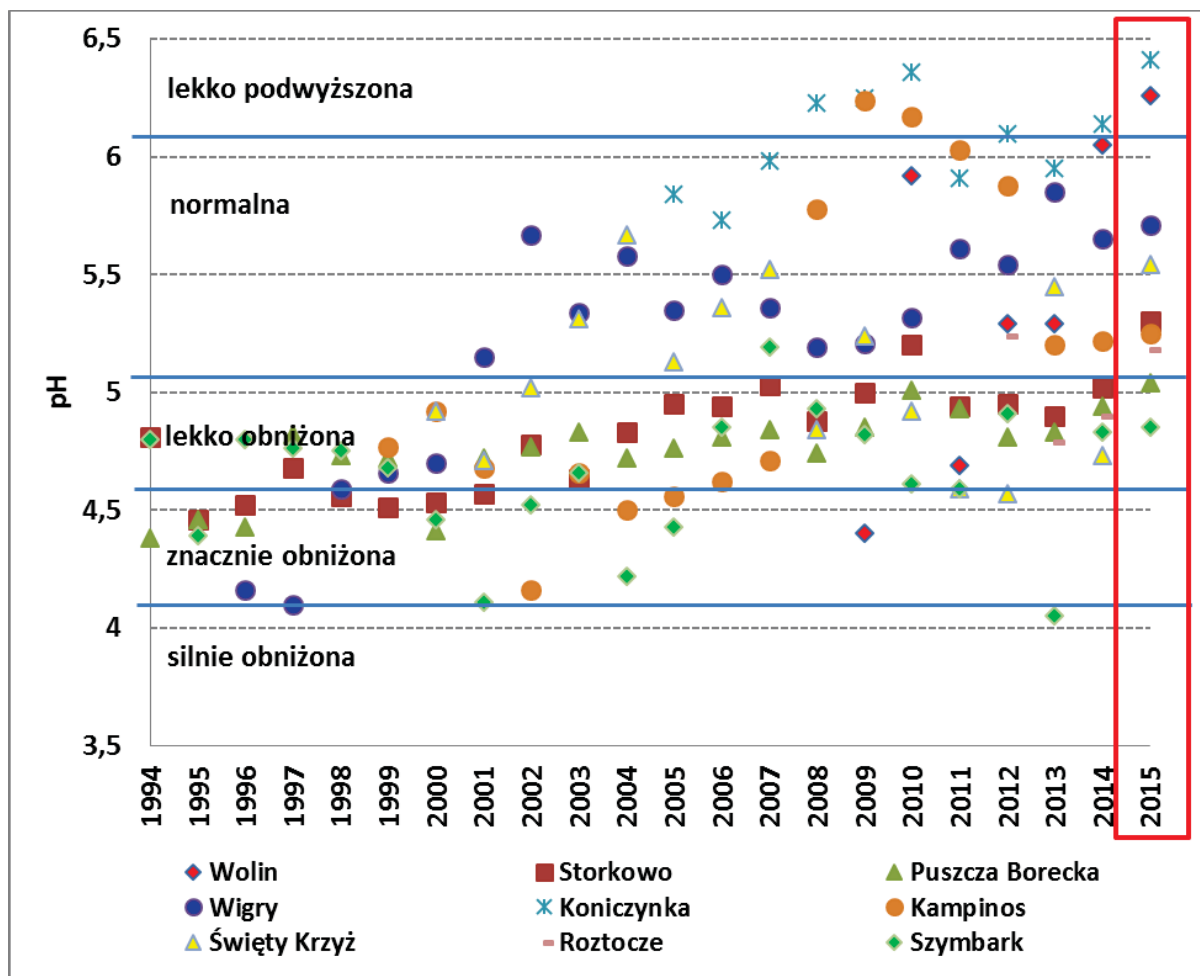


Ryc. 16. Istotnie statystycznie trendy spadku SEC w opadach atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP – Storkowo, Puszcza Borecka, Szymbark i Wigry

Zakwaszenie wód opadowych w 2015 roku w Stacjach ZMŚP można zaliczyć do klas (ryc. 14):

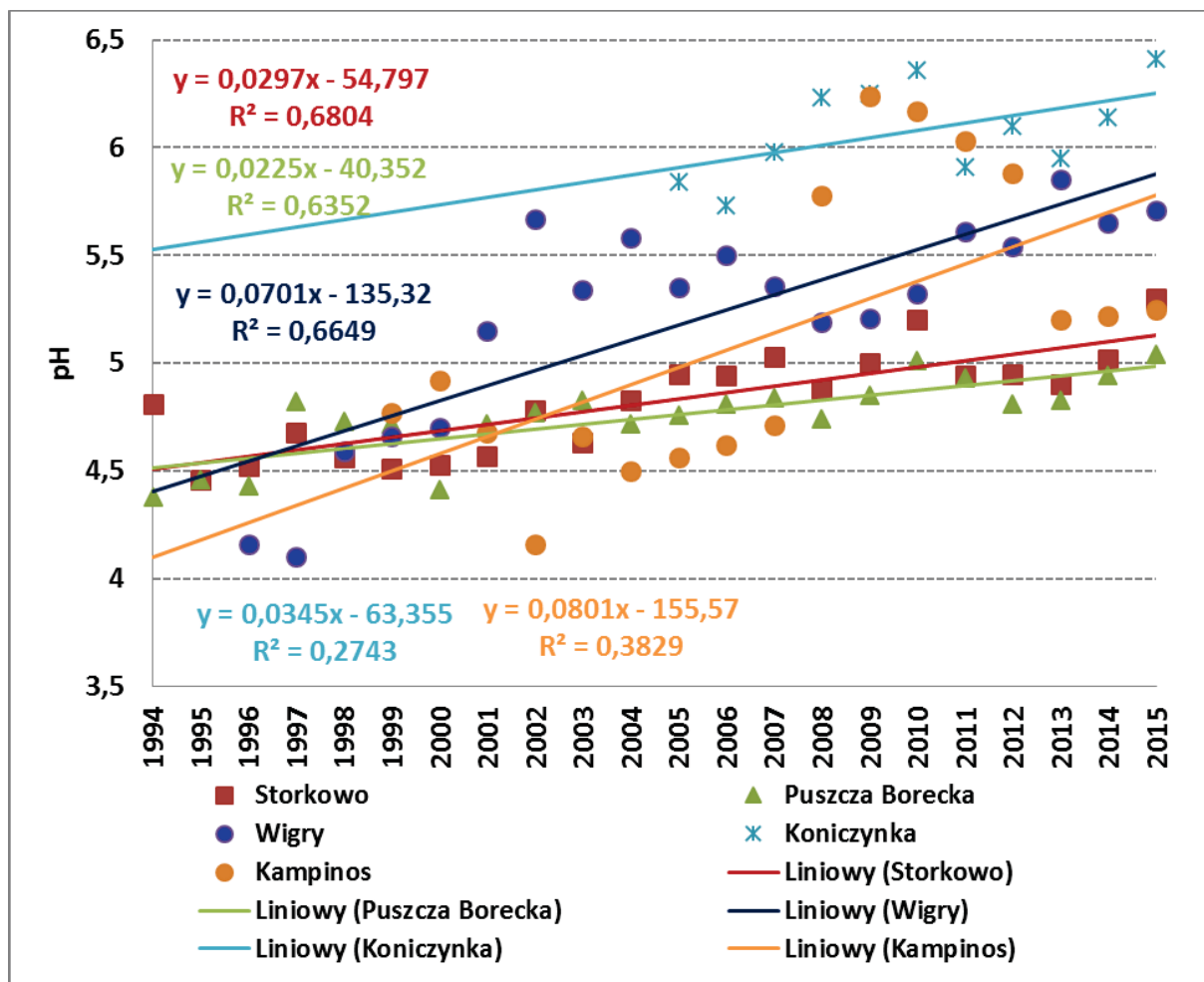
- pH lekko obniżone – stwierdzono w 2 Stacjach: Szymbark i Puszcza Borecka.
- pH normalne – stwierdzono w 5 Stacjach: Storkowo, Wigry, Kampinos, Święty Krzyż i Rostocze.
- pH lekko podwyższone – stwierdzono w 2 Stacjach: Wolin i Koniczynka.

Odczyn opadów atmosferycznych w 2014 roku w porównaniu z poprzednim rokiem uległ małej poprawie (ryc. 17). W 5 Stacjach opady zaliczono do klasy normalnej a w 4 odczyn opadów atmosferycznych zakwalifikowano do klas przyległych: lekko obniżonej i lekko podwyższonej.



Ryc. 17. Zmienność czasowa kwasowości opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2014 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, Koniczynka i Kampinos (ryc. 18). Trend 10. letni spadku kwasowości wynosi 0,73 pH dla Wigier, 0,71 dla Kampinosu, 0,40 pH dla Koniczynki, 0,30 pH dla Storkowa i 0,23 pH dla Puszczy Boreckiej.



Ryc. 18. Istotne statystycznie trendy spadku SEC w opadach 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. 17). W XXI wieku odczyn wzrósł do lekko obniżonego lub normalnego. Pod względem czasowo-przestrzennym największy progres odczynu opadów odnotowano w Stacjach Wigry zwłaszcza Kampinos, na co m. in. wpłynęła poprawa jakości powietrza atmosferycznego w aglomeracji warszawskiej. Natomiast nie można stwierdzić tendencji zmiany odczynu opadów Stacji w Stacji Święty Krzyż i Szymbark (ryc. 17, ryc. 18).

Należy podkreślić, że - pomimo małej wydajności opadów w 2015 roku - jakość atmosferycznej dostawy wody do badanych zlewni była dobra. W 2015 roku nie stwierdzono bardzo wyraźnej prawidłowości wysokiego stężenia rozpuszczonych jonów i wysokiej mineralizacji opadów pomimo wystąpienia opadów o niskiej wydajności i okresów bezdeszczowych.

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}]

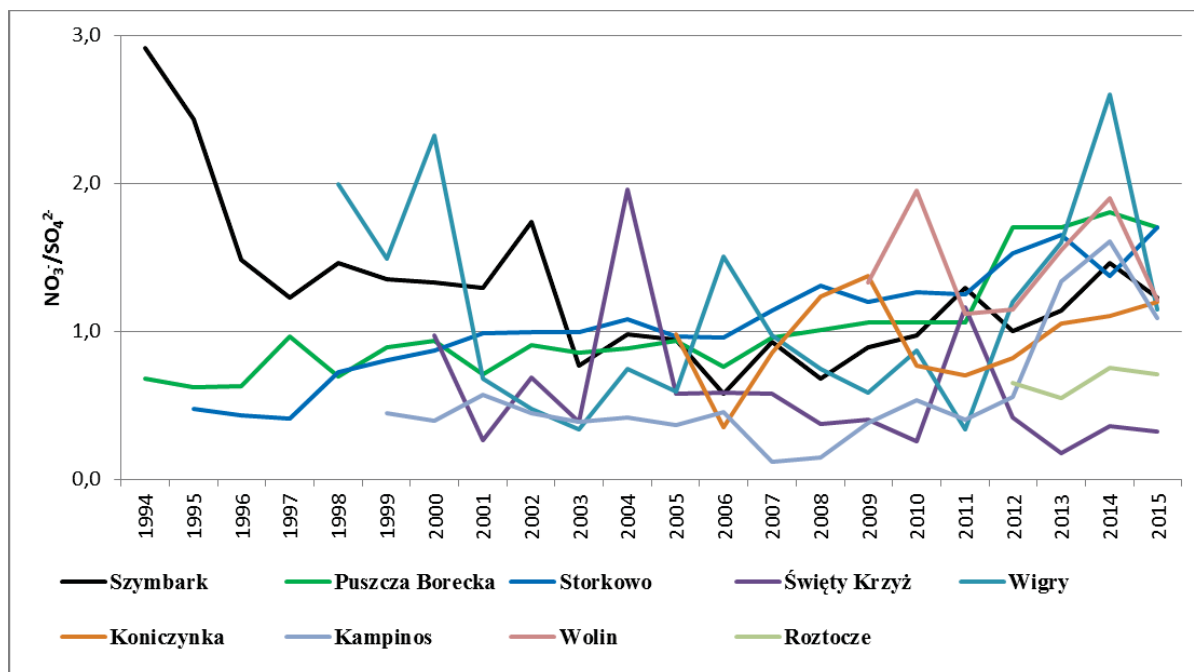
Zmiany zachodzące w chemizmie wód opadowych, podziemnych i powierzchniowych upoważniają do wykorzystywania jako wskaźnika kwasogenności stężeń jonów azotanowych i siarczanowych. Obecność tych jonów może wskazywać na zmiany zachodzące m.in. w jakości powietrza atmosferycznego oraz opadów, co wywiera wpływ 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 1994-2015 (ryc. 19):

- wzrost udziału tlenków azotu w zakwaszaniu wód opadowych w Stacjach Storkowo i Puszcza Borecka i dwutlenku siarki w Szymbarku,
- przewagę NO_3 nad SO_2 w zakwaszaniu opadów w Storkowie w ostatnich 9 latach a w Puszczy Boreckiej w ostatnich 8 latach,
- większy w 2015 roku udział NO_3 w zakwaszaniu opadów niż SO_2 w Stacjach: Wolin, Storkowo, Puszcza Borecka, Wigry, Koniczynka, Kampinos i Szymbark,
- oscylacyjne wahania zakwaszania opadów w Szymbarku. W okresie 2003-2010 za zakwaszanie opadów decydowały siarczany a w okresie 1994-2002 i od 2011 roku na zakwaszanie opadów wpływają azotany,
- większy udział SO_2 w zakwaszaniu opadów w Stacjach: Roztocze i Święty Krzyż.

Zmienność wieloletnia wskaźnika udziału czynników kwasogennych ukazuje prawidłowość większej presji w zakwaszaniu opadów czynnika związanego z zanieczyszczeniami komunikacyjnymi (azotany) niż z zanieczyszczeniami pochodzącymi ze spalania paliw kopalnych (siarczany).



Ryc. 20 Zmiany wskaźnika czynników kwasogennych w zakwaszaniu wód opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP

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 pochodzącego z rozpylania wody morskiej. 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 się zmniejszać w miarę oddalania się od morza. Dlatego najwyższe „naturalne” stężenia chlorku i sodu powinny występować w nadmorskiej strefie młodoglacjalnej, na pobrzeżu Bałtyku (Stacja Bazowa Biała Góra), niższe w strefie pojeziernej Niżu Polskiego (np. Stacje Bazowe Storkowo, Puszcza Borecka, Wigry) a najniższe stężenia jonów Cl^- i Na^+ w Stacjach położonych najdalej od strefy nadmorskiej (strefa wyżyn polskich Stacja Roztocze i strefa gór średnich Stacja Szymbark).

Przestrzenne zróżnicowanie stężenia chlorków i sodu w wodach opadowych w 2015 roku przedstawiono dla transektu południkowego (Strefy: nadmorska, pojezierzy, nizin, wyżyn i gór) oraz dla transektu równoleżnikowego (strefa nadmorska i pojezierzy). Transekt

„równoleżnikowy” odzwierciedla zmienność chlorków i sodu w strefie młodoglacjalnej Niżu Polskiego wraz z oddalaniem się do Morza Bałtyckiego (Stacje ZMŚP: Wolin → Storkowo → Puszcza Borecka → Wigry). W transekcje „południkowym” obejmującym Stacje: Wolin → Storkowo → Koniczynka → Kampinos → Święty Krzyż → Roztocze → Szymbark stężenie i udział jonów chlorkowych i sodowych powinno ulegać wyraźnej redukcji w miarę oddalania się od wybrzeża Bałtyku (tab. 18).

Tab. 18 Średnie tężenie substancji rozpuszczonych w wodach opadowych w zlewniach ZMŚP w 2015 roku

Stacja	Strefa krajobrazowa ekologiczna	SO ₄	S-SO ₄	NO ₃	N-NO ₃	NH ₄	N-NH ₄	Cl	Na	K	Mg	Ca
		stężenie zanieczyszczeń										
		mg·dm ⁻³										
Wolin	Morze Bałtyckie	2,05	0,69	3,20	0,72	1,03	0,80	2,26	1,31	0,43	0,29	1,66
Storkowo	Pojezierza	0,55	0,18	1,20	0,27	0,55	0,43	1,07	0,65	0,09	0,10	0,46
Puszcza Borecka		1,14	0,38	1,71	0,39	0,77	0,59	0,49	0,24	0,07	0,05	0,17
Wigry		1,31	0,44	1,99	0,45	0,55	0,43	2,65	0,24	4,24	0,08	2,00
Koniczynka		2,33	0,78	3,61	0,82	1,47	1,14	0,90	0,39	0,23	0,14	0,89
Kampinos	Niziny	1,80	0,60	2,20	0,50	0,91	0,70	0,80	0,30	2,40	0,20	0,90
Święty Krzyż	Wyżyny	8,69	2,90	3,57	0,81	1,46	1,13	2,21	0,95	1,37	0,57	3,74
Roztocze		2,52	0,84	2,30	0,52	0,79	0,61	0,54	0,21	0,28	0,16	2,15
Szymbark	Góry średnie	2,89	0,96	2,36	0,53	0,91	0,70	0,75	0,39	0,33	0,11	1,86

W 2015 roku rozkład przestrzenny stężenia i udziału jonów pochodzenia morskiego w Polsce generalnie wykazywał pozytywną prawidłowość spadku koncentracji jonów Cl⁻ i Na⁺ wraz z oddalaniem się od wybrzeża Bałtyku. Stężenie chlorków i sodu malało zarówno w transekcje równoleżnikowym jak i południkowym.

W transekcje równoleżnikowym, w strefie młodoglacjalnej Niżu Polskiego występował spadek stężenia sodu w opadach – od 1,31 mg/dm³ w Wolinie, 0,65 mg/dm³ w Storkowie do 0,24 mg/dm³ w Puszczy Boreckiej i Wigrach. Dla chlorków spadek stężenia jest również zauważalny w miarę oddalania się od morza – od 2,26 mg/dm³ w Wolinie, 1,07 mg/dm³ w Storkowie do 0,49 mg/dm³ w Puszczy Boreckiej. Tylko w Wigrach stwierdzono bardzo wysokie stężenie jonów chlorkowych 2,65 mg/dm³, co świadczyć może dostawie tych jonów wskutek działalności człowieka i zanieczyszczeniu antropogenicznym opadów atmosferycznych. Stężenie chlorków w Wigrach było nawet większe niż nad Bałtykiem, w Stacji na Wolinie (tab. 17).

W transekcje południkowym stwierdzono wyraźny spadek stężenia jonów sodowych i chlorkowych, od pasa Pobrzeża Bałtyku (Wolin Cl 2,26 mg/dm³ Na 1,31 mg/dm³), poprzez pas Pojezierzy (Storkowo Cl 1,07 mg/dm³ Na 0,65 mg/dm³ i Koniczynka Cl 0,90 mg/dm³ Na 0,39 mg/dm³), następnie w strefie nizinnej (Kampinos Cl 0,80 mg/dm³ Na 0,30 mg/dm³) i wyżynnej (Roztocze Cl 0,54 mg/dm³ Na 0,21 mg/dm³). Od powyższej tendencji odbiegają wysokie stężenia jonów pochodzenia morskiego Cl i Na w najbardziej wyniesionych nad poziomem morza Stacjach Święty Krzyż (Cl 2,21 mg/dm³ Na 0,95 mg/dm³) i Szymbark (Cl

0,75 mg/dm³ Na 0,39 mg/dm³). Podwyższone stężenia jonów pochodzenia morskiego w Stacjach oddalonych od Bałtyku mogą świadczyć o zanieczyszczeniu antropogenicznym opadów atmosferycznych o genezie ponadregionalnej. Podwyższone stężenia sodu a zwłaszcza chlorków w centralnej i południowej części Polski mogą świadczyć o zanieczyszczeniach antropogenicznych, 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.

Analiza średniego stężenia substancji rozpuszczonych w wodach opadowych w 2015 roku wykazała ich stosunkowo małe różnice przestrzenne (tab. 17). Taka sytuacja świadczyć może, że na jakość opadów atmosferycznych największy wpływ nie wywierają czynniki lokalne a regionalne i ponadregionalne.

Stan chemiczny wód podziemnych

Dla oceny stanu chemicznego wód podziemnych wykorzystano zasady określone w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 23 lipca 2008 roku, w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód podziemnych (Dz. U. nr 143, poz. 896). 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.

Monitoring fizykochemiczny wód podziemnych w zlewniach reprezentatywnych realizowany jest w następujących jednolitych częściach wód (JCWp): Biała Góra (5), Storkowo (9), Puszcza Borecka (21), Wigry (23), Koniczynka (40), Kampinos (65), Święty Krzyż (103), Roztocze (127), Szymbark (157).

W opracowaniu określono jakość wód podziemnych w zlewniach ZMŚP jedynie dla wybranych elementów fizykochemicznych (IOŚ 2013), do których zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska (2008) należą:

- elementy ogólne (odczyn, temperatura, tlen rozpuszczony, przewodność elektrolityczna),
- elementy nieorganiczne (azot azotanowy, azot amonowy, chlorki, fosforany, magnez, potas, siarczany, sód, wapń, wodorowęglany).

W 2015 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 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) zadecydowały bardzo wysokie stężenia jonów azotanowych, amonowych oraz niski odczyn wody. Prawdopodobnym źródłem zanieczyszczeń jest presja antropogeniczna związana z nieszczelnością systemu kanalizacyjnego w Grodnie.

Tab. 19. Stan chemiczny wód podziemnych w zlewniach ZMŚP w 2015 roku wg wybranych elementów fizykochemicznych.

Stacja ZMŚP	Odczyn [pH]	PEW [mS/ m]	Ca	Na	Mg	K	PO ₄	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	NH ₄	Stan chemiczny
			mg/l										
Wolin	IV	I	II	I	I	I	II	I	II	I	IV	V	Słaby
Storkowo	I	II	II	I	I	I	III	I	I	II	III	II	Dobry
Puszcza Borecka	I	II	III	I	I	I	I	III	I	I	I	I	Dobry
Wigry	I	I	I	I	I	I	I	II	I	I	I	I	Dobry
Koniczynka	III	I	I	I	I	I	I	II	I	I	I	IV	Słaby
Kampinos	I	II	III	I	I	II	-	V	I	III	I	IV	Dobry
Święty Krzyż	IV	I	I	I	I	I			I	II	I	I	Dobry
Roztocze	IV	I	II	I	I	I	I	I	I	I	I	I	Dobry
Szybark	I	I	II	I	I	I	I	II	I	I	II	I	Dobry

Klasy jakości: I wody bardzo dobrej jakości, II wody dobrej jakości, III wody zadowalającej jakości, IV wody niezadowalającej jakości, V wody złej jakości.

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

W 2015 roku monitoring fluwialnego odpływu wody i substancji rozpuszczonych z badanych zlewni rzecznych prowadzono w 8 Stacjach Bazowych ZMŚP. Jedynie dla odpływu z Jeziora Łękuk (SB Puszcza Borecka) niemożliwe było prowadzenie tego zadania ze względu na zakłócenia odpływu wody w ciekach spowodowane m.in działalnością bobrów. Działalność bobrów zakłócała wprostproporcjonalną zależność odpływu rzeczno i uwarunkowań hydrometeorologicznych także w SB Wolin i SB 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).

Analiza składu chemicznego wód rzecznych monitorowanych przez Stacje Bazowe w 2015 roku podobnie jak w poprzednich latach pozwala zakwalifikować je (wg klasyfikacji Szczukariewa) do wód prostych o następujących typach hydrochemicznych:

- wodorowęglanowo-wapniowych HCO_3^- - Ca^{2+} (Lewińska Struga, Parsęta, Czarna Hańcza, Struga Toruńska, Kanał Olszowiecki, Świerszcz, Bystrzanka,),
- siarczanowo-wapniowo-magnezowych SO_4^{2-} - Ca^{2+} - Mg^{2+} (odpływ C6 na Świętym Krzyżu).

Tab. 20. Średnie stężenie substancji rozpuszczonych w wodach rzecznych w zlewniach ZMŚP w 2015 roku

Stacja	Strefa krajobrazowa ekologiczna	SO ₄	S-SO ₄	NO ₃	N-NO ₃	NH ₄	N-NH ₄	Cl	Na	K	Mg	Ca	HCO ₃	SEC	pH
		stężenie zanieczyszczeń													
		mg·dm ³													
Wolin	Morze Bałtyckie	19,90	6,70	1,60	0,40	0,30	0,20	17,10	9,60	2,40	5,70	52,90	158,50	30,03	7,70
Storkowo	Pojezierza	39,01	13,02	10,49	2,37	0,31	0,24	7,77	6,04	2,19	5,70	78,51	206,97	40,06	8,04
Wigry		26,69	8,91	3,71	0,84	0,15	0,12	22,63	23,60	5,30	14,80	80,00	308,54	64,60	8,09
Koniczyna		122,70	40,50	22,60	5,10	0,36	0,28	43,90	16,70	10,10	18,50	146,80	330,00	77,90	8,00
Kampinos	Niziny	34,41	11,47	0,22	0,05	0,08	0,06	14,14	7,13	0,72	8,86	83,21	236,83	48,09	7,26
Święty Krzyż	Wyzyny	52,74	17,58	4,43	1,00	0,17	0,13	10,53	6,96	0,99	4,37	18,11	14,91	7,61	6,43
Roztocze		17,01	5,67	1,43	0,32	0,26	0,20	3,46	2,53	1,04	1,24	53,23	150,73	28,02	7,87
Szymbark		Góry średnie	23,10	7,70	2,50	0,55	0,14	0,11	3,00	5,90	1,10	1,30	12,70	41,90	23,90

Mineralizacja wód rzecznych i transport ładunku substancji rozpuszczonych determinowany jest wielkością przepływu 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 rozcieńczeniu w wyniku znacznej dostawy nisko zmineralizowanej wody opadowej i roztopowej.

Przewodność elektrolityczna właściwa (SEC) w 2015 roku cechuje się dużym zróżnicowaniem przestrzennym (tab. 20). Mineralizacja wody w 2015 roku była zbliżona z zawartością substancji rozpuszczonych w 2014 roku, co świadczy o ograniczonym wpływie warunków meteorologicznych na mineralizację wód rzecznych w badanych zlewniach. Najwyższa przewodność elektrolityczna właściwa występowała w Strudze Toruńskiej 77,90 mS m⁻¹, co związane jest dominacją rolniczego użytkowania zlewni i dostawą mocno zmineralizowanych wód ze spływu powierzchniowego i podziemnego. Natomiast najniższa wartość SEC występowała na cieku C6 w Górach Świętokrzyskich 7,61 mS m⁻¹, gdzie jest także duży udział nisko mineralizowanych wód opadowych. W pozostałych monitorowanych ciekach wartość SEC wynosiła przeważnie 25-50 mS m⁻¹ (tab. 18). Zmienność przestrzenna

wartości SEC w 2015 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.

Największe zmiany odczynu w wodach rzecznych w 2015 roku w odniesieniu do poprzedniego roku stwierdzono w Lewińskiej Strudze (Stacja Wolin) a zwłaszcza w cieku C6 na Świętym Krzyżu. Można zauważyć małą zmienność roczną odczynu wód rzecznych zwłaszcza w strefie Niżu Polskiego. Znaczne zakwaszenie wód płynących na Świętym Krzyżu wynika ze specyficznej budowy geologicznej Gór Świętokrzyskich i nie jest wynikiem zanieczyszczenia antropogenicznego.

Monitorowane cieki odznaczają się dominacją w miarę stabilnego w ciągu roku zasilania podziemnego. Na średnią roczną wartość mineralizacji i odczynu wody nie wpłynęły nawet ekstremalne zdarzenia hydrologiczne związane z brakiem wody w Kampinosie i Koniczynie.

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 odzwierciedla jakość wybranych wskaźników (nie wszystkich), które są pomocne do oceny stanu ekologicznego jednolitych części wód powierzchniowych, zgodnie z Rozporządzeniami Ministra Środowiska (2014).

Zlewnie rzeczne ZMŚP występują w następujących jednolitych częściach wód powierzchniowych:

- Biała Góra (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),
- Kampinos (Kanał Olszowiecki PLRW2000232729689),
- Święty Krzyż (Słupianka PLRW20001727369),
- Roztocze (Świerszcz PLRW200062414),
- Szymbark (Skawa do Bystrzanki PLRW2000122134299).

Realizacja programów 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 22 października 2014 roku.

W zlewniach ZMŚP w 2015 roku monitoring fizykochemiczny wód płynących dotyczył następującego zakresu (tab. 21):

- 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 2014 rokiem nie uległa pogorszeniu. Większość badanych cieków posiadała w 2015 roku bardzo dobrą (5 cieków: Lewińska Struga, Czarna Hańcza, Kanał Olszowiecki, Świerszcz i Bystrzanka) i dobrą (2 cieki: górna Parsęta i C6 na Świętym Krzyżu). Stan poniżej dobrego (III-V klasa) stwierdzono tylko dla Strugi Toruńskiej (tab. 20). Na obniżenie jakości wody w Strudze Toruńskiej w profilu Koniczynka do klasy poniżej dobrego stanu zadecydowały podwyższone wartości stężenia azotanów ($22,60 \text{ mg dm}^{-3}$), którego przyczyną jest dominacja rolnego użytkowania zlewni i związane z tym nawożenie pól uprawnych.

Tab. 21. Jakość wód płynących w 2015 roku wg wybranych elementów fizykochemicznych (Rozporządzenie Ministra Środowiska, z dnia 22 października 2014 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych, GIOŚ 2014)

Stacja ZMŚP	Odczyn	SEC	Ca	Na	Mg	K	PO ₄	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	NH ₄
	[pH]	[mS/ m]	mg/l									
Wolin	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Storkowo	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	II	I
Wigry	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Koniczynka	I	I	II	I	I	I	I	I	I	I	III-V	I
Kampinos	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Święty Krzyż	II	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Roztocze	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Szymbark	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I

Na ocenę jakości wód jeziornych zlewni ZMŚP wpływają wskaźniki fizykochemiczne, do których m. in. zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska (2014) można zaliczyć:

- wskaźniki charakteryzujące warunki tlenowe i zanieczyszczenia organiczne (tlen rozpuszczony),
- wskaźniki charakteryzujące zasolenie (przewodność),

Analiza powyższych 2 wskaźników fizykochemicznych w 2015 roku pozwala na zakwalifikowanie wszystkich badanych jezior: Gardno (Stacja Wolin), Czarnego (Stacja Storkowo) i Łękuk (Stacja Puszcza Borecka) do stanu dobrego (tab. 22).

Tab. 21. Jakość wód stojących w 2015 roku wg wybranych elementów fizykochemicznych
(Rozporządzenie Ministra Środowiska 2014, 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

Zagrożenie eutrofizacji 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 zabudowy. 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. 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 ód 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 2015 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 ($2,2 \text{ mg dm}^{-3}$) są przekroczone w Strudze Toruńskiej w profilu Koniczynka ($5,10 \text{ mg dm}^{-3}$), aczkolwiek stężenie roczne było niższe niż w 2014 roku ($6,90 \text{ mg dm}^{-3}$), co jest sytuacją korzystną dla zachowania stanu ekologicznego cieku. W 2015 roku – odmiennie jak w roku ubiegłym - zagrożenie eutrofizacji wód rzecznych wystąpiło w górnej Parsęcie, gdzie stężenie N-NO_3^- wyniosło $2,37 \text{ mg dm}^{-3}$ a NO_3^- $10,49 \text{ mg dm}^{-3}$. Przekroczenie wartości normowej stężenia azotanów 10 mg dm^{-3} wystąpiło także w Strudze Toruńskiej $10,49 \text{ mg dm}^{-3}$. Przekroczenie wartości progowych stężenia związków azotu wynika z rolniczego użytkowania zlewni Strugi Toruńskiej i stosowania nawozów azotowych. Nieznaczne przekroczenie norm stężenia związków azotu w Parsęcie może być spowodowane zwiększoną dostawą tych związków w wyniku działalności rolniczej (zlewnia górnej Parsęty jest rolniczo-leśna) oraz podwyższonego stężenia tych jonów w wyniku małego odpływu wód rzecznych i występowania niżówek letnich. W pozostałych ciekach zagrożenia eutrofizacji wód płynących nie stwierdzono.

Tab. 23. Wskaźniki eutrofizacji rzek w Stacjach ZMŚP w 2015 roku

Stacja - ciek	Pog. [mg dm^{-3}]	N-NO_3^- [mg dm^{-3}]	NO_3^- [mg dm^{-3}]
Biała Góra – Lewińska Struga	-	0,40	1,60
Storkowo - Parsęta	0,05	2,37	10,49
Wigry – Czarna Hańcza Ujście	0,06	0,84	3,71
Koniczynka – Struga Toruńska Koniczynka	0,13	5,10	22,60
Kampinos - Kanał Olszowiecki	0,03	0,05	0,22
Święty Krzyż – C6	-	1,00	4,43
Roztocze – Świerszcz Malowany Most	0,13	0,32	1,43
Szymbark - Bystrzanka	0,07	0,55	2,50

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 została przekroczona jedynie w Jeziorze Czarnym (tab. 23). W 2014 roku zagrożenia eutrofizacją badanych jezior nie stwierdzono.

Tab. 24. Wskaźniki eutrofizacji jezior w Stacjach ZMŚP w 2015 roku

Stacja - jezioro	Pog. [mg dm ⁻³]
Wolin – Jezioro Gardno	0,03
Storkowo – Jezioro Czarne	0,25
Puszcza Borecka – Jezioro Łękuk	0,05
Koniczynka – Jezioro Kamionkowskie	0,03

Bilans jonów denudacyjnych i biogennych

Obieg materii rozpuszczonej w zlewni jest odzwierciedleniem naturalnych procesów geomorfologicznych (jony denudacyjne: siarczany, chlorki, sól, magnez, wapń) oraz działalności antropogenicznej (dostawa zanieczyszczeń np. biogenów: 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 wyznaczaniu bilansu denudacyjnego zlewni w zakresie procesów denudacji chemicznej 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 a ilość materii odpływającej w korycie rzecznej 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 2015 roku, który stanowi różnicę ładunku substancji rozpuszczonych wnoszonego z wodami opadowymi i odpływającego w wodach rzecznych (tab. 24). W bilansie denudacyjnym uwzględniono jony mierzone zarówno w wodach opadowych 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 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 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 jest ze znacznym udziałem powierzchni o rolniczym użytkowaniu, które wpływają na szybsze odprowadzanie substancji rozpuszczonych ze zlewni, np. SB Szymbark, SB Storkowo oraz SB Wigry. W zlewniach o dużym udziale lasów (np. SB Wolin, SB Roztocze) znaczna ilość wody i ładunku substancji rozpuszczonych jest przechwytywana przez roślinność i obieg wody jest spowolniony, co powoduje że bilans jonów denudacji chemicznej był względnie najniższy.

Dla jonów biogenicznych w poprzednich latach ujemny bilans stwierdzono w zlewniach o znacznym udziale gruntów rolnych (SB Konieczynka, SB Storkowo, SB 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. SB Wolin, SB 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 do cieków.

Tab. 25. Bilans jonów denudacyjnych i biogenicznych w zlewniach badawczych ZMŚP w 2015 roku

Stacja	Wolin	Storkowo	Wigry	Kampinos	Święty Krzyż	Roztocze	Szymbark
Składowe obiegu wody							
P - Opad atmosferyczny [mm]	580,0	599,4	418,6	419,0	650,6	593,3	715,5
H - Odpływ rzeczny [mm]	175,8	199,4	160,7	39,7	14,2	76,9	199,9
P-H [mm]	404,2	400,0	257,9	379,3	636,4	516,4	515,6
Bilans jonów denudacyjnych [kg•ha⁻¹]							
SO ₄ ²⁻	-22,67	-45,03	-0,84	-1,90	2,79	6,29	-71,74
Cl ⁻	-16,56	-3,18	2,24	-2,19	1,67	1,50	-4,54
Ca ²⁺	-81,98	-94,55	-1,81	-29,46	2,83	-24,42	-81,48
Mg ²⁺	-8,20	-6,50	-2,33	-2,79	0,69	0,30	-12,38
Na ⁺	-9,05	-3,60	-3,25	-1,68	1,09	-0,30	-21,78
Suma JD	-138,46	-152,82	-5,99	-38,01	9,07	-16,63	-191,92
Bilans jonów biogenicznych [kg•ha⁻¹]							
NO ₃ ⁻	15,73	-11,39	4,14	1,93	0,16	16,62	7,16
NH ₄ ⁺	5,52	2,92	2,20	2,83	0,02	5,88	6,08
K ⁺	-1,59	-2,16	14,12	9,94	0,16	1,36	-6,36
Suma JB	19,67	-10,61	20,46	14,70	0,34	23,86	6,88
Bilans materii rozpuszczonej [kg•ha⁻¹]							
Suma JB+JD	-118,8	-163,43	14,47	-23,31	9,41	7,23	-185,04

W 2015 roku sytuacja hydrometeorologiczna kształtująca bilans wodny i warunki obiegu wody i krążenia materii rozpuszczonej w zlewniach ZMŚP była wyjątkowa i odbiegała od prawidłowości wieloletniej. Niski odpływ rzeczny w niektórych zlewniach znacznie ograniczył ujemny bilans jonów denudacyjnych (Czarna Hańcza -5,99 kg/ha, Świerszcz 9,07 kg/ha) a w zlewni w SB Święty Krzyż (9,07 kg/ha) roczna dostawa atmosferyczna jonów pochodzenia denudacyjnego przewyższyła ich odpływ fluwialny, co jest sytuacją anormalną. W 2015 roku bilans jonów biogenicznych potwierdzał tendencję wieloletnią, gdzie w większości zlewni był dodatni (np. Lewińska Struga 19,67 kg/ha, Bystrzanka 6,88 kg/ha). Najniższe wartości całkowitego bilansu materii rozpuszczonej (tab. 24) stwierdzono w SB Wolin -118,8 kg/ha, SB Storkowo -163,43 kg/ha i Bystrzanka -185,04 kg/ha. W tych Stacjach obieg energii (wody) i materii (substancji rozpuszczonych) w 2015 był najmniej zaburzony w odniesieniu do prawidłowości wieloletniej. Odmienna, anormalna sytuacja wystąpiła na SB Roztocze (7,23 kg/ha) i SB Wigry (14,47 kg/ha) gdzie całkowity bilans obiegu materii był dodatni. Natomiast dodatni bilans materii rozpuszczonej na SB Święty Krzyż (9,41 kg/ha) był skutkiem ekstremalnie niskiego odpływu rzeczno, związanego z budową geologiczną i głęboką infiltracją wód opadowych. Dodatni bilans jonowy w 2015 roku występował także w zlewni Strugi Toruńskiej, kiedy przez prawie 3 miesiące nie było odpływu rzeczno.

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

7. WPLYW UWARUNKOWAŃ ABIOTYCZNYCH NA STAN BIOINDYKACJI W 2015 ROKU

Wpływ uwarunkowań abiotycznych, związanych ze zmiennością warunków pogodowych oraz właściwościami fizycznogeograficznymi badanych geoekosystemów, na stan przyrody ożywionej obejmuje charakterystykę występowania w 2015 roku termicznych pór roku i sezonu wegetacyjnego. Przedstawiono także syntetyczne wyniki realizacji programów ZMŚP: zanieczyszczenie powietrza, metale ciężkie i siarka w porostach i hydrobiologia rzek – makrofity i ocena hydromorfologiczna koryta rzeczne.

Sezon wegetacyjny

Rok 2015 był wyjątkowo ciepły, co skutkowało długim czasem trwania sezonu wegetacyjnego (tab. 26). sprzyjającym rozwojowi roślinności. Natomiast mało wydajne opady i znaczące parowanie w 2015 roku były z kolei czynnikami ograniczającymi zdrowotność i rozwój szaty roślinnej. Okres wegetacyjny trwał średnio 227 dni, od 214 dni w Storkowie do 253 dni na Wolinie. Natomiast czas trwania sezonu intensywnej wegetacji o temperaturze średniej $>10^{\circ}\text{C}$ był w całej Polsce bardzo zbliżony, do 146 dni w Wigrach do 165 dni w Szymbarku.

Tab. 26. Sezon wegetacyjny na terenie zlewni badawczych ZMŚP w 2015 roku

Stacja ZMŚP	Okres wegetacyjny	Okres intensywnej wegetacji
Wolin	253	158
Storkowo	214	159
Wigry	219	146
Koniczynka	225	158
Kampinos	215	158
Święty Krzyż	239	156
Roztocze	222	153
Szymbark	227	165

Termiczne pory roku

Wyjątkowość termiczna 2015 roku znalazła swoje odzwierciedlenie w występowaniu termicznych pór roku. We wszystkich zlewniach, oprócz SB Wigry i SB Święty Krzyż nie występowała termiczna zima (tab. 26). Dominującą porą roku pod względem czasu trwania było przedwiośnie i lato.

Termiczna wiosna i okres wegetacyjny rozpoczął się wcześniej, w drugiej połowie marca i trwał do końca roku hydrologicznego.

Warunki termiczne w 2015 roku były sprzyjające dla rozwoju przyrody ożywionej i nie występowała wyraźna zmienność regionalna występowania termicznych pór roku.

Tab. 27. Termiczne pory roku w zlewniach badawczych ZMŚP w 2015 roku

Stacja ZMŚP	Pora roku	Początek	Koniec	Czas trwania
Wolin	Jesień		18-lis	18
Storkowo			12-gru	42
Wigry				
Koniczynka			14-lis	14
Kampinos				
Święty Krzyż			14-lis	14
Roztocze				
Symbark			21-lis	21
Wolin	Przedzimie			
Storkowo				
Wigry		01-lis	07-gru	37
Koniczynka				
Kampinos				
Święty Krzyż		15-lis	25-gru	39
Roztocze				
Symbark				
Wolin	Zima			
Storkowo				
Wigry		08-gru	16-lut	71
Koniczynka				
Kampinos				
Święty Krzyż		26-gru	07-mar	71
Roztocze				
Symbark				
Wolin	Przedwiośnie	19-lis	10-mar	112
Storkowo		13-gru	31-mar	109
Wigry		17-lut	26-mar	38
Koniczynka		15-lis	13-mar	119
Kampinos		01-lis	20-mar	140
Święty Krzyż		08-mar	23-mar	16
Roztocze			23-mar	143
Symbark		22-lis	18-mar	116
Wolin	Wiosna	11-mar	11-cze	93
Storkowo		01-kwi	26-cze	87
Wigry		27-mar	10-cze	76
Koniczynka		14-mar	01-cze	80
Kampinos		21-mar	14-cze	86
Święty Krzyż		24-mar	31-maj	69
Roztocze		24-mar	01-cze	70
Symbark		19-mar	30-maj	73
Wolin	Lato	12-cze	14-wrz	95
Storkowo		27-cze	15-wrz	81
Wigry		11-cze	09-wrz	91
Koniczynka		02-cze	13-wrz	104
Kampinos		15-cze	06-wrz	84
Święty Krzyż		01-cze	07-paź	129
Roztocze		02-cze	12-wrz	103
Symbark		31-maj	14-wrz	108
Wolin	Jesień	15-wrz		47
Storkowo		16-wrz		46
Wigry		10-wrz		52
Koniczynka		14-wrz		47
Kampinos		07-wrz		54
Święty Krzyż		08-paź		24
Roztocze		13-wrz		48
Symbark		15-wrz		47

Zanieczyszczenie powietrza

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. 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 kalendarzowego i pory zimowej (od 1 X do 31 III) oraz $40 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ NO_2 dla roku kalendarzowego. Wartości średniego rocznego stężenia dwutlenku azotu i siarki w powietrzu atmosferycznym w 2015 roku hydrologicznym nie zostały przekroczone we wszystkich Stacjach Bazowych (tab. 28). Dobry stan jakości powietrza nie wpływał negatywnie na przyrodę ożywioną. Sporadyczne, nieznaczne przekroczenia wartości normatywnych stwierdzono w Stacjach położonych w sąsiedztwie dużych miast: Warszawy (Stacja Kampinos) i Torunia (Stacja Koniczynka). Generalnie najlepsza jakość powietrza występuje w Polsce północnej (Wolin, Storkowo, Puszcza Borecka i Wigry. Natomiast najbardziej zanieczyszczoną strefą jest Polska centralna (Koniczynka, Kampinos).

Tab. 28. Zanieczyszczenie powietrza - średnie roczne stężenie SO_2 i NO_2 [$\mu\text{g m}^{-3}$] w zlewniach badawczych ZMŚP w 2015 roku

Stacja ZMŚP	SO_2	NO_2
Wolin	1,6	8,4
Storkowo	0,9	3,9
Puszcza Borecka	2,0	4,0
Wigry	2,7	4,6
Koniczynka	4,1	11,9
Kampinos	8,3	25,9
Święty Krzyż	4,4	7,4
Roztocze	2,7	7,7
Szymbark	3,4	8,0

Metale ciężkie i siarka w porostach

Przeprowadzona analiza aglomeracji metodą Warda dla metali ciężkich zawartych w porostach *Hypogymnia physodes* pozwoliła na wydzielenie trzech grup zlewni ZMŚP (Jóźwiak 2015):

- (I) Stacje Bazowe: Wolin, Puszcza Borecka oraz Storkowo. Porosty pochodzące z tych stacji charakteryzują się najniższymi koncentracjami metali ciężkich. Stacje położone na północy Polski charakteryzowały się w 2015 roku najlepszą jakością powietrza i opadów atmosferycznych.
- (II) Stacje Bazowe: Wigry, Kampinos, Roztocze oraz Święty Krzyż. Porosty pochodzące ze zlewni tych stacji charakteryzują się wyższymi od grupy I koncentracjami metali, szczególnie cynku i żelaza.

- (III) Stacje Bazowe: Koniczynka i Szymbark. W plechach porostów pochodzących z tych stacji odnotowano najwyższe koncentracje metali ciężkich, zwłaszcza ołowiu, niklu, żelaza i cynku. W tych stacjach stężenie siarki w porostach *Hypogymnia physodes* były również najwyższe i wynosiły 2,1mg/kg w Koniczynie i 1,6 mg/kg w Szymbarku.

Analiza stężenia siarki w porostach zebranych na obszarze zlewni ZMŚP w latach 2001-2015 wskazuje na zmniejszenie stężenia siarki na obszarze wszystkich stacji, co można wiązać z trwałą tendencją poprawy jakości powietrza i opadów w całej Polsce.

Hydrobiologia rzek – makrofity i ocena hydromorfologiczna koryta rzecznego

Uwarunkowania hydrometeorologiczne w 2015 roku miały duży wpływ na makrofitową i hydromorfologiczną ocenę koryt rzecznych. Badania terenowe w ramach wykonano na czterech Stacjach Bazowych ZMŚP: Wolin, Storkowo, Kampinos i Koniczynka. Badania prowadzono w pełni sezonu wegetacyjnego, który jest optymalnym okresem do badań makrofitowych i hydromorfologicznych. Ze względu na suszę na niektórych fragmentach badanych cieków (Struga Toruńska i Kanał Olszowiecki) nie było wody, jednak przeprowadzone badania należy uznać za w pełni miarodajne, gdyż roślinność wodna była jeszcze w pełni widoczna i nie uległa wysuszeniu i zniszczeniu.

Na podstawie wyników badań terenowych, które dostarczyły informacji o składzie gatunkowym makrofitów oraz ich pokryciu na stanowiskach, obliczono Makrofitowy Indeks Rzeczny (MIR), (Szozkiewicz i in. 2010). W celu oceny stanu ekologicznego badanych odcinków cieków obliczone wartości wskaźnika MIR odniesiono do wartości granicznych dla pięciu klas stanu ekologicznego, specyficznych dla różnych typów makrofitowych rzek, określonych w Rozporządzeniu Ministra 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 31,3 na stanowisku Lewińska Struga ujście do 50,8 na stanowisku Parsęta Storkowo. Dwa stanowiska zaklasyfikowano do bardzo dobrego stanu ekologicznego (Parsęta), cztery do dobrego (Kanał Olszowiecki) i sześć do umiarkowanego stanu ekologicznego (Lewińska Struga i Struga Toruńska). Zatem rzeki Parsętę oraz Kanał Olszowiecki należy uznać za niezdegradowane troficznie i nie podlegające silnej presji antropogenicznej. Odmienna sytuacja występuje w Lewińskiej Strudze i Strudze Toruńskiej (Szozkiewicz i in. 2015).

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 rzecznego oraz w mniejszym stopniu

doliny rzecznej. Dzięki temu możliwa jest ocena stopnia naturalności i przekształcenia morfologicznego cieków (Szczepaniewicz i in. 2012). Ocenę stanu hydromorfologicznego metodą RHS wykonano jako wypadkową wskaźników naturalności i przekształcenia siedliska. Na tej podstawie tylko dwa odcinki zaklasyfikowano do co najmniej dobrego stanu hydromorfologicznego (Parsęta). Odcinki zlokalizowane na Kanale Olszowieckim zaliczono do trzeciej klasy stanu hydromorfologicznego. Stan hydromorfologiczny pozostałych zbadanych odcinków (Lewińska Struga i Struga Toruńska) oceniono jako zły lub bardzo zły (Szczepaniewicz i in. 2015).

8. PODSUMOWANIE STANU GEOEKOSYSTEMÓW POLSKI W 2015 ROKU

W 2015 roku hydrologicznym program ZMŚP realizowano w dziewięciu 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 (dostawa i obieg wody, stężenie i ładunek substancji rozpuszczonych) i antropogenicznych, np. w młodoglacjalnej strefie nizinnej badanych jest 5 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) i Koniczynka (bardzo duża antropopresja związana z funkcjonowaniem zmeliorowanej zlewni o użytkowaniu rolniczym).

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

Rok 2015 odznaczał się względnie małym zróżnicowaniem przestrzennym średniej rocznej temperatury powietrza i rocznej sumy opadów atmosferycznych. Warunki termiczne były niekorzystne, gdyż we wszystkich badanych zlewniach 2015 rok był cieplejszy od wartości normalnej. Warunki opadowe zmieniały się od bardziej korzystnych w Polsce północnej (rok suchy - Storkowo, Wigry i normalny Wolin i Puszcza Borecka) do niekorzystnych w Polsce środkowej i południowej (rok suchy poza Szymbarkiem, gdzie opady były w klasie normalnej). Klasyfikacja ilościowa opadów w 2015 roku świadczy o względnej jednorodności przestrzennej opadów, co nie jest typowe dla klimatu Polski. Taka wyjątkowa sytuacja świadczy, że na dynamikę opadów w Polsce wpływały czynniki kontynentalne i globalne a warunki regionalne i lokalne miały znaczenie drugorzędne.

O funkcjonowaniu środowiska przyrodniczego decydował ładunek zanieczyszczeń dostarczony wraz z mokrą depozycją atmosferyczną. W 2015 roku największą mineralizację opadów odnotowano na stacjach Święty Krzyż i Kampinos. O ile Stacja w Świętym Krzyżu od wielu lat należy do obszarów o dość znacznym zanieczyszczeniu opadów atmosferycznych to podwyższona mineralizacja opadów w Kampinosie wynikała głównie z najniższej rocznej sumy opadów (381,4 mm), niskim natężeniu opadów atmosferycznych i najwyższym wśród badanych zlewni zanieczyszczeniem powietrza (SO_2 8,3 $\mu\text{g m}^{-3}$ i NO_2 25,6 $\mu\text{g m}^{-3}$). Dla Stacji zlokalizowanych w sąsiedztwie aglomeracji miejskich (Kampinos) czy eksponowanych na

zanieczyszczenia napływające z terenów uprzemysłowionych (Święty Krzyż) względnie najwyższą wartość depozycji atmosferycznej należy łączyć z zanieczyszczeniami antropogenicznymi. Do znacznie podwyższonej klasy mineralizacji opadów zaliczono także opady w Szymbarku i Wigrach. W pozostałych zlewniach badawczych SEC opadów atmosferycznych zaliczono do klas o mineralizacji lekko (Koniczynka, Storkowo, Wolin i Roztocze) i nieznacznie podwyższonej (Puszcza Borecka). Należy podkreślić pozytywną tendencję stabilizacji bądź obniżenia mineralizacji opadów atmosferycznych w większości badanych zlewni, co w 2015 roku było szczególnie widoczne w Stacjach Wigry i Święty Krzyż. Odczyn opadów atmosferycznych w 2014 roku w porównaniu z poprzednim rokiem uległ małej poprawie. W 5 Stacjach opady zaliczono do klasy normalnej a w 4 odczyn opadów atmosferycznych zakwalifikowano do klas przyległych: lekko obniżonej (Puszcza Borecka i Szymbark) i lekko podwyższonej (Wolin i Koniczynka). Należy podkreślić, że - pomimo małej wydajności opadów w 2015 roku - jakość atmosferycznej dostawy wody do badanych zlewni była dobra. W 2015 roku nie stwierdzono bardzo wyraźnej prawidłowości wysokiego stężenia rozpuszczonych jonów i wysokiej mineralizacji opadów pomimo wystąpienia opadów o niskiej wydajności i okresów bezdeszczowych. W 2015 roku potwierdzona została tendencja do większej roli tlenków azotu niż dwutlenku siarki w zakwaszaniu opadów atmosferycznych, którego presja zakwaszenia opadów jest największa 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 Roztocze) o zakwaszeniu opadów decyduje głównie stężenie dwutlenku siarki. Powyższa prawidłowość odzwierciedla sytuację większego wpływu siarczanów w zakwaszeniu opadów w strefie wyżyn Polski (Święty Krzyż, Roztocze), których źródłem jest zwłaszcza spalania paliw kopalnych (główne źródło wzrostu stężenia SO_2). Natomiast w strefie nizinnej (Wolin, Storkowo, Puszcza Borecka, Wigry, Koniczynka, Kampinos) o zakwaszeniu opadów decydują głównie zanieczyszczenia komunikacyjne (m. in. NO_2).

O dobrym stanie jakości wody w zlewniach badawczych ZMŚP świadczy względnie dobry chemicznie stan wód podziemnych, który był stwierdzony w zdecydowanej większości badanych warstw wodonośnych. W 2015 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 zadecydowały 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 bardzo wysokie stężenia jonów azotanowych, amonowych oraz niski odczyn wody. Prawdopodobnym źródłem zanieczyszczeń jest presja antropogeniczna związana z nieszczelnością systemu kanalizacyjnego w Grodnie.

W oparciu o powyższe wskaźniki fizykochemiczne można stwierdzić, że jakość wód rzecznych w porównaniu z 2014 rokiem nie uległa pogorszeniu. Większość badanych cieków posiadała w 2015 roku bardzo dobrą (5 cieków: Lewińska Struga, Czarna Hańcza, Kanał Olszowiecki, Świerszcz i Bystrzanka) i dobrą (2 cieki: górna Parsęta i C6 na Świętym Krzyżu). Stan poniżej dobrego (III-V klasa) stwierdzono tylko dla Strugi Toruńskiej (tab. 19). Na obniżenie jakości wody w Strudze Toruńskiej w profilu Koniczynka do klasy poniżej dobrego stanu zdecydowały podwyższone wartości stężenia azotanów, którego przyczyną jest dominacja rolnego użytkowania zlewni i związane z tym nawożenie pól uprawnych. O dość dobrym stanie jakości wód rzecznych w 2015 roku świadczyć może brak zagrożenia monitorowanych cieków wzmożoną eutrofizacją – poza górną Parsętą i Strugą Toruńska. W ocenie jakości wód rzecznych nie uwzględniono wód płynących monitorowanych przez Stację Puszcza Borecka, gdzie ze względu na naturalną presję biogeniczną (działalność bobrów) badanie odpływu wody w cieku było niemożliwe. W 2015 roku ocena jakości wody monitorowanych 4 jezior (Gardno, Czarne, Kamionkowskie i Łękuk) pod względem przewodności elektrolitycznej i stężenia tlenu rozpuszczonego zakwalifikowano najlepszej klasy jakości wody. Zagrożone eutrofizacją jest jedynie Jezioro Czarne w zlewni górnej Parsęty.

W wodach podziemnych i powierzchniowych nie stwierdzono istotnej tendencji do spadku stężeń związków azotu co może oznaczać, że stanowią one potencjalne zagrożenie wzmożonej eutrofizacji. Działaniem zapobiegawczym jest w tym przypadku zachowanie stref nadrzecznych i przyjeziornych z naturalnymi strefami roślinności, w których zachodzi proces redukcji biogenów. Wieloletnie badania ilościowe i jakościowe wód zlewni rzecznych i jeziornych ZMŚP potwierdzają występowanie tendencji do obniżenia stężenia jonów siarczanowych. Związane jest to przede wszystkim ze spadkiem stężenia SO_2 w powietrzu i opadach atmosferycznych. Jeszcze w latach 1994-1999 stężenie dwutlenku siarki było od 3 do 5 razy wyższe niż w ostatnim okresie 2007-2015 (Skotak i in. 2015). 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 w przypadku 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 transekcie południkowym i równoleżnikowym w Polsce. Powyższa regionalizacja chlorkowo-sodowa opadów atmosferycznych wskazuje na nienaturalnie podwyższone stężenia jonów pochodzenia morskiego w 2015 roku w pasie Pojezierzy (Stacja Wigry) i strefie Wyżyn Polski (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 2015 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 (odmiennie niż w poprzednich latach). Wśród naturalnych zjawisk ekstremalnych potencjalnie przekształcających środowisko przyrodnicze badanych geoekosystemów wyróżnić można wymienić występowanie suszy meteorologicznej i hydrologicznej w całej Polsce, zwłaszcza w Polsce centralnej (Koniczynka, Kampinos). Jednakże fale upałów i okresów bezopadowych nie spowodowały w większości badanych zlewni drastycznych zmian funkcjonowania środowiska przyrodniczego. Efektem tych zdarzeń było m. in. zanik odpływu fluwialnego w zlewni Strugi Toruńskiej i Kanale Olszowieckim, znaczne obniżenie odpływu rzeczno-jeziornego w Parsęcie, Świerszczu i Czarnej Hańcy. Względnie najlepsza sytuacja hydrologiczna występowała w Lewińskiej Strudze, gdzie system rzeczno-jeziorny zapewniał w miarę stabilny odpływ wód rzecznych. 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.

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-SO₄, N-NO₃ czy biogenów (związków azotu i fosforu). Przewidywanie przyszłych zmian w badanych zlewniach dotyczyć będzie jednolitych interwałów czasowych, np. za 10, 30 czy 50 lat.

Bardzo ważne dla zachowania i oceny walorów przyrodniczych geoekosystemów Polski jest wdrożenie od 2015 roku na Stacjach Bazowych realizacji programu świadczenia geoekosystemów (usługi geoekosystemowe). Wartościowanie środowiska przyrodniczego w zlewniach ZMŚP pozwoli na wypracowanie metodyki wyceny zasobów środowiska przyrodniczego w innych geoekosystemach Polski.

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 w odróżnieniu od monitoringów branżowych 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. Siedem zlewni badawczych ZMŚP (oprócz Koniczynki 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 2015 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., Knapik A., Kiszka K., 2016: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Szymbark w 2015 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.
- Inspekcja Ochrony Środowiska, 2013: Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, pp. 717.
- 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., 2016: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Święty Krzyż w 2015 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., Uscka-Kowalkowska J., Wojtczak H., 2015: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Koniczynka w 2015 roku. Toruń, maszynopis.
- Kolander R., 1999: Stan geoeosystemów Polski w 1998 roku. http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2013/11/raport_1998.pdf
- Kostrzewski A., 1993: Geoeosystem obszarów nizinnych. Koncepcja metodologiczna, W: A. Kostrzewski (red.), *Geoeosystem 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 geoeosystemów 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., Domańska M., Kruszyk R., Majewski M., Szpikowska G., Szpikowski J., 2015: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Storkowo w 2015 roku. Storkowo, maszynopis.
- 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.
- 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., Mackiewicz A., Romański M., Krzysztofiak A., Danilczyk M., 2016: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Wigry w 2015 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
- 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., 2016: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Kampinos w 2015 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 2008: Z Dnia 23 lipca 2008 r. w sprawie klasyfikacji zwykłych wód podziemnych dla potrzeb monitoringu środowiska. Dziennik Ustaw Nr 143, poz. 896.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska 2012: Z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu, Dziennik Ustaw poz. 1031.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska 2014: Z dnia 22 października 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., Białokórska U., Typiak-Nowak D., Bratkowski J., 2016: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Puszcza Borecka w 2015 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., Maciejewski Z., Sokołowski A., Gleń G., 2016: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Roztocze w 2015 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., 2015: Hydrobiologia rzek – makrofity i ocena hydromorfologiczna koryta rzecznoego Sprawozdanie z realizacji I etapu umowy nr 18/2015/F pt. „Realizacja programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego – nadzór merytoryczny oraz prowadzenie pomiarów w latach 2015-2017”. Poznań. Maszynopis
- Szpikowska, G., 2004: Jakość i rola opadów atmosferycznych w systemie denudacyjnym zlewni 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
- Tylkowski, J., 2005: Sezony transportu fluwialnego górnej Parsęty jako odbicie funkcjonowania rzek Pobrzeża Bałtyku. [W:] Plejstoceńskie i holoceniowe 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 geoindikatorów). 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., 2015: 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., Samołyk M., Czyryca P., Winowski M., 2016: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Wolin w 2015 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.